Buenas prácticas regionales y globales de normas de normas y leyes para regular el manejo de residuos **de baterías de vehículos eléctricos,** y recomendaciones para dicho manejo en el contexto costarricense

Proyecto:
Acelerando la transición al transporte público eléctrico en el Gran Área Metropolitana de Costa Rica

CRUSA · UN environment programme · gef · etaxi CR · Ministerio de Ambiente y Energía · Gobierno de Costa Rica

etaxiCR

Proyecto:
Acelerando la transición al transporte público eléctrico en el Gran Área Metropolitana de Costa Rica

Redacción:
Roberto Urcuyo Solórzano, Diego González Flores, Julio Castro Fallas, Aramis Perez Mora – Universidad de Costa Rica

Revisión y edición:
Karen Araya Varela – Fundación CRUSA
Carolina Flores Valle – Ministerio de Ambiente y Energía
Arturo Steinvorth Álvarez – Proyecto GEF7 Costa Rica

Diseño gráfico:
Marvin Carballo

Publicado por:
Fundación CRUSA

Implementado por:
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)

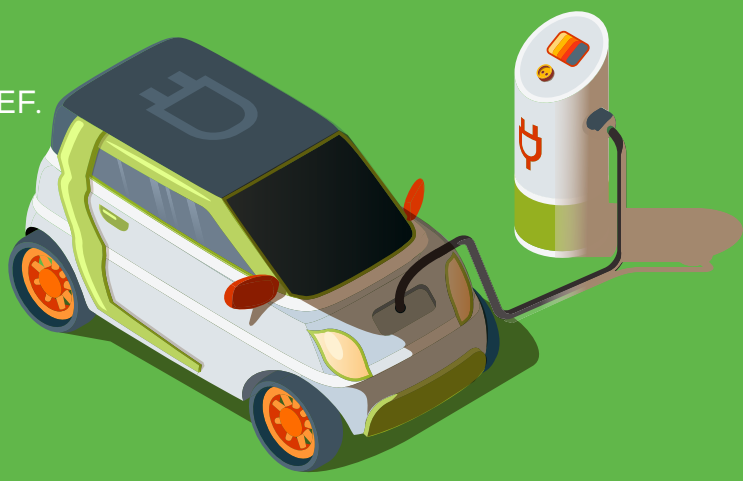
Financiado por:
Global Environment Facility (GEF)

En cooperación con:
Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica (MINAE)

Sobre la alianza que permite el desarrollo de este proyecto:

La Fundación CRUSA:
Es una organización costarricense, independiente, apolítica y sin fines de lucro, que desde 1996 contribuye a la mejora en la calidad de vida de las personas y el desarrollo sostenible en Costa Rica.
comunidad.crusa.cr

Copyright: © 2023. Fundación CRUSA, PNUMA & GEF.



ACRÓNIMOS

AFD	Agencia Francesa de Desarrollo
ASOMOVE	Asociación Costarricense de Movilidad Eléctrica
BCIE	Banco Centroamericano de Integración Económica
BEV	Baterías de vehículo eléctrico
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BMS	Sistema de Gestión de Baterías (por sus siglas en inglés)
CCSS	Caja Costarricense de Seguro Social
CIF	Costo, Seguros, Flete (por sus siglas en inglés)
CNFL	Compañía Nacional de Fuerza y Luz
COSEVI	Consejo de Seguridad Vial
CRUSA	Fundación Costa Rica Estados Unidos de América para la Cooperación
ECA	Ente Costarricense de Acreditación
ESPH	Empresa de Servicios Públicos de Heredia
LGIR	Ley para la Gestión Integral de Residuos
GIR	Gestión Integral de Residuos
GIZ	Agencia de Cooperación Alemana para el Desarrollo
Hacienda	Ministerio de Hacienda
HEV	Vehículos Eléctricos Híbridos
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
INA	Instituto Nacional de Aprendizaje
INS	Instituto Nacional de Seguros
LIB	Baterías ion-litio
INTECO	Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica
MINSA	Ministerio de Salud de Costa Rica
NDC	Contribución Nacionalmente Determinada
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
ORT	Organismo de Reglamentación Técnicas
PND	Plan Nacional de Descarbonización del Gobierno de Costa Rica
RAEE	Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos
REP	Responsabilidad Extendida del Productor
SoH	Estado de salud de la batería
TEC	Instituto Tecnológico de Costa Rica
UCR	Universidad de Costa Rica
UNA	Universidad Nacional de Costa Rica
UNED	Universidad Estatal a Distancia
VE	Vehículo Eléctrico

ÍNDICE

Acrónimos....3
Índice....4
1. Resumen ejecutivo....5
2. Introducción....6
3. Objetivos....11
4. Metodología....12
5. Base procedimental de Costa Rica en gestión y tratamiento de baterías e incentivos fiscales existentes....12
6. Mapeo de capacidades de los actores en Costa Rica....15
7. Revisión de normativas y procedimientos internacionales....19
- **7.1** Diagnóstico de referentes a nivel mundial....19
- **7.2** Regulaciones internacionales relacionadas a la calidad de las baterías....26

8. Revisión específica de normativas de calidad de baterías a nivel naciona....31
- **8.1** Normativas sobre almacenamiento de energía con baterías....32
- **8.2** Normativas para la utilización de baterías usadas en movilidad eléctrica....33

9. Recomendaciones para una mejor gestión integral de residuos de baterías en Costa Rica....34
- **9.1** Procedimiento general para el manejo de baterías....35
- **9.2** Desempeño de seguridad....41
- **9.3** Respecto a los packs y baterías para repuesto y conversión....41
- **9.4** Respecto al control de la calidad de los vehículos y sus baterías....42
- **9.5** Propuestas para la reutilización de baterías....42
- **9.6** Interés a nivel país de incorporar sistemas de segunda vida a modelos de negocios de empresas PV....44

Conclusiones....47
Bibliografía....48
Anexos....50

1. RESUMEN EJECUTIVO

En este documento se incluye un análisis de la legislación que existe actualmente en Costa Rica respecto al tema de importación y gestión de residuos de baterías de vehículos eléctricos en el país, con el fin de establecer una línea base que permita identificar vacíos legales que necesiten ser cubiertos y abordados de manera integral mediante nuevas reglamentaciones nacionales.

Seguidamente, se presenta un análisis de los principales referentes internacionales en el tema de gestión de residuos de baterías de vehículos eléctricos. Este análisis, entonces, permite revisar las tendencias a nivel mundial en esta materia, como referentes para las políticas que se requieran implementar en Costa Rica.

Costa Rica cuenta con la Hoja de Ruta para la Gestión Integral de Residuos de Baterías de Vehículos Eléctricos, en la cual se enfatiza que existen tres caminos posibles para la gestión integral de residuos: exportación, reciclaje, y reutilización. De estas opciones, la reutilización es muy deseable, ya que permite un mayor aprovechamiento del recurso de las baterías y compensa la huella ambiental y de carbono que implica su fabricación. También, en el presente documento, se realiza un análisis técnico profundo de los pasos que deben llevarse a cabo y de las normativas más apropiadas con relación a la reutilización de baterías.

Finalmente, se hace un análisis de la situación actual concerniente a la reutilización de baterías en el país, tomando en cuenta los principales referentes nacionales identificados, así como un estudio de sus capacidades realizado por medio de encuestas.

2. INTRODUCCIÓN

El presente estudio ha sido desarrollado en el marco del Proyecto "Acelerando la transición al transporte público eléctrico en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica", el cual se implementa en colaboración entre la Fundación Costa Rica Estados Unidos para la Cooperación (CRUSA), el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), y el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y, además, contando con el financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés).

Esta iniciativa busca, dentro de sus objetivos, promover acciones para la sostenibilidad ambiental a largo plazo de la movilidad eléctrica baja en carbono en Costa Rica, mediante el desarrollo de propuestas de normativas para la gestión de residuos de baterías de vehículos eléctricos.

En Costa Rica, en el año 2007, se definió el marco normativo para la gestión de residuos electrónicos; correspondiente a la Ley N°8839, Ley para la Gestión Integral de Residuos (GIR), y la directriz 024-S (Presidencia de la República & Ministerio de Salud, 2007), donde se asigna al Ministerio de Salud como el ente rector con la competencia para emitir la reglamentación técnica en la materia de residuos sólidos, sin dejar de lado la coordinación con otros agentes involucrados, entre ellos, el Ministerio de Ambiente y Energía y el Ministerio de Hacienda.

En la Ley N°8839 se define la clasificación general de los residuos como ordinarios, peligrosos, y de manejo especial. Con esta Ley se establece el concepto "responsabilidad extendida del productor" para productos prioritarios (Art. 26) o de manejo especial (Art. 47), según el cual, los productores o importadores tienen la responsabilidad del producto durante todo el ciclo de vida de este, incluidas las fases posindustrial y posconsumo. También, y en contraposición, les otorga la responsabilidad gubernamental al Ministerio de Salud y a las municipalidades de promover y facilitar la existencia de la infraestructura necesaria para la valorización, el tratamiento, y la disposición final de los residuos de manejo especial.

La legislación ha creado unidades de cumplimiento que tienen la función de organizar y de proponer metas de recuperación para los proveedores de productos que, eventualmente, serán residuos de manejo especial. Asimismo, se ha contado con el aporte de agencias internacionales y organizaciones no-gubernamentales para reforzar las capacidades de gestión e impulsar iniciativas de mejora de los procesos en el manejo de residuos.

A pesar de la legislación e iniciativas existentes, el tratamiento de los residuos de manejo especial se efectúa mediante un listado específico publicado en el decreto ejecutivo N° 38272-S-MINAE, "Reglamento para la Declaratoria de Residuos de Manejo Especial", y esta situación hace que sea complicado actualizar los residuos que deben ser tratados en esta categoría y que, por lo tanto, deban estar sujetos a que se les aplique la responsabilidad extendida del productor.

Sin duda, las baterías de vehículos eléctricos deben ser tomadas en cuenta en una categoría de residuos muy particular, ya que el Plan Nacional de Descarbonización del Gobierno de Costa Rica (PND), el cual traza la ruta que debe seguir el país para revertir los gases de efecto invernadero, basa un 20% de sus ejes temáticos, precisamente, en el transporte y en la movilidad sostenible.

A continuación, se presentan algunas de las metas que se establecieron en los primeros dos ejes de dicho plan:

AÑO 2018

Aprobación de la Ley N°9518 "Incentivos y promoción para el transporte eléctrico", donde se incluyeron las exoneraciones como una herramienta estimulante para el uso del transporte eléctrico.

AÑO 2022

Divulgación de la Ley Nº 10209 "Ley de Incentivos al Transporte Verde", mediante la cual se genera una modificación parcial de la Ley N°9518 al extender una serie de beneficios fiscales a los vehículos eléctricos.

AÑO 2025

Se proyecta la estabilización del crecimiento de las compras de motocicletas y se adoptarán estándares para que las compras estén orientadas hacia cero emisiones.

AÑO 2035

- Se enruta hacia la meta de que el 30% de los buses y taxis sean cero emisiones.
- Se planea que el 30% de la flota vehicular ligera (privada e institucional) será de cero emisiones, pero con mayor porcentaje en el caso de los gubernamentales y los comerciales.

AÑO 2050

El sistema de transporte público será integrado y sustituirá al automóvil como primera opción de movilidad.

- 85% de los buses y taxis serán cero emisiones.
- 100 % de la venta de vehículos ligeros nuevos será de vehículos cero emisiones.
- 95% de la flota vehicular ligera (privada e institucional) será de cero emisiones.
- 50 % del transporte de carga será altamente eficiente y reducirá sus emisiones en un 20 % si se compara con el 2018.

Un resumen de lo que busca el Plan Nacional de Descarbonización se muestra en la Figura 1.

Año 2018

Aprobación de la Ley 9518 Incentivos y promoción para le Transporte Eléctrico

Año 2022

Modificación de la Ley 0518 para extender sus beneficios y alcanse

Año 2025

Establecimiento de estándares cero emisiones para compras

Estabilización de las compra de bicicletas

Año 2035

70% de buses y Taxis cero emisiones

25% de flota vehicular ligera será de cero emisiones

Año 2050

Transporte público integrado

Sustitución del vehículo particular como opción #1

100% de buses, taxis y vehículos ligeros nuevos cero emisiones

60% de vehículos ligeros existente cero emisiones

50% de transporte de carga eficiente

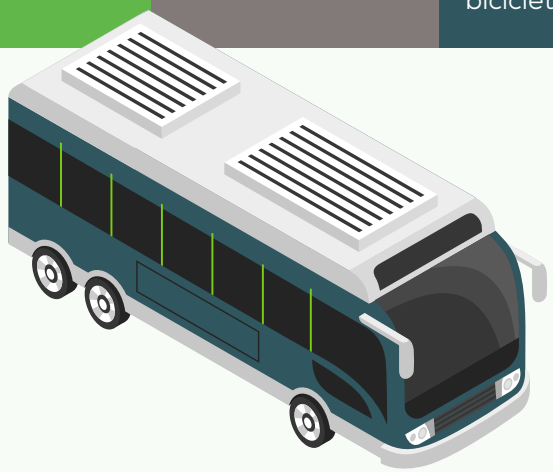


Figura 1. Línea de tiempo de la normativa relacionada con el Plan Nacional de Descarbonización. Fuente: Elaboración propia.

En el año 2020, la Dirección de Cambio Climático del MINAE presentó su informe de Contribución Nacionalmente Determinada (NDC, por sus siglas en inglés). En el área temática de transporte, Costa Rica presentó las siguientes contribuciones:

AÑO 2025

Se iniciará la adopción de estándares para migrar a una flota de motocicletas cero emisiones y la estabilización del crecimiento.

AÑO 2030

- 8 % de los buses y taxis serán cero emisiones.
- 8 % de la flota vehicular ligera (privada e institucional) será de cero emisiones.

La transición al transporte eléctrico en el país fue impulsada inicialmente mediante decretos que otorgaban incentivos fiscales a vehículos híbridos y eléctricos entre los años 2006 y 2013. En el año 2018, además, este impulso continuó tomando fuerza con la aprobación de la Ley N°9518 "Incentivos y promoción para el transporte eléctrico", que tiene como objetivo "crear el marco normativo para regular la promoción del transporte eléctrico en el país y fortalecer las políticas públicas para incentivar su uso dentro del sector público y en la ciudadanía en general". Además, dicha ley también busca "regular la organización administrativa pública vinculada al transporte eléctrico, las competencias institucionales y su estímulo, por medio de exoneraciones, incentivos y políticas públicas, en cumplimiento de los compromisos adquiridos en los convenios internacionales ratificados por el país y el artículo 50 de la Constitución Política".

En el año 2022, por medio de la Ley Nº 10209, Ley de Incentivos al Transporte Verde, se realizaron modificaciones al Capítulo III de Incentivos de la Ley Nº 9518, con el objetivo de extender esos beneficios y no limitarlos al valor CIF de las unidades.

A partir de esta medida tomada en 2022, se prevé que en poco tiempo se generen residuos asociados a los vehículos eléctricos en el país, para los cuales es necesario adaptar la infraestructura y la legislación. Domenech-Cots & Guillén-Miranda, en su estudio de 2021 sobre la generación de residuos de baterías de ion-litio, estiman que, para 2027, las baterías asociadas a vehículos eléctricos (incluyendo vehículos de pasajeros, vehículos especiales, carretillas, y baterías ion-litio) podrían constituir el 69% de los residuos de baterías ion-litio en Costa Rica (Domenech-Cots & Guillen-Miranda, 2021).

Los vehículos eléctricos poseen diferentes componentes que se pueden aprovechar de diversas formas gracias a su composición y valor de mercado. No obstante, se debe determinar el entorno ideal para realizar este aprovechamiento y las pautas a seguir en cada etapa de su ciclo de vida. En Costa Rica, esto se estableció a través de la Hoja de Ruta para la Gestión Integral de Residuos de Baterías de Vehículos Eléctricos, publicada por el Ministerio de Ambiente y Energía en julio de 2022[1].

Se sugiere la necesidad del establecimiento de una normativa específica para el transporte y acopio de las diferentes químicas de las baterías, particularmente, las de los VEs en el país. El gestor de residuos u otro ente relacionado debe, además, efectuar una evaluación del estado de salud de la batería (SoH) para considerar si es factible que esta pueda ser utilizada en alguna otra aplicación. En dicha evaluación se deben aplicar procedimientos estandarizados que, también, requieren el establecimiento de una normativa a nivel nacional.

Un esquema del ciclo de vida propuesto mediante esa hoja de ruta y actores clave asociados se muestra en la Figura 2.

[1]*https://energia.minae.go.cr/wp-content/uploads/2022/07/hoja-de-ruta.pdf*

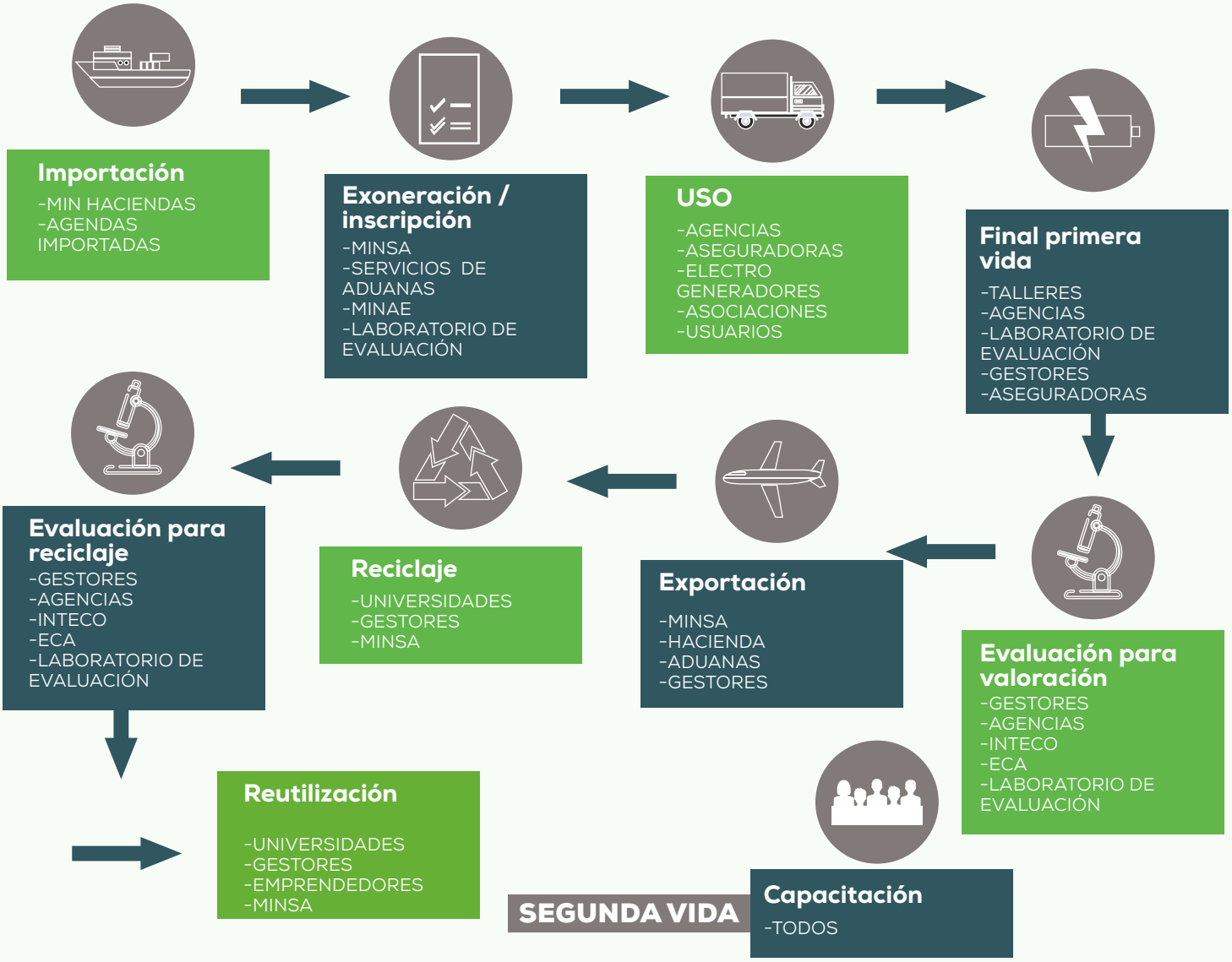


Figura 2. Diagrama de la gestión integral de los residuos propuesta por el equipo consultor. Tomada de Proyecto develoPPP (Urcuyo & González, 2022)

Con base en esta inspección y en estos análisis, se debe establecer la mejor forma de realizar la gestión de los residuos de baterías. Si se considera que la batería aún es aprovechable, se puede valorizar por medio de la reutilización, y la empresa correspondiente se encargará de establecer su uso para aplicaciones de menor demanda energética, ya sea mediante el uso de la batería como tal o por medio de un reacondicionamiento. En este caso, la batería ingresa nuevamente dentro del ciclo de vida como un producto nuevo para el cual, dependiendo de la aplicación en específico, se requerirá establecer criterios técnicos y normativas. Toda esta etapa requiere que Costa Rica desarrolle estudios de factibilidad técnica y financiera, además de capacitaciones técnicas, personal capacitado, y desarrollo de proyectos piloto de implementación.

Si luego de la inspección se determina que la batería no es aprovechable para una reutilización, podrá ingresar dentro de una etapa de reciclaje, donde entrará primero en un proceso de pretratamiento, que involucra, por ejemplo, la descarga y desmantelamiento de la batería.

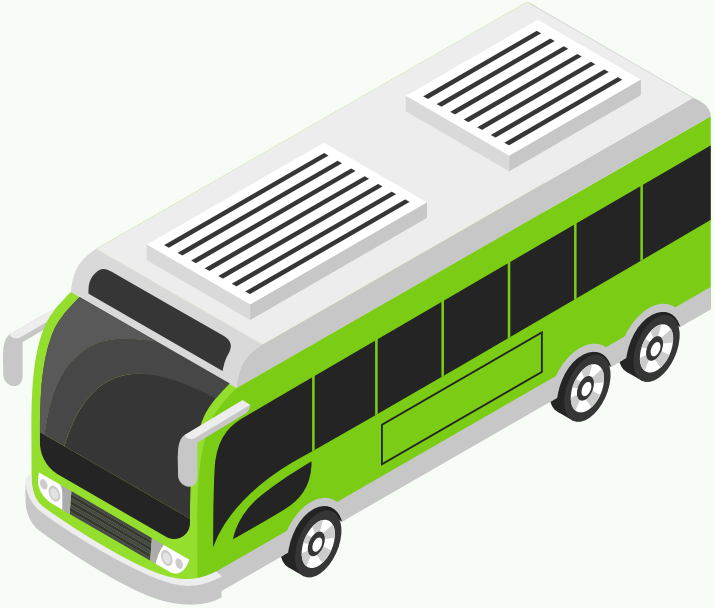
Una vez que se ha realizado esto se podrán extraer, mecánicamente, las partes de la batería y aprovechar materiales, tales como el aluminio, el acero, el cobre, el plástico y la "materia negra" que, eventualmente, podría ser exportada como materia prima.

Brindar un adecuado seguimiento a todo el ciclo de vida de las baterías y no esperar a que concluya su primera vida útil podría permitir el aumento de la factibilidad financiera en los procesos de segunda vida, la facilitación de los procesos de gestión de baterías, y la disminución de posibles accidentes. En este sentido, ciertos proyectos piloto, tales como el que se está llevando a cabo, permitirían implementar estas normativas y controles a lo largo de la vida útil de las baterías, además de constituirse como bases para futuras normativas a nivel nacional y mundial.

3. OBJETIVOS

Para el desarrollo del presente informe se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Revisar la normativa costarricense actual y los diferentes requisitos que se necesitan a lo largo de la vida útil de las baterías.
- Establecer las buenas prácticas y normativas establecidas por los referentes regionales y mundiales.
- Mapear los actores a nivel nacional definiendo el estado actual de infraestructura y capacidades técnicas.
- Establecer los procedimientos para preevaluar y gestionar las baterías de segunda vida.
- Definir las normas establecidas a nivel mundial para una apropiada gestión de residuos de vehículos eléctricos.
- Proponer normativas que pueden ser utilizadas a nivel nacional para una correcta gestión integral de las baterías de vehículos eléctricos.



4. METODOLOGÍA

Este estudio parte de una revisión bibliográfica, documental, y entrevistas que permiten establecer la base procedimental que tiene Costa Rica para la gestión y tratamiento que deben tener las baterías de los vehículos eléctricos a lo largo de su ciclo de vida. Posteriormente, y siguiendo esta misma estrategia, se determinan los procesos y procedimientos que se siguen a nivel regional y los de países referentes a nivel mundial.

Teniendo esta base documental, se realiza un estudio mediante encuestas y entrevistas a nivel local para determinar la situación técnica, de infraestructura, y equipamiento a nivel de laboratorio y nivel industrial, que permita descubrir la necesidad de pilotos y las posibles oportunidades de mejora en otras áreas relacionadas al presente proyecto.

Se hace un estudio de revisión técnica sobre los procedimientos y normativas internacionales que se están investigando para ser aplicados durante la vida útil de las baterías de vehículos eléctricos y posterior a ella, estudiando, también, tanto los procedimientos de reciclaje como de reutilización, y las normativas de calidad y seguridad relacionadas a ellas.

El estudio concluye con una revisión específica de normativas, que permite realizar sugerencias para ser implementadas en el país, tomando en cuenta todas las referencias mencionadas.

5. BASE PROCEDIMENTAL DE COSTA RICA EN GESTIÓN, TRATAMIENTO E INCENTIVOS FISCALES DE LAS BATERÍAS

Para poder comprender las distintas competencias que se dictan en las leyes actualmente a nivel país, se realizó un resumen de los artículos de interés. La rectoría de la gestión de residuos Eléctricos y Electrónicos dentro de Costa Rica es responsabilidad del Ministerio de Salud desde la entrada en vigencia de la Ley N°5395 "Ley General de la Salud". El artículo 278 de su capítulo II aclara lo siguiente:

"Todos los desechos sólidos que provengan de las actividades corrientes personales, familiares o de la comunidad y de operaciones agrícolas, ganaderas, industriales o comerciales, deberán ser separados, recolectados, acumulados, utilizados cuando proceda y sujetos a tratamiento o dispuestos finalmente, por las personas responsables a fin de evitar o disminuir en lo posible la contaminación del aire, del suelo o de las aguas.

Esta designación fue derogada y, en la actualidad, la rectoría del Ministerio se ve reafirmada en la Ley N°8839 "Gestión Integral de Residuos (GIR)" y la directriz 024-S "Competencia del Ministerio de Salud en materia de Residuos Sólidos".

Se expresa, dentro de la definición de la ley GIR, lo siguiente:
"d) Responsabilidad extendida del productor: los productores o importadores tienen la responsabilidad del producto durante todo el ciclo de vida de este, incluyendo las fases posindustrial y posconsumo."

En materia asociada a la gestión de las baterías de vehículos eléctricos, también menciona disposiciones asociadas a residuos de manejo especial y el principio de responsabilidad extendida del productor:

"ARTÍCULO 46.- *Residuos de manejo especial*
El Ministerio de Salud deberá declarar, vía decreto ejecutivo, los residuos de manejo especial que serán separados de la corriente normal de los residuos para ser sujetos de una gestión diferenciada y evitar que ocasionen daños a la salud y el ambiente.
El Ministerio de Salud y las municipalidades deberán promover y facilitar la existencia de la infraestructura necesaria para la valorización, el tratamiento y la disposición final de los residuos de manejo especial.

ARTÍCULO 47.- *Responsabilidad extendida del productor de residuos de manejo especial:*
El productor o importador de bienes cuyos residuos finales sean declarados por el Ministerio de Salud como de manejo especial deberá ejecutar al menos alguna de las siguientes medidas para mitigar o compensar su impacto ambiental:

a) Establecer un programa efectivo de recuperación, reuso, reciclaje, aprovechamiento energético u otro medio de valorización para los residuos derivados del uso o consumo de sus productos en todo el territorio nacional.
b) Participar en un programa sectorial de residuos o por la naturaleza del residuo para su gestión integral, organizado ya sea por sector o por producto.
c) Adoptar un sistema de depósito, devolución y retorno en el cual el consumidor, al adquirir el producto, dejará en depósito una cantidad monetaria que será recuperada con la devolución del envase o el producto.
d) Elaborar productos o utilizar envases o embalajes que, por sus características de diseño, fabricación o utilización, minimicen la generación de residuos y faciliten su valorización, o permitan su eliminación en la forma menos perjudicial para la salud y el ambiente.
e) Establecer alianzas estratégicas con las municipalidades para mejorar los sistemas de recolección y gestión integral de residuos."

Referente a la importación y exportación de residuos, se citan a continuación algunos capítulos de la normativa vigente.

Capítulo II de la Ley N° 8839, Ley GIR. Correspondiente a los Movimientos Transfronterizos; este capítulo presenta de manera especial todo lo referente al movimiento transfronterizo de residuos como exportación, importación y tránsito de residuos (Art. 38), describe disposiciones en caso de prohibición para la importación y el movimiento transfronterizo (Art. 39), Exenciones para importación de residuos (Art. 40), Inspección de aduanas (Art. 41) y repatriación (Art. 42).

Con las enmiendas recientes a la Declaratoria de Residuos de Manejo Especial DE 38272-S, se establece que los vehículos motorizados y los equipos especiales son residuos de manejo especial, y también imponen la obligación de establecer una unidad de cumplimiento para los importadores y distribuidores de todos los vehículos, incluidos los vehículos eléctricos. En la práctica, durante la elaboración de la "Hoja de ruta para la gestión eficiente y ambiental de las baterías de los vehículos eléctricos en Costa Rica", se encontró que dicho requisito no es exigido, de acuerdo con las experiencias previas de importadores en el país (Urcuyo, R. et al., 2022). La probable falta de aclaraciones técnicas en las partidas arancelarias, combinada con la poca divulgación de las regulaciones, significa que el requisito no se está aplicando como está establecido. Se subraya que, actualmente, no existe una normativa específica a nivel de importación para juzgar el estado de vida de las baterías ni existe ningún método de trazabilidad.

Se identificó que aún existe un vacío legal en cuanto a la nomenclatura y características del uso secundario que debe dársele a los residuos de baterías de vehículos eléctricos que se quieran importar, y no existe un método establecido ni una oficina encargada de monitorear estas baterías y "paquetes de baterías". Estos dispositivos se pueden importar, incluso, con base en el Decreto Ejecutivo N°42489 sobre exoneración de impuestos para repuestos de vehículos eléctricos. Por lo que, según lo anterior, las mejoras significativas en los controles de importación, aunado a la trazabilidad, le darán al país la oportunidad de reevaluar este tipo de baterías, con el fin de abastecer el mercado del reciclaje con la cantidad necesaria de pilas para que sea rentable.

Referentes a los incentivos asignados a la importación de VEs, corresponde la Ley N°9518. La Tabla 1 resume los artículos referentes para los VEs, así como para sus repuestos, equipos

Tabla 1. Detalle de los artículos referentes a liberación correspondientes a la Ley N° 9518. Fuente: Dirección General, Ministerio de Hacienda.

Artículo de la Ley	Impuesto	Detalles
9	IVA	Los VEs estarán gravados con 1% de este impuesto, aumentando un punto porcentual por período fiscal hasta alcanzar la tarifa general prevista en la Ley 9635.
	Selectivo de consumo y sobre el valor aduanero	Estarán exentos por 36 meses de la tarifa vigente, luego tendrán una tarifa exonerada del 75% por otros 36 meses, los siguientes 36 meses tendrá una tarifa del 50%, los próximos 36 meses 25%. Luego de 12 años pagará el impuesto que corresponda.
10	Propiedad de vehículos para Ves	Estarán exentos de este impuesto hasta el segundo periodo fiscal, donde la exoneración pasa a ser del 20% por año hasta alcanzar la tarifa general.
11	IVA y selectivo de consumo y sobre el valor aduanero	Los repuestos relacionados con el funcionamiento del motor y las baterías de tracción estarán exonerados de estos impuestos.
12	IVA	Las empresas para producción y ensamblaje de vehículos eléctricos quedarán exoneradas del pago de este impuesto siempre y cuando el valor agregado nacional sea por lo menos de veinte por ciento (20%).

En la Ley N°9518 no se menciona explícitamente los kits de conversión, pero anteriormente, en una entrevista con Electroconversiones, se afirmó que fue posible la importación de estos kits empleando los beneficios fiscales mencionados en esta Ley por medio de la figura "repuestos y partes". (C. González, comunicación personal 18/02/2022). El ingreso de baterías para VEs debería hacerse según la partida 870380, con el código de liberación 2131, sin embargo, se pueden importar baterías de ion-litio por medio de partidas arancelarias, como la 850760 y la 850750.

La importación de un vehículo eléctrico utilizará los siguientes pasos para aplicar la exoneración (de forma resumida) basados en la ley 9518:

1. Registrarse ante EXONET del Ministerio de Hacienda.
2. El COSEVI se encarga de certificar que los vehículos son eléctricos y nuevos. Debe resolverse en un máximo de 10 días.
3. Una vez el COSEVI realiza la certificación indicando que son vehículos cero emisiones, la certificación se traslada al Ministerio de Hacienda. El Ministerio de Hacienda tiene un plazo de un mes natural, máximo, para resolver la solicitud de exoneración.
4. En caso de que el Ministerio de Hacienda devuelva el trámite por inconsistencias en la información, el COSEVI tendrá un plazo de 10 días hábiles para aclarar o adicionar la información.
5. El interesado que realice el trámite de exención tributaria para vehículos eléctricos debe estar al día en el pago de impuestos y pagos referentes a la CCSS.

Cabe señalar que el proceso de certificación por parte del COSEVI solo se llevará a cabo si aplican las exenciones permitidas por la Ley N°9518, caso contrario, estas instituciones no participarán en el proceso.

Por otro lado, para solicitar la exoneración de impuestos para repuestos de VEs y centros de carga se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Obtener una copia de la factura de los bienes a exonerar.
2. Obtener una copia del documento de embarque de los bienes a exonerar.
3. Obtener un documento con las especificaciones técnicas del bien o un enlace a un sitio web donde se puedan apreciar fácilmente.
4. Enviar los documentos de los pasos 1, 2, y 3 al correo direccionenergia@minae.go.cr, con copia a isibaja@minae.go.cr y epalavicini@minae.go.cr.
5. Llenar el formulario disponible en sitio web del MINAE.

6. MAPEO DE CAPACIDADES DE LOS ACTORES EN COSTA RICA

Con el fin de determinar cuál es la situación del país en materia de gestión integral de baterías, se realizó un proceso de recopilación de información, por medio de encuestas, para la elaboración de las tablas que resumen las aplicaciones de segunda vida implementadas en la actualidad, tipos de baterías utilizadas, retos encontrados durante su operación, y las proyecciones a futuro respectivas.

Para este proceso, se tomó en cuenta empresas importadoras de VEs, talleres, centros de formación, e institutos de investigación. Los resultados de la recopilación de información se muestran en la Tabla 2. Una anotación importante es que algunas empresas que también son gestoras de residuos decidieron no brindar información muy específica para protección de sus clientes.

Tabla 2. Resumen de las respuestas obtenidas sobre la situación de las empresas importadoras y gestores a nivel nacional. Fuente: Elaboración propia.

Institución	Aplicaciones de segunda vida que implementan en la actualidad	Tipo de baterías de VEs que gestionan en la actualidad	Retos encontrados	Proyecciones a futuro
FORTECH	Carros de golf, un sistema de respaldo para paneles solares residenciales y uno industrial utilizando normas UL e IEC.	Híbridos 2012-2014, baterías más recientes de recall, estaciones de almacenamiento de recall, baterías de vehículos por accidentes en garantía (BMS o accidente).	Falta de acceso a información técnica. Falta de capacitación y carreras técnicas.	Ayudar al ecosistema, recuperar materias primas, colaboración con emprendimientos, recuperación de materia negra, hidrometalurgia, y lixiviación.
INA	Ninguna.	Ácido plomo ciclo profundo, iones de litio.	No indicado.	En investigación y desarrollo y en formación profesional.
ECOEFICIENCIA	No indicado.	Vehículos eléctricos.	Plan integral.	Consultor y respaldo técnico.
GRUPO Q	No indicado.	No indicado.	No indicado.	Reutilización, para dar un paso más allá de solo la adquisición de materia negra.
AISA INVERSIONES ENERGÉTICAS	No indicado.	No indicado.	Falta de recurso humano especializado en acumulación de energía.	Empresa dedicada al desarrollo de tecnologías aplicables al desmontaje de baterías usadas en vehículos eléctricos y montaje de baterías de segundo uso. Contar con una planta recicladora de baterías. "Proyectamos nuestra empresa como una de las pioneras en este negocio, ofreciendo un servicio integrado, con soluciones para el sector automotriz y cuidando el medio ambiente".

Institución	Aplicaciones de segunda vida que implementan en la actualidad	Tipo de baterías de VEs que gestionan en la actualidad	Retos encontrados	Proyecciones a futuro
PAZE SA	Restauración de baterías de litio, la cual permite ampliar la vida de la batería y no desecharla antes de tiempo. Por medio de unos procedimientos, logramos reparar la batería dañada y les extendemos la vida útil.	Celdas 18650 Marca: Dmegc, Samsung Capacidades: 2500mAh, 2600 mAh, 2900 mAh, 3500 mAh.	No indicado.	Líderes en restauración de baterías de litio.
EVLAB	Carros, otros.	No indicado.	Costos.	Liderando la segunda vida de baterías usadas.
AUTOSTAR/ CEA	No indicado.	CATL – Acummutive- MB.	No indicado.	Se estima trabajar el tema y desarrollos internos relacionados.
UCR	"Powe Banks", almacenamiento genérico y un prototipo de baterías para bicicleta eléctrica. Realización de pruebas sugeridas en el Manual USABC.	Múltiples marcas y modelos, por ejemplo, Samsung de BMW y de vehículos híbridos Ionic.	No existe normativa que regule el SOH. Tampoco existe normativa obligatoria que se deba seguir en el país para asegurar la calidad de los nuevos productos con baterías de segunda vida.	Líder en el país respecto al tema desde el punto de vista de investigación, desarrollo, control de calidad, y capacitación en baterías.

Seguidamente, para conocer más a detalle cuál es el equipo que existe a nivel local para la caracterización de las baterías de VEs, se presenta la información recopilada en las entrevistas en la Tabla 3. Es importante notar que, a nivel de estudios técnicos para la caracterización de estos dispositivos, el faltante de cámaras controladas de temperatura representa un vacío significativo para las capacidades del país, ya que este tipo de cámaras son fundamentales para establecer la relación que existe entre la temperatura, el rendimiento, y la calidad cuando se caracterizan equipos de este tipo.

Tabla 3. Resumen de la infraestructura nacional para la caracterización de baterías de vehículos eléctricos. Fuente: Elaboración propia.

EQUIPAMIENTO	PAZE SA	EVLAB	AUTOSTAR /CEA	GRUPO Q	UCR	FORTECH	INA
Dispositivo para el monitoreo del BMS y computadora del vehículo eléctrico	x	x	x	x	x		
Equipo para el desmontaje de la batería de un vehículo eléctrico		x	x	x		x	x
Cámara aislada para protección durante la medición de baterías							
Equipo para carga y descarga de módulos de baterías	x	x	x	x	x	x	x
Equipo para la carga y descarga de celdas de baterías	x	x	x	x	x	x	
Equipo para la carga y descarga de baterías completas de vehículos eléctricos		x			x	x	
Equipo para la determinación de la resistencia interna de celdas	x	x	x	x	x	x	
Equipo para la determinación de resistencia interna en módulos	x	x				x	
Equipo para la medición de impedancia en celdas	x	x	x		x	x	x
Equipo para la medición de impedancia en módulos		x	x	x		x	
Cámara controlada de temperatura para el análisis de baterías							

Por otra parte, en la Figura 3 se ilustran los resultados correspondientes al tema de equipos de protección personal que poseen los actores. La evaluación que se realizó de estos resultados es que las partes involucradas muestran interés en garantizar la seguridad del personal encargado de los procesos de manipulación de baterías. Adicionalmente, el contar con equipos de protección, como los que fueron consultados en la encuesta realizada, hace que la integridad de las baterías sea preservada y se eviten daños en los procesos de producción.

¿Cuenta con alguno de estos equipos de protección para trabajar con altos voltajes?

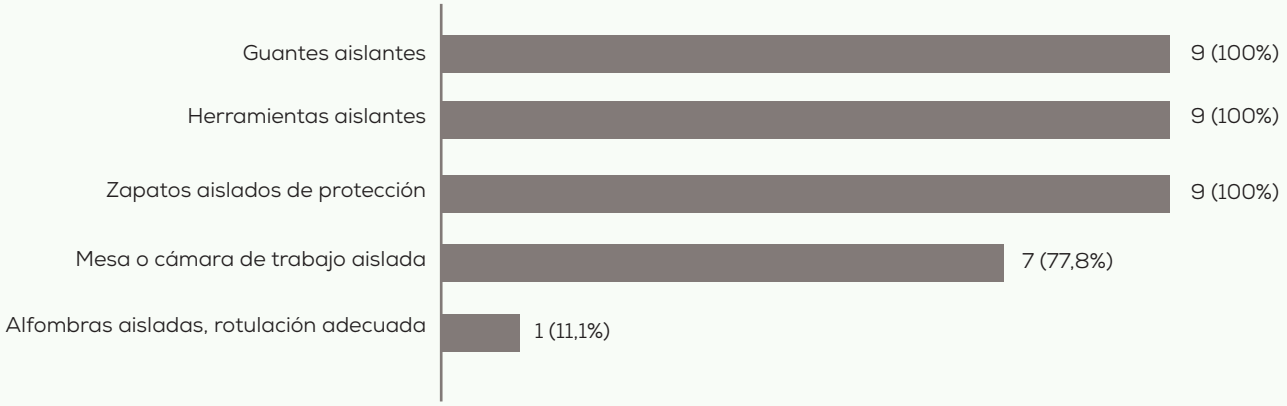


Figura 3. Condiciones de seguridad que se muestran en las empresas gestoras e importadoras relacionadas

En general, el proceso de consulta a la hora de mapear el estado del país en materia de gestión de baterías ha sido clave para conocer a detalle las condiciones actuales de las instituciones, las limitantes que existen, y los pasos que se pueden y deben tomar con base en esta información. En este proceso, se descubrieron factores claves relacionados con el panorama local, como el grado de conocimiento del recurso humano, la materia prima disponible, y las necesidades en cuanto a la generación de normativas técnicas específicas.

Adicionalmente, este mapeo permite la identificación de necesidades relacionadas a nuevos insumos y actores, teniendo en cuenta las opiniones de las instituciones involucradas que lidian con estas gestiones diariamente. En ese sentido, un actor clave del que aún se carece en este proceso corresponde a entes acreditados para la evaluación, control de calidad, y seguimiento de las normas a nivel mundial en temas asociados a segunda vida de baterías. Por otra parte, para que las oportunidades de financiamiento se vuelvan tangibles, es de enorme importancia el desarrollo de proyectos piloto exitosos en almacenamiento estacionario y aplicaciones de segunda vida para baterías de VEs que sean capaces de ilustrar las amenazas y oportunidades reales de este sector.

7. REVISIÓN DE NORMATIVAS Y PROCEDIMIENTOS INTERNACIONALES

7.1 DIAGNÓSTICO DE REFERENTES A NIVEL MUNDIAL

En la Tabla 4 se presenta un resumen de la situación actual de los países investigados, en la cual se abarcan Canadá, Chile, Japón, Colombia, así como las guías brindadas por agencias del Sistema de Naciones Unidas. Dentro de los principales hallazgos, se pueden agrupar las regulaciones de cada país en cuanto a normativa relacionada con importación, transporte, acopio, reutilización, reciclaje, exportación, y control de calidad. La investigación permite identificar el estado de cada país en aspectos referentes a VEs, así como brindar una referencia de partida para el análisis de normativas nacionales.

Tabla 4. Estado de cuestión respecto al ciclo de la vida de las baterías en diversos países. Fuente: Elaboración propia (2023).

País o región	Etapa del ciclo	Ref.
	Importación	
UE	En el reglamento 2020/0353(COD), que está aún bajo discusión, se establece una clasificación de baterías y requisitos de rotulación de batería, etiqueta la cual debe ser visible y legible para su respectiva identificación, así como sus principales características. Presenta los sistemas de homologación para la importación: Directrices de la Comisión Europea y Regulaciones de la Comisión Económica de las Naciones Unidas.	(European Parliament, n.d.)
Canadá	Se debe cumplir con las disposiciones del Manual de Pruebas y Criterios de la ONU bajo las regulaciones de Transport of Dangerous Goods de Canadá(Minister of Justice, 2020), que establece clasificación de baterías, documentación, etiquetado, empaque, y capacitación, así como las acreditaciones que debe poseer el fabricante y la documentación de que las baterías han sido evaluadas bajo el Manual de Pruebas y Criterios de la ONU.	(Transportation of Dangerous Goods Regulations CODIFICATION Règlement Sur Le Transport Des Marchandises Dangereuses, n.d.)
Japón	No se identificó la existencia de regulaciones específicas relacionadas a la importación de baterías.	
Chile	No se identificaron regulaciones para la importación de baterías de VEs. En el 2017, se declaró que no se han detectado resoluciones que establezcan requisitos a las importaciones de baterías de litio.	
Colombia	No existen reglamentos específicos sobre la importación de baterías de VEs.	

País o región	Etapa del ciclo	Ref.
Transporte		
UE	Se establece bajo la norma ADR (Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road). Presenta la categorización del estado de la batería para determinar el tipo de transporte a emplear, se determina por medio de niveles o por medio de la degradación similar al método empleado por la EUCAR (European Council for Automotive Research and Development). También, incluye las normas de protección al transportar baterías.	(Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR): Applicable as from 1 January 2023, 2023)
Canadá	La normativa es dirigida por la oficina Transport Canada que tiene las regulaciones de Transport of Dangerous Goods, donde se establecen regulaciones para el embalaje, documentación de envío, y etiquetado para transporte marítimo y aéreo. Describe las regulaciones del remitente, transportador, y destinatario.	(Transportation of Dangerous Goods Regulations CODIFICATION Règlement Sur Le Transport Des Marchandises Dangereuses)
Japón	No se encontraron regulaciones específicas para el transporte de baterías más que lo que se encuentra establecido en el Acta de reciclaje de vehículos al final de su vida.	(Act on Recycling, Etc. of End-of-Life Vehicles (Act No. 87 of July12, 2002), 2002)
Chile	Se establece mediante El Decreto N°2 del 3 de julio del 2010, regula la Autorización de movimientos transfronterizos de residuos peligrosos consistentes en baterías de plomo usadas.	(Decreto 2: REGULA AUTORIZACIÓN DE MOVIMIENTOS TRANSFRONTERIZOS DERESIDUOS PELIGROSOS CONSISTENTES EN BATERÍAS DE PLOMO USADAS, 2010)
Colombia	Se emplea el Decreto 1609 de 2002 "Por El Cual Se Reglamenta El Manejo y Transporte Terrestre Automotor de Mercancías Peligrosas Por Carretera".	(Decreto 1609 de 2002 'Por El Cual Se Reglamenta El Manejo y Transporte Terrestre Automotor de Mercancías Peligrosas Por Carretera', 2002)

País o región	Etapa del ciclo	Ref.
	Acopio	
UE	Directiva Europea de Baterías 2006/66/CE y el Código de Residuos Sueco, 2011:927 26 presentan las principales normas de acopio. Se describe que el acopio de las baterías depende de los fabricantes o del uso de terceros actuando a su nombre. Señala que los fabricantes son los responsables de cubrir los gastos de recolección y acopio de las baterías.	(European Parliament,
Canadá	No existen reglamentos específicos referentes al acopio de baterías de VEs.	
Japón	No existe normativa específica para el acopio de baterías de VEs.	
Chile	No existe normativa específica para el acopio de baterías de VEs.	
Colombia	Se regula mediante el Decreto 4741, enfocado principalmente en baterías de plomo, pero que puede aplicarse a baterías de litio. Describe de forma parcial los reglamentos para prevención y manejo de residuos peligrosos.	(Decreto Número 4741, 2005)

País o región	Etapa del ciclo	Ref.
	Reutilización	
UE	Dentro del reglamento 2020/0353(COD) se presenta como meta una reutilización obligatoria. Sin embargo, ninguna de las legislaciones relacionadas es referente al almacenamiento de energía, ni se cuenta con una definición oficial de reutilización por lo que lo que se comienza a posicionar en el mercado europeo sin regulaciones estrictas.	(European Parliament, n.d.)
Canadá	No existe normativa específica para la reutilización de baterías, pero se presentan empresas como Momment que emplea baterías usadas de Evs para el almacenamiento de energía. Para Norteamérica se presenta la normativa:/CAN/UL Standard for Evaluation for Repurposing Batteries.	(Standars Council of Canada, 2018)
Japón	4R Energy Corporation, ha desarrollado diversos proyectos piloto con el fin de estudiar la reutilización de baterías de VEs, presentando sistemas de almacenamiento de gran capacidad, un estabilizador para sistemas de potencia e incluso sistemas de almacenamiento de pequeña escala para aplicación comercial.	(Nissan Motor Corporation, 2021)
Chile	En la actualidad, Chile se encuentra realizando un proyecto en conjunto con la GIZ para poder establecer las normas referentes la segunda vida de baterías de VEs.	(Marianela Taborelli, 2022)
Colombia	No existen normativas sobre la reutilización de baterías. Existe un proyecto de batería de bus eléctrico que alimenta una vivienda y baterías de vehículos para almacenamiento de energía por paneles solares.	(Ayelén Portaluppi, 2021)

País o región	Etapa del ciclo	Ref.
	Reciclaje	
UE	La norma establece la responsabilidad extendida al productor. Se establecen porcentajes de material reciclado en baterías y porcentajes de recogida, reciclaje y eficiencia de reciclaje. Se registran algunas de las empresas de reciclaje: Umicore Battery Recycling en Dinamarca (7000 Toneladas anuales), Accurec Recycling GmbH en Dinamarca (6000 toneladas). Presenta limitaciones en la estandarización del diseño de baterías, química de elaboración y procesos de reciclaje.	(Mayyas et al., 2019)
Canadá	No hay una norma particular para el reciclaje de baterías de litio de vehículos eléctricos. Existe normativa respecto a baterías de plomo en donde se establece como parte de la responsabilidad extendida al productor Se regula bajo la normativa: en Columbia Británica Environmental Management Act RECYCLING REGULATION B.C. Reg. 449/2004. Se tiene registro de la empresa Retriev Technologies Inc la cual tiene una capacidad de 4500 toneladas de baterías de litio al año. Dicha empresa opera bajo las normativas: ISO 9001: Sistemas de gestión de calidad ISO14001: Sistemas de gestión medioambiental ISO 45001: Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo R2: El estándar de reciclaje responsable (R2)	(Mayyas et al., 2019; Office of Legislative Counsel, 2022)
Japón	Se encuentra el registro de 6000 toneladas recicladas mediante las empresas: Sony Electronics Inc., Sumitomo Metals and Mining Co., Nippon Recycle Center Corp.; Dowa Eco-System Co. Ltd. Y JX Nippon Mining and Metals Co. Se regula con el Acta de reciclaje de vehículos al final de su vida y la Ley de Reciclado de Automóviles.	(Mayyas et al., 2019)
Chile	Ley N° 20920 referente el marco para la gestión de residuos declara las regulaciones para gestión de residuos, responsabilidad extendida del productor y fomento de reciclaje. No hay empresas para el reciclaje de baterías de litio establecidas. Entre 2022 y 2023 se desarrollará el decreto específico de metas de recolección, valorización y otras obligaciones para baterías, incluyendo las baterías de VEs.	(Congreso Nacional de Chile, 2016)
Colombia	No hay empresas establecidas para el reciclaje de baterías de litio en la actualidad. Sin normativa específica. Se regula mediante el Decreto 4741 de 2005 para residuos peligrosos.	(Decreto Número 4741, 2005)

País o región	Etapa del ciclo	Ref.

Exportación

UE	La exportación sigue la normativa 2000/532/EC, la cual describe sustancias peligrosas y no peligrosas. Describe las regulaciones para el envío de residuos bajo el convenio de Basilea. Referente a los países fuera de la OCDE se regula mediante el Reglamento 1420/1999 que establece las normas para el envío a países que no pertenecen a la OCDE.	(2000/532/EC: Replacing Decision 94/3/EC Establishing a List of Wastes Pursuant to Article 1(a) of Council Directive75/442/EE, 2000)
Canadá	Las regulaciones vigentes son "Cross-border Movement of Hazardous Waste and Hazardous Recyclable Material Regulations" referente a las regulaciones para transporte y embalaje.	(Transport Canada, 2017)
Japón	De igual forma que Costa Rica, es regulado por medio de la OCDE y el convenio de Basilea.	
Chile	Los movimientos de exportación se regulan por el Convenio de Basilea. Además, se puede relacionar el Decreto N°2 del 3 de julio del 2010, el cual regula los movimientos de baterías de plomo usadas.	(Decreto 2: REGULA AUTORIZACIÓN DE MOVIMIENTOS TRANSFRONTERIZOS DERESIDUOS PELIGROSOS CONSISTENTES EN BATERÍAS DE PLOMO USADAS, 2010)
Colombia	El movimiento de exportación se encuentra regulado por el Convenio de Basilea para desechos peligrosos y su eliminación. Describe que el fabricante debe aportar un plan de contingencia y seguridad para la disposición final de residuos.	

País o región	Etapa del ciclo	Ref.
	Control de calidad de vehículos	
UE	En la actualidad las normativas para el control de calidad de baterías son: IEC 62660-1 Ed. 2.0 b:2018 IEC 62660-2 Ed. 2.0 b:2018 IEC 62660-3 Ed. 1.0 b:2016 Describen las especificaciones de calidad y pruebas de segunda vida en baterías empleadas para propulsión de VEs.	
Canadá	No se identificó información particular sobre el control de calidad de VEs.	
Japón	No se recopiló información particular sobre el control de calidad de VEs.	
Chile	No se presentan normas específicas para el control de calidad de baterías de VEs a excepción del Decreto Nº145/2018 (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones).	(Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2017)
Colombia	No existen regulaciones específicas para el control de calidad de baterías de VEs. A consulta pública se han presentado 3 documentos relacionados con baterías de vehículos eléctricos, relacionado a la normativa de IEC 62660, referente al desempeño de baterías y sus requisitos para una mejor vida útil.	

IMPORTACIÓN:

A nivel latinoamericano, las regulaciones referentes a la importación de baterías se encuentran en sus etapas de estudio, mientras que en la Unión Europea y, especialmente Canadá, se tienen regulaciones específicas para la importación de baterías. Por ejemplo, en el caso de Canadá, estas deben cumplir con el Manual de Pruebas y Criterios de la ONU.

En el caso de la Unión Europea, se está trabajando en nuevas regulaciones más estrictas y específicas para baterías de vehículos eléctricos, las cuales involucran clasificación, etiquetado, homologación, entre otros factores.

TRANSPORTE:
Para el caso del transporte de baterías, una vez que éstas han ingresado al respectivo país o región, en la mayoría de los referentes estudiados, existe legislación vigente relacionada, principalmente, con el transporte de bienes peligrosos. En el caso de Canadá, existe una clasificación muy específica: el tipo de baterías y las normas correctas de embalaje. En Japón no se encontró ninguna norma en específico para baterías, mientras que Colombia y Canadá poseen regulaciones para el movimiento de residuos peligrosos o para baterías de plomo.

ACOPIO:
La normativa referente al acopio de baterías presenta muchas deficiencias en los referentes estudiados. La mayoría de los países no tienen legislación en ese sentido. En el caso de Colombia existen regulaciones, pero enfocadas en baterías de plomo. La legislación de la Unión Europea establece como responsables del acopio a los fabricantes y emite algunas directrices más específicas para ello.

VALORIZACIÓN POR REUTILIZACIÓN:
Para el caso de la valorización por reutilización de baterías, en Colombia, Japón, y Canadá no existe ningún tipo de regulación específica. No obstante, la Unión Europea y Chile están trabajando en normativa para la reutilización de baterías. En Canadá y Japón existen empresas que han llevado a cabo proyectos piloto enfocados en la reutilización de baterías y que resultan ser de gran relevancia para ayudar a identificar los vacíos legales y los requerimientos de las normativas.

RECICLAJE:
En una gran cantidad de los países referentes existe la figura de responsabilidad extendida al productor, la cual indica que es responsabilidad del fabricante o importador gestionar los residuos generados de manera apropiada. A pesar de que todos los países cuentan con normativa para el reciclaje de residuos peligrosos, no todos ellos presentan normativa que regule, específicamente, las baterías de vehículos eléctricos. La Unión Europea y Chile se encuentran trabajando en normativa especializada en baterías de vehículos eléctricos. No obstante, en la Unión Europea, Canadá, y Japón existen compañías con una amplia experiencia ya ganada en el reciclaje de baterías de ion-litio.

EXPORTACIÓN:
La exportación de residuos de baterías de vehículos eléctricos está típicamente regulada por convenios internacionales para el transporte de residuos peligrosos, tales como acuerdos de la OCDE o el Convenio de Basilea. En Canadá, además de esto, se tienen algunas normativas más específicas para el movimiento de residuos peligrosos a través de las fronteras.

CONTROL DE CALIDAD DE VEHÍCULOS:
El control de calidad de las baterías de vehículos eléctricos para su monitoreo mediante revisión técnica de vehículos es algo que, de momento, no se encuentra regulado y para lo que no existe una normativa específica. A nivel europeo se cuenta con normas IEC, pero, a pesar de ello, estas se aplican, usualmente, a baterías de vehículos nuevos.

RESPECTO A LOS RESIDUOS DE BATERÍAS PARA RECICLAJE:
La Unión Europea, el 10 de marzo del año 2022, declara:
"También es necesario actualizar la legislación de la Unión Europea en materia de gestión de los residuos de pilas y baterías y adoptar medidas para proteger el medio ambiente y la salud humana evitando o reduciendo los efectos adversos de la generación y la gestión de residuos, reduciendo el impacto del uso de los recursos y mejorando la eficiencia en el uso de los recursos. Estas medidas son cruciales para la transición hacia una economía circular y climáticamente neutra y hacia un entorno sin sustancias tóxicas, así como para la competitividad a largo plazo y la autonomía estratégica de la Unión. Pueden crear importantes oportunidades económicas, aumentando las sinergias entre la economía circular y las políticas en materia de energía, clima, transporte, industria e investigación, así como protegiendo el medio ambiente y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero."

Diversas normas con objetivos de cuotas de reciclaje y normativas específicas para las diferentes tecnologías e importación para reciclar baterías a nivel regional desarrollarán un alto interés para la región.

7.2 REGULACIONES INTERNACIONALES RELACIONADAS A LA CALIDAD DE LAS BATERÍAS

En la Tabla 5 se presenta una abstracción de las principales normas en relación con el control de calidad y diagnóstico de baterías. La normativa UN 38.3 abarca las pruebas necesarias para asegurar el transporte seguro de las baterías, principalmente cuando van a ser movilizadas internacionalmente. En países como Canadá se solicita que las baterías que van a ingresar a su territorio hayan pasado las pruebas descritas en esta normativa como requisito de entrada.

Tabla 5. Regulaciones relevantes referentes al control de calidad y a la reutilización de baterías. Fuente: Elaboración propia.

REGULACIÓN	DESCRIPCIÓN Y CONTENIDO
UN 38.3: Transportation Testing for Lithium Batteries and Cells	Referente a las pruebas requeridas para el transporte seguro de baterías: Simulación de altitud (T1): simulación de baja presión (pilas y baterías primarias y secundarias). Prueba térmica (T2): referente a integridad ante cambios de temperatura rápidos y extremos (pilas y baterías primarias y secundarias). Vibración (T3): simulación de vibración durante el transporte (pilas y baterías primarias y secundarias). Choque (T4): simulación de vibraciones durante el transporte (pilas y baterías primarias y secundarias). Cortocircuito (T5): simulación de un cortocircuito externo (pilas y baterías primarias y secundarias). Impacto (T6): simulación de impacto y de aplastamiento a la carcasa de la celda (celdas primarias y secundarias). Sobrecarga (T7): simulación de sobrecarga en una batería recargable (baterías secundarias). Descarga forzada (T8): simulación de la descarga forzada de celdas (celdas primarias y secundarias).

REGULACIÓN	DESCRIPCIÓN Y CONTENIDO
IEC 62133-2:2017+ AMD1:2021 CSV CONSOLIDATED VERSION: Pilas secundarias y baterías que contienen electrolitos alcalinos u otros electrolitos no ácidos. Requisitos de seguridad para pilas secundarias portátiles selladas y para baterías fabricadas con ellas, para uso en aplicaciones portátiles.	Presenta las pruebas y requisitos para el funcionamiento seguro de baterías de litio secundarias que poseen electrolitos no ácidos.
IEC 62660-1:2018 RLV: Células secundarias de iones de litio para la propulsión de vehículos eléctricos de carretera.	Presenta las pruebas de rendimiento y vida útil de las baterías secundarias de iones de litio utilizadas para conducir vehículos eléctricos, incluidos los vehículos eléctricos de batería (BEV) y los vehículos eléctricos híbridos (HEV). Presenta los procedimientos de prueba para obtener las características esenciales de las baterías de iones de litio para aplicaciones de propulsión de vehículos en términos de capacidad, densidad de potencia, densidad de energía, vida de almacenamiento, y ciclo de vida.
IEC 62660-2:2018 RLV: Células secundarias de iones de litio para la propulsión de vehículos eléctricos de carretera. Parte 2: Pruebas de confiabilidad y abuso	Especifica un procedimiento de prueba para observar la confiabilidad y el comportamiento de abuso de las baterías secundarias de iones de litio y los paquetes de baterías utilizados para conducir vehículos eléctricos, incluidos los vehículos eléctricos con batería (BEV) y los vehículos eléctricos híbridos (HEV). Este documento especifica los procedimientos y condiciones de prueba estándar para las características esenciales de las baterías de iones de litio utilizadas para baterías de propulsión y vehículos eléctricos híbridos. Las pruebas son esenciales para obtener datos fundamentales sobre la confiabilidad y el comportamiento de abuso de las celdas de iones de litio utilizadas en varios sistemas de baterías y diseños de paquetes. Este documento proporciona una taxonomía estándar para la descripción de los resultados de las pruebas para el diseño de sistemas o paquetes de baterías.

REGULACIÓN	DESCRIPCIÓN Y CONTENIDO
IEC 62660-3:2016: Células secundarias de iones de litio para la propulsión de vehículos eléctricos de carretera. Parte 3: Requisitos de seguridad	Presenta los procedimientos de prueba y los criterios de aceptación para el rendimiento de seguridad de las baterías secundarias de iones de litio y los paquetes de baterías utilizados para impulsar vehículos eléctricos (EV), incluidos los vehículos eléctricos de batería (BEV) y los vehículos eléctricos híbridos (HEV). Esta norma internacional tiene por objeto determinar el rendimiento de seguridad esencial de las baterías utilizadas en paquetes y sistemas de baterías en las condiciones de uso previstas y uso indebido o accidentes razonablemente previsibles durante el funcionamiento normal de los vehículos eléctricos. Los requisitos de seguridad de la batería en este estándar se basan en la premisa de que la batería se usa correctamente en paquetes y sistemas de batería dentro de los límites de voltaje, corriente, y temperatura especificados por el fabricante de la batería.
ISO 12405-1:2011/2:2012: Vehículos de carretera de propulsión eléctrica. Especificación de ensayo para paquetes y sistemas de baterías de tracción de iones de litio. Parte 1 y 2: Aplicaciones de alta potencia	Esta regulación específica las pruebas para la batería de Ion Litio, paquetes y sistemas de baterías en aplicaciones de VEs. Permite la determinación de características de rendimiento, fiabilidad, y condiciones máximas.
ANSI/CAN/UL 1974: Standard for Evaluation for Repurposing Batteries	Presenta el proceso de selección y clasificación de baterías, módulos, celdas electroquímicas y capacitores que se configuraron originalmente para otros fines, como la propulsión de vehículos eléctricos que están destinados a aplicaciones reutilizadas, como en el sistema de energía. Almacenamiento de energía y otras aplicaciones para baterías, módulos, celdas, y capacitores electroquímicos. Requisitos específicos de la aplicación para paquetes/sistemas de baterías reutilizables y paquetes/sistemas de baterías que utilizan módulos, celdas, y otros componentes reutilizables.
GB/Z 18333.1-2001: Lithium-ion batteries for electric road vehicles	Presenta las especificaciones de baterías de iones de litio para VEs, sus requerimientos, métodos de prueba, control de calidad, almacenamiento y transporte. Para VEs con una tensión nominal de 306 V y un módulo simple n 3. 6v (n equivalente al número de baterías).

REGULACIÓN	DESCRIPCIÓN Y CONTENIDO
USABC ELECTRIC VEHICLE BATTERY TEST PROCEDURES MANUAL	Esta normativa presenta los procedimientos necesarios para realizar una prueba de batería, patrocinada por USABC. Incluye los estándares y estructura que deben de implementar las organizaciones de prueba incluidos los desarrolladores de USABC. Las pruebas comprendidas en el manual incluyen: Carga con alta corriente: Esta prueba consiste en una carga rápida de corriente constante que dura un periodo de 15 minutos. El fabricante debería de especificar el valor "C" a utilizar, en caso contrario, se utiliza un valor por defecto de 3,2 C. HPPC: La prueba HPPC simula un estilo de conducción de un vehículo de manera agresiva. Se parte de una batería cargada al 100 % - hace pasos de freno regenerativo 0.75R (carga) y descarga a 1R, donde R puede ser 1C u otra corriente de referencia, que se debe de especificar. Cada combinación de pasos de carga y descarga está separada por una hora, y se debe de hacer cada 10 % de la capacidad de la batería perdida. Para dicha capacidad se debe de ejecutar un test de Static Capacity, aunque en el documento oficial de la USABC sugieren que, si la batería es lo suficientemente grande, la capacidad se puede estimar directamente del test de HPPC (lo cual, también, se puede programar con cambios mínimos). Corriente de pico: Esta prueba busca determinar la capacidad del dispositivo para producir pulsos dinámicos a lo largo de su rango de voltaje bajo condiciones de carga. La prueba como tal tiene pulsos de 30 segundos cada vez que se descarga un 10 % de la capacidad nominal del dispositivo. Debido a limitaciones del software no se puede calcular cuándo se extrae un 10% de la capacidad de la batería. Por lo anterior, se realizó una aproximación, se asumió que la batería estaba en condiciones similares a BoL y así estimar cuándo se descarga cada 10%.

8. REVISIÓN ESPECÍFICA DE NORMATIVAS DE CALIDAD DE BATERÍAS A NIVEL NACIONAL

En Costa Rica, INTECO ha adoptado diferentes estándares relacionados con el almacenamiento estacionario de energía. Existen algunos estándares comunes, como INTE N39:2020 sobre baterías de litio, así como normas específicas aplicables a cada área de la movilidad eléctrica. Los vehículos eléctricos contienen módulos hechos con baterías reutilizables que, después de su vida útil, se pueden manipular y evaluar como productos perfectamente funcionales, lo que se debe a que su manufactura se apega al procedimiento establecido en la norma UL 1974: "Standard for Evaluation for Repurposing Batteries", permitiendo la remanufacturación del módulo para ser considerado como un nuevo producto.

8.1 NORMATIVAS SOBRE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA CON BATERÍAS

A continuación, en la Tabla 6, se detallan las normativas generales aplicables para movilidad eléctrica en general, así como las relevantes únicamente en temática de baterías.

Tabla 6. Normativas resumidas referentes a almacenamiento de energía con baterías y acumuladores de INTECO. Fuente: Elaboración propia.

NORMATIVA	NOMBRE
INTE N39:2020	Baterías de litio.
INTE N40:2020	Baterías para uso estacionario en aplicaciones de potencia auxiliar vehicular y de riel eléctrico ligero (FEL).
INTE/IEC 62619:2020	Celdas secundarias y baterías que contienen electrolitos alcalinos u otros no ácidos. Requisitos de seguridad para las celdas secundarias y baterías de litio para uso en aplicaciones industriales.
INTE N115:2020	Sistemas de montaje, dispositivos de montaje, dispositivos de anclaje y retención, y terminales a tierra para paneles y módulos fotovoltaicos de placa plana.
INTE/IEC 62133-2:2020	Celdas y baterías secundarias de tipo alcalino y de otro tipo de electrolito no ácido. Requisitos de seguridad para celdas selladas secundarias y de baterías hechas de ellas para su uso en aplicaciones portátiles. Parte 2: Sistemas de litio.
INTE/IEC 61427-1:2018	Acumuladores y baterías de acumuladores para el almacenamiento de energía renovable. Requisitos generales y métodos de ensayo. Parte 1: Aplicaciones fotovoltaicas independientes de la red.
INTE N116:2020	Seguridad. Baterías de reserva.
INTE N117:2020	Seguridad. Almacenamiento de Energía. Equipo y Sistemas.
INTE/IEC 62485-1:2020	Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 1: Información general de seguridad.
INTE/IEC 62485-2:2020	Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 2: Baterías estacionarias.
INTE/IEC 62133-1:2020	Celdas y baterías secundarias de tipo alcalino u otro tipo de electrolito no ácido. Requisitos de seguridad para celdas selladas secundarias y de baterías hechas de ellas para su uso en aplicaciones portátiles. Parte 1: Sistemas de níquel.

8.2 NORMATIVAS PARA LA UTILIZACIÓN DE BATERÍAS USADAS EN MOVILIDAD ELÉCTRICA

En Costa Rica se han adoptado, por medio de INTECO, dos regulaciones específicas para las pruebas de desempeño, confiabilidad, y abuso en el uso de las baterías de litio en los vehículos eléctricos. Los módulos o paquetes de baterías producidos a partir de otras baterías anteriormente usadas pueden analizarse como un nuevo producto y se pueden regular bajo las normas especificadas en la Tabla 7.

Tabla 7. Resumen de normativas correspondientes al desempeño, confiabilidad, y abuso de baterías de litio empleadas en VE. Fuente: Elaboración propia.

NORMATIVA	NOMBRE
INTE/IEC 62660-1:2018	Celdas secundarias de litio para la propulsión de vehículos eléctricos de carretera. Parte 1: Ensayo de desempeño
INTE/IEC 62660-2:2018	Celdas secundarias de litio para la propulsión de vehículos eléctricos de carretera. Parte 2: Ensayo de confiabilidad y abuso.

Adicional a la normativa anterior, la CEPAL ha producido un documento sumamente relevante para su consideración: "Propuesta de marco regulatorio para acelerar la inversión en vehículos eléctricos a través de la reconversión de vehículos alimentados con combustibles fósiles". Esta propuesta de marco regulatorio considera los aspectos de seguridad del cambio de vehículos de combustión interna a vehículos eléctricos. Además, la propuesta tiene en cuenta la importancia de una entidad validadora que no solo se encargue de supervisar la transición, sino también su funcionamiento a lo largo de su vida. Esta entidad de verificación puede ser el laboratorio o ente de evaluación de baterías que se mencionó en el capítulo anterior.

En esta línea, existen algunas empresas que cuentan con un largo historial en la reconstrucción de baterías de automóviles híbridos, por ejemplo, Carbone. Esta compañía estadounidense lleva a cabo la reconstrucción de baterías de vehículos híbridos de Níquel-Cadmio y para esto sigue las normas: ISO 9001, ISO 14001 y "Manufacturing Again Certification".

La Tabla 8 agrupa las diferentes normativas según los diferentes procesos de la reutilización de baterías y conversión de vehículos de combustión interna a vehículo eléctrico.

Tabla 8. Resumen de la normativa aplicable a distintos procesos de la reutilización de baterías y conversión de vehículos de combustión a eléctricos. Fuente: Elaboración propia.

Almacenamiento de energía con baterías	INTE N39:2020
	INTE N40:2020
	INTE/IEC 62619:2020
	INTE N115:2020
	INTE/IEC 62133-2:2020
	INTE/IEC 61427-1:2018
	INTE N116:2020
	INTE N117:2020
	INTE/IEC 62485-1:2020
	INTE/IEC 62485-2:2020
	INTE/IEC 62133-1:2020
Desempeño, confiabilidad y abuso en el uso de baterías	INTE/IEC 62660-1:2018
	INTE/IEC 62660-2:2018
Conversión de vehículos de combustión a vehículos eléctricos	Propuesta de marco regulatorio para acelerar la inversión en vehículos eléctricos a través de la reconversión de vehículos alimentados con combustibles fósiles.
Reconstrucción de baterías de automóviles híbridos	ISO 9001
	ISO 14001
	Manufacturing Again Certification

9. RECOMENDACIONES PARA UNA MEJOR GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS DE BATERÍAS EN COSTA RICA

En esta sección se sugiere la normativa aplicable para el manejo y disposición adecuada de los residuos de baterías en nuestro país. Adicionalmente a lo detallado en este apartado, se elaborará una feria para mejorar las bases de datos sobre el tema, así como un taller para su divulgación y socialización con los diferentes actores. Respecto a lo anterior, la presencia y aporte de los distintos ministerios de la República es fundamental, de modo que la gestión de residuos de este tipo tenga una base sólida y un músculo más fuerte de implementación a ser detallado en un informe final posterior al presente.

El segundo uso de la batería se resume en tres posibilidades:

Uso directo: la batería completa del vehículo es utilizada en otra aplicación.

Desmantelamiento al nivel de módulos: se extraen y se utilizan los módulos de la batería en aplicaciones diversas.

Desmantelamiento al nivel de celdas: los módulos de las baterías son desmantelados en sus celdas, de esta forma pueden ser clasificadas según su estado.

Cuanto mayor sea el nivel de desmontaje de la batería, mayor será el costo y la complejidad. Aunado a ello, es necesario instalar un nuevo sistema de gestión de la batería (BMS, por sus siglas en inglés). Por eso, el uso directo es la opción más económica, aunque limitaría la cantidad de aplicaciones en que se puede aprovechar la batería.

9.1 PROCEDIMIENTO GENERAL PARA EL MANEJO DE BATERÍAS

Establecer los procedimientos adecuados para el manejo de las baterías de vehículos eléctricos es complicado, debido a la gran cantidad de modelos en el mercado. Estos modelos difieren en disposición, geometría de las celdas, capacidad, corriente, y BMS, factores que hacen sumamente complicado establecer un protocolo estandarizado que funcione para todas. No obstante, se han establecido una serie de procedimientos generales que pueden seguirse para establecer su estado de salud, reutilización, y reciclaje. Estos autores han definido cinco etapas, no obstante, en el presente informe el equipo redactor ha agregado una etapa inicial de preevaluación de la batería, antes de que tenga que ser retirada del vehículo. Dichas seis etapas están descritas a continuación:

9.1.1 PREEVALUACIÓN

Primeramente, las baterías de los vehículos eléctricos se prueban mientras están instaladas en el vehículo eléctrico. Este tipo de vehículos cuentan con dispositivos BMS y computadoras que monitorean variables como el voltaje, estado de carga, resistencia en la corriente directa, etc. Además, estos dispositivos permiten leer el estado de salud de las baterías individuales y determinar si alguna de las baterías del módulo está defectuosa, lo que, si es el caso, lleva a la posibilidad de quitar el módulo de la batería y realizar una serie de pruebas para determinar si todavía funciona correctamente.

Los procedimientos se realizan en el taller de la agencia del vehículo eléctrico, donde especialistas en mecánica realizan un procedimiento de balanceo a las baterías para garantizar que todas las celdas se ajusten y tengan el mismo valor de voltaje. Si la batería continúa teniendo problemas, se puede sugerir reemplazar el módulo por uno nuevo. Empero, generalmente la agencia no puede reparar los módulos retirados de los vehículos eléctricos y las baterías dañadas y, por razones de seguridad, es mejor instalar un módulo nuevo.

La principal prueba que realizan los talleres para determinar el estado de salud de las baterías es el balanceo de potencial. Para que las celdas de los vehículos eléctricos funcionen

correctamente, sus voltajes deben estar correctamente equilibrados. Una diferencia de voltaje de hasta 50 mV es crítica para un vehículo eléctrico, mientras que una diferencia de voltaje de 100 mV puede hacer que el vehículo quede completamente inoperable. Si un módulo de batería no puede igualar el voltaje de sus celdas, es seguro que una o más de las celdas no estén funcionando correctamente y que se deba quitar el módulo.

Equipo de protección para el desmontaje: Dado que las baterías tienen corrientes altas y tensiones elevadas, el riesgo eléctrico es alto. Por esta razón, el equipo de protección es indispensable. Dicho equipo de protección debe considerar, como mínimo:

- **Guantes de protección:** guantes dieléctricos de 1000 V, los cuales se deben colocar junto con guantes externos de cuero para proteger de posibles cortaduras.

- **Zapatos aislados:** zapatos de seguridad de 18 kV.

- **Herramientas aisladas:** todas las herramientas que se utilicen en la batería deben tener un aislamiento de 1000 V.

- Se recomienda, además, utilizar una mesa de trabajo aislada.

9.1.2 EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE BATERÍAS BASADO EN SU INFORMACIÓN HISTÓRICA

En esta sección se debe incluir y evaluar la información de la batería, incluyendo:

- Fabricante.
- Modelo.
- Lote y fecha de producción.
- Tipo de batería (capacidad nominal, voltaje, química involucrada).
- Historia de operación.
- Razones por las que la batería fue retirada del vehículo. Por ejemplo: daño, problemas de seguridad, accidente, o simplemente envejecimiento de la batería.

Para tener una trazabilidad de las baterías en el país, es necesario el desarrollo de una nueva base de datos que debería existir de forma unificada y estar vinculada al Registro de Importaciones de Sustancias Peligrosas que mantiene el Ministerio de Salud de Costa Rica.

Con base en esta información, las baterías se pueden clasificar y se pueden establecer los primeros criterios sobre la extensión del daño que pueden presentar las baterías y si su uso presenta un mayor riesgo. Para ejemplificar, si los módulos provienen de un siniestro vial, se puede determinar si deben manejarse con más cuidado y si presentan un mayor riesgo de seguridad. Además, la base de datos podría ayudar a predecir el volumen de baterías que estaría próximo a terminar su primera vida útil y, de esa forma, ayudar con su gestión adecuada.

9.1.3 DESMANTELAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE BATERÍAS REMOVIDOS DEL VEHÍCULO EN MÓDULOS O CELDAS

La fase de desmontaje es una de las más complejas y costosas, ya que debe ser realizada manualmente por el personal técnico. Se estima que la extracción de la batería a nivel de módulo podría tardar hasta 800 minutos y 165 minutos adicionales a nivel de celda, por un coste total de alrededor de 76€ por kWh. Este costo puede ser tanto como la mitad del precio de un nuevo paquete de baterías.

Otro desafío importante es que las baterías varían mucho en tamaño, composición química, y forma, lo que hace que sea casi imposible tener un protocolo de desmontaje estandarizado. No obstante, mantener la mayor cantidad de medidas de seguridad, mencionadas en el apartado anterior, es fundamental para garantizar la integridad de su plantilla.

En la medida de lo posible, las baterías pueden ser desmanteladas al nivel de módulos, de manera tal que el proceso presente menores costos y complicaciones. Una vez que se tienen los módulos, estos pueden ser reparados, reacondicionados, y reutilizados.

9.1.4 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO MECÁNICO, ELECTROQUÍMICO, Y DE SEGURIDAD DE LAS BATERÍAS

9.1.4.1 INTEGRIDAD MECÁNICA DE LAS BATERÍAS

En la Tabla 9, se presentan los principales parámetros de la inspección visual y su posible impacto en la seguridad de la batería y en las decisiones de reutilización. Si la inspección visual indica que la batería parece ser adecuada para reutilización, se deben realizar pruebas más específicas para determinar su condición eléctrica.

Tabla 9. Análisis visuales de integridad mecánica de las baterías.

ANÁLISIS	INFLUENCIA EN LA SEGURIDAD	IMPACTO EN LA DECISIÓN DE RE-USO
Hinchamiento de módulos	Mediana	Mediana a baja
Corrosión de conectores	Mediana a baja	Baja
Cables y conexiones sueltos	Mediana	Mediana a baja
Introducción de agua y polvo	Alta	Alta
Datos disponibles de fabricación	Baja	No aplica

El primer paso corresponde a la inspección visual una vez desmontada la batería, y algunos de los aspectos que se deben validar son:

- Hinchazón de algunas de las celdas en la batería: puede representar formación de gases internos.
- Corrosión de los conectores: riesgo medio o bajo. Debe ser removido y validarse el funcionamiento.
- Cables y conectores flojos: de ser posible, debe ser reparado, y los circuitos externos deben ser revisados.
- Introducción de agua y polvo dentro de la batería: si la batería se encuentra perforada, no debe ser reutilizada, sino que debe ser dispuesta según las normas.

En la actualidad, la inspección visual de las baterías la realiza principalmente el personal mecánico, cuestión costosa y poco confiable, y peligrosa para las personas trabajadoras. Por tanto, es necesario empezar a implementar métodos menos subjetivos, como la tomografía de rayos X o herramientas de análisis acústico. Algunas empresas como BMW utilizan la tomografía de rayos X para estudiar las fallas de las baterías de los automóviles.

9.1.4.2 DESEMPEÑO ELECTROQUÍMICO DE LAS BATERÍAS

Solamente existe una norma específica enfocada en reutilización de baterías que es la norma UL1974, la que establece siete pruebas electroquímicas específicas que deben ser aprobadas para que una batería pueda ser reutilizada. Dichas pruebas se muestran en la Tabla 10 y son explicadas más en detalle a continuación:

Tabla 10. Pruebas de desempeño requeridas para las baterías según la norma UL1974.

PRUEBA	NORMA	DESCRIPCIÓN
Potencial de circuito abierto (OCV)	Sec. 19.2 of UL 1974	La prueba presenta diversos criterios de rechazo basados en OCV, entre ellos se menciona: Celdas de ion-litio con OCV cuya tensión es menor a 0.1 V serán rechazadas. Celdas de ion-litio con OCV de valor cero o menor tensión de corte según las indicaciones del fabricante serán rechazadas.
Prueba de aislamiento a alto voltaje	Sec. 19.3 of UL 1974	La prueba corresponde a una aplicación de tensión a la batería para validar el riesgo de corto circuito en la misma. La aplicación de esta prueba es de corto tiempo.
Capacidad	Sec. 19.4 of UL 1974	La prueba de capacidad debe ser realizada con la corriente reportada por la hoja del fabricante para poder determinar el porcentaje de capacidad respecto a la nueva batería. No es de corto tiempo, sino de tiempo moderado, ya que se debe realizar la carga y descarga de la batería, periodo que puede tomar más de 8 horas.

PRUEBA	NORMA	DESCRIPCIÓN
Resistencia interna	Sec. 19.5 of UL 1974	La prueba de cálculo de resistencia interna se puede realizar por varios métodos. Entre ellos, con mayor frecuencia se realiza la prueba de impedancia, de bajo tiempo de ejecución y realizable en pocos
Control y protección de componentes del BMS	Sec. 19.6 of UL 1974	La prueba se ejecuta cuando la batería aún se encuentra en módulos. Es de bajo tiempo y se realiza en pocos minutos.
Pruebas de ciclo de carga y descarga	Sec. 19.7 of UL 1974	Las pruebas de ciclo representan típicamente cargar y descargar la batería en diversas ocasiones, así como monitorear el comportamiento de la tensión, corriente y temperatura. Los parámetros obtenidos pueden ser comparados con los reportados en la hoja del fabricante para poder establecer la detención de anomalías.
Autodescarga	Sec. 19.8 of UL 1974	La prueba corresponde al monitoreo de la carga que la batería pierde en largos periodos de tiempo. Esta prueba puede extenderse hasta un mes de duración.

Una explicación más detallada de estas pruebas se indica a continuación:

Potencial de circuito abierto: es una prueba de bajo tiempo que permite analizar la tensión de la batería. Si el valor es menor al sugerido por el fabricante puede indicar que la batería ha sido utilizada en condiciones mayores a las permitidas y que puede tener un daño interno.

Resistencia de aislamiento al alto voltaje: determina si los componentes de la batería están correctamente aislados o si existe un posible peligro de corto circuito en la batería. Se aplica una tensión a la batería al realizar la medición y se obtiene su corriente para luego determinar la resistencia. Permite determinar la seguridad al emplear la batería.

Capacidad de descarga: la capacidad de descarga presenta la corriente que debe entregar la batería por unidad de tiempo. Lo recomendado es que las baterías ubicadas en un mismo paquete tengan un valor de capacidad similar. La prueba mide la capacidad bajo una corriente de C/3. Inicia con la batería cargada y termina cuando se descarga a su tensión límite especificada por el fabricante. El manual USABC también sugiere realizar este procedimiento con una corriente de C/2 y C/1.

Resistencia interna: la resistencia interna se relaciona con el estado de la batería, dado que conforme la batería degrada su resistencia interna aumenta la degradación de los materiales internos. El aumento de una resistencia interna provoca mayores pérdidas energéticas en forma de calor y, particularmente, las baterías con resistencias diferentes se descargarán a velocidades distintas, lo que implica la importancia de que el BMS entienda este comportamiento.

El Manual USABC tiene un protocolo sugerido para medir la resistencia interna de las baterías de los vehículos eléctricos. Sin embargo, con base en las pruebas realizadas por la Universidad de Costa Rica, al implementar dicho método a escala de laboratorio utilizando celdas cilíndricas tipo 18650, la resistencia obtenida se desvió hasta en un 70% de la informada por el fabricante (ver Anexo 1).

También existen dispositivos comerciales en el mercado, como el iCharger 4010 duo, que pueden medir módulos de batería completos hasta 70 A, hasta 40 V, e incluso, pueden medir la resistencia interna de la batería.

Control y sistemas de protección del BMS: en la Tabla 11 se muestran algunos de los parámetros del BMS que deben tomarse en consideración.

Tabla 11. Parámetros requeridos para el análisis del BMS, su influencia en la seguridad y en el reuso.

PRUEBA	INFLUENCIA EN LA SEGURIDAD	INFLUENCIA EN LA DECISIÓN DE REUSO
Capacidad remanente	Baja	Alta
Resistencia DC	Baja	Mediana a alta
Estado de salud SOH	Baja	Alta
Prueba	Influencia en la seguridad	Impacto en la decisión de reuso

Ciclos de carga y descarga: el gráfico de estado de carga con respecto al nivel de descarga empleando corriente continua es presentado usualmente por el fabricante. Las mediciones deben realizarse para validar qué tanta variación hay respecto a lo reportado por el fabricante.

Autodescarga de la batería: esta prueba permite observar la capacidad de la batería después de 30 días de inactividad. Se realiza un ciclo de descarga y carga a una corriente de C/3, luego se le brinda la mitad de la energía extraída, y se deja sin uso por 30 días.

9.2 DESEMPEÑO DE SEGURIDAD

Los estándares de seguridad SAEJ2464 y UL2580 permiten evaluar el desempeño de seguridad, y consisten en pruebas de abuso térmico, eléctrico, y mecánico utilizadas en la industria automovilística. Sin embargo, debe tenerse un particular cuidado en escoger las baterías con base en su historial de uso, para así evitar un riesgo para el usuario.

9.2.1 SELECCIÓN Y REAGRUPAMIENTO DE LAS BATERÍAS

A partir de las pruebas de desempeño electroquímico es posible realizar la selección de las celdas que pueden ser reagrupadas en caso de que hayan sido separadas a ese nivel. Es preferible agrupar las celdas de una misma química y geometría. Adicionalmente, se presentan otros parámetros de gran importancia a la hora de un reagrupamiento:

El voltaje: Las baterías deben tener el mismo rango de voltaje.

Resistencia interna: Las celdas deben poseer resistencia interna similar.

Capacidad: Se debe asegurar que las capacidades sean similares y de un buen valor, dado que el módulo ensamblado funcionará como la celda con peor capacidad.

Al trabajar con un alto volumen de celdas, el proceso de selección de reagrupamiento puede ser complicado, por lo que, de ser posible, debe ser un proceso automatizado que tenga compatibilidad con algoritmos de optimización.

9.2.2 DESARROLLO DE SISTEMAS DE CONTROL Y ADMINISTRACIÓN PARA APLICACIONES

La aplicación de una batería puede ser diversa y puede requerir de un BMS particular para cada aplicación. Algunos de estos BMS se pueden conseguir comercialmente, de lo contrario, deben ser diseñados y fabricados de manera específica. Idealmente, un sistema de BMS debe realizar el balanceo de la batería de manera activa para balancear inconsistencias que pueden darse en las baterías de segunda vida.

9.3 RESPECTO A LOS PACKS Y BATERÍAS PARA REPUESTO Y CONVERSIÓN

Actualmente, en Costa Rica, no existe ningún tipo de norma de calidad para la importación de packs o baterías para su conversión, por lo que se sugiere la creación de un Organismo de Reglamentación Técnica (ORT) o laboratorio de evaluación, tal y como lo presenta el nuevo Reglamento de la Unión Europea (Marzo, 2022): "Por consiguiente, deben fijarse parámetros de rendimiento y durabilidad para las pilas y baterías portátiles, así como para las baterías

industriales, para las baterías para medios de transporte ligeros". Se enfatiza, entonces, la urgencia de contar con evaluaciones y certificaciones de seguridad y rendimiento de las baterías.

Durante las consultas con diferentes actores analizados en la Hoja de Ruta Nacional para la Gestión Integral de Baterías de Vehículos Eléctricos, también se propuso que se aprobaran los kits de conversión de vehículos y que las baterías importadas para vehículos deberían ser de calidad clase A. Por ejemplo, en Canadá se debe seguir el Manual de Pruebas y Normas de las Naciones Unidas antes de la importación. Sin embargo, la prueba en este manual no es la calidad, sino la seguridad, haciéndose necesario establecer, principalmente, estándares de calidad. A modo de ilustración, las baterías importadas deben ser de calidad A y los kits deben ser homologados, como se mencionó anteriormente. Una muestra de tales regulaciones es el CLC/TC 21X, que está desarrollando la UE.

9.4 RESPECTO AL CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS VEHÍCULOS Y SUS BATERÍAS

Existe la preocupación, de acuerdo con los talleres llevados a cabos para la creación de la hoja de ruta, de que los vehículos eléctricos no hayan sido examinados de manera adecuada a nivel técnico. Además de esto, existen preocupaciones acerca de los requisitos del estándar de calidad para convertir vehículos de combustión en vehículos eléctricos, y si estos vehículos serán aprobados y tendrán requisitos técnicos para registrarlos como vehículos eléctricos. Este tipo de control de calidad también es importante para determinar el costo del vehículo y su seguro. Para ello, se recomienda la creación de laboratorios y criterios de evaluación, como los que se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Resumen de normas de calidad a nivel mundial para las baterías de vehículos eléctricos. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Objetivo Principal	Autores
Referente a la reconversión de vehículos de combustión interna a eléctricos	CEPAL
Referente a la reconversión de buses de diésel a eléctrico	Plataforma de Movilidad Urbana Sostenible en Latinoamérica de EUROCLIMA+
Respeto al control de calidad de baterías de vehículos eléctricos	International Electrotechnical Commission
Normas de seguridad de baterías de vehículos eléctricos	International Electrotechnical Commission
Aspectos referentes al control de calidad de baterías de vehículos eléctricos	ISO
Normas de seguridad de baterías de vehículos eléctricos	Chinese Sstandard

9.5 PROPUESTAS PARA LA REUTILIZACIÓN DE BATERÍAS

En la Figura 4, se muestran los métodos que se proponen en este capítulo para la reutilización de baterías de vehículos eléctricos en Costa Rica. Es fundamental monitorear el paquete de baterías una vez que ha llegado a su primera vida en el transporte eléctrico, información que se puede leer a través de una computadora de transporte y puede proporcionar información

sobre su estado de salud. Durante este período, es muy efectivo tener un pasaporte de batería que le permita tener una base de datos que contenga información importante sobre los paquetes de baterías y sus módulos.

PROCEDIMIENTO PARA REUTILIZACIÓN DE BATERÍAS DE LITIO

01 MONITOREO

Estudio del BMS respectivo a la batería y registro de datos. Puede ser de utilidad un pasaporte de baterías

02 INFORMACIÓN HISTÓRICA

Registro de fabricante, modelo , lote, tipo, historia de operación y razones de retiro. La base en donde se almacenen los datos debe estar vinculada con el registro de importación de sustancias peligrosas del Ministerio de Salud.

03 DESMANTELAMIENTO

El desmantelamiento puede presentarse a nivel de módulos o celda. Debe emplearse EPP

04 DESEMPEÑO

Mecánico: Hinchazón, corrosión, cables, agua y polvo.
Electroquimico: (UL 1974): OCV, aisalmiento, capacidad, resistencia interna, BMS, ciclos y autodescarga.
Seguridad: (UL 2580): Sobrecarga sobrecalentamiento, penetración, choque y detección de Li.

05 SELECCIÓN Y REAGRUPAMIENTO

Se debe de tomar en cuenta diversos aspectos como: resistencia interna, capacidad y tensión.

06 NUEVO BMS

Aplicaciones nuevas necesitan un nuevo BMS que puede ser diseñado o comercial

NUEVOS PRODUCTOS

MOVILIDAD	ALMACENAMIENTO
Inte/IEC 62660-1 Inte/IEC 62660-2	Inte/IEC 61427 Inte/IEC 62845 UL1973 Inte/IEC 62845 UL9540

Figura 4. Ruta para la reutilización de baterías de VEs en Costa Rica. Fuente: Elaboración propia.

Si en el taller correspondiente se opta por retirar el pack o módulo de batería del vehículo, la información importante como marca, modelo, tipo, y motivo de retirada deberá ser recopilada por el gestor de residuos correspondiente. Esta información es muy importante, pues permite clasificar previamente los paquetes o módulos en función de su historial de uso. Por ejemplo, si las baterías provienen de un automóvil que tuvo un siniestro, esta información es útil para determinar el potencial de daños y peligros al reutilizar estas baterías.

Después de eso, es necesario decidir si el desmantelamiento se realizará a nivel de módulo o de celda. Para tamaños viables, se recomienda utilizar módulos económicos. Si un módulo está dañado y solo se pueden recuperar algunas de sus celdas, se debe realizar un desmontaje completo para salvar las celdas a las que todavía se les puede dar una segunda vida.

La determinación de la salud de una batería debe comenzar con el aprendizaje de cómo funciona todo a través de una inspección visual. Sin embargo, en la medida de lo posible, deberían integrarse metodologías más objetivas, como las pruebas acústicas y la tomografía de rayos X. Este tipo de prueba informa sobre el nivel de deterioro interno de la batería y presenta menos riesgo para el operador. El manejo electroquímico debe monitorearse como se especifica en la norma UL1974, mientras que la operación estable se especifica en la norma UL2580: debe enviarse directamente a reciclaje.

Las celdas que hayan pasado las pruebas mecánicas, eléctricas, y de estabilidad deben reagruparse en términos de resistencia interna, voltaje, capacidad, etc. En un tamaño manejable, este proceso de selección y agrupación debe ser automatizado por un algoritmo de mejora. Adicionalmente, algunas aplicaciones requieren la instalación de un nuevo BMS para permitir el control y gestión de nuevos módulos.

Dichos módulos remanufacturados pueden ser considerados como productos nuevos sujetos a las normas correspondientes. Para aplicaciones de movilidad, se debe seguir la normativa INTE/IEC 62660-1 e INTE/IEC 62660-2, pero para las aplicaciones sobre almacenamiento fijo, existen unas normas adoptadas por INTECO que deben seguirse, por ejemplo, INTE/IEC 61427-1:2018, INTE/IEC 62485-1, INTE/IEC 62485-2. Además, existen normas que son muy relevantes para el almacenamiento estacionario, como las normas UL1973 y UL9540.

En definitiva, los módulos y las celdas que hayan llegado a su segunda vida útil deberán ser enviadas a un gestor de residuos encargado del reciclaje directo de las celdas y retiro de los elementos para su uso.

9.6 INTERÉS A NIVEL PAÍS DE INCORPORAR SISTEMAS DE SEGUNDA VIDA A MODELOS DE NEGOCIOS DE EMPRESAS PV

Con el objetivo de conocer la voluntad que existe en Costa Rica por crear programas de aprovechamiento de residuos de baterías de vehículos, se hizo un sondeo el 21 de julio de 2023 por medio de una encuesta digital. El público meta de la encuesta fueron personas de altos mandos de empresas nacionales. Las preguntas realizadas fueron planteadas para poder conocer las intenciones de incorporar modelos de negocios como distribución, diseño, instalación, y creación de sistemas de segunda vida. Específicamente, las preguntas realizadas fueron las siguientes:

i. Soy
a. Hombre
b. Mujer

ii. ¿Cuál es su nombre?

iii. ¿Cuál empresa representa?

iv. ¿Cuál es su rol dentro de la empresa?

v. ¿Le interesa la utilización de baterías de segunda vida (reutilizadas) como modelo de negocios para su empresa?
a. Sí
b. No

vi. Indique cuáles modelos de negocios son de su interés:
a. Distribución de sistemas de baterías hechos con sistemas de segunda vida
b. Instalación de sistemas de baterías hechos con sistemas de segunda vida
c. Creación de sistemas de baterías hechos con sistemas de segunda vida
d. Diseño de sistemas de baterías hechos con sistemas de segunda vida
e. Monitoreo de sistemas de baterías hechos con sistemas de segunda vida

vii. Además de las temáticas anteriormente mencionadas ¿Cuáles otros modelos de negocios en segunda vida de baterías son de su interés?

viii.¿Cuáles otras consideraciones en el área de la gestión integral de baterías son de su interés? (En temas distintos a segunda vida)

Al 28 de julio de 2023, se recibieron un total de 4 respuestas. Las personas encuestadas pertenecen a las empresas Energía Solar MYR, Matelpa, IBERIA ENERGETICA, y ASI Power & Telemetry, S.A. Los resultados de la encuesta se muestran en el Anexo 2. La totalidad de las personas entrevistadas comentaron que se encuentran interesadas en la utilización de sistemas de baterías de segunda vida como modelo de negocios. La Tabla 13 muestra que el principal interés radica en la instalación y distribución de estos equipos, mientras que respecto a los procesos asociados a diseño y manufactura se presentaron menores niveles de interés.

Tabla 13. Modelos de negocios de interés para las personas encuestadas.

MODELO DE NEGOCIOS	PORCENTAJE DE PERSONAS PARTICIPANTES INTERESADAS
Distribución de sistemas de baterías hechos con dispositivos en segunda vida	75%
Instalación de sistemas de baterías hechos con dispositivos en segunda vida	100%
Creación de sistemas de baterías hechos con dispositivos en segunda vida	50%
Diseño de sistemas de baterías hechos con dispositivos en segunda vida	50%
Monitoreo de sistemas de baterías hechos con dispositivos en segunda vida	50%
Hibridación con equipos de producción de pellets	25%
Re-cycling lithium (lfp) batteries	25%

10. CONCLUSIONES

A pesar de que los vehículos eléctricos son una tecnología ampliamente utilizada a nivel internacional, la mayoría de los países aún se encuentra trabajando en la normativa necesaria para la gestión de sus residuos peligrosos procedentes, principalmente, de sus baterías. La apropiada gestión de estos residuos resulta clave para garantizar que los vehículos eléctricos sean realmente parte de la solución a la emergencia climática y no, más bien, contribuyentes a una crisis ambiental global. La Unión Europea y Canadá son dos referentes que se encuentran a la cabeza en el desarrollo de esta normativa, por lo que pueden fungir como inspiración para Costa Rica, particularmente en lo relativo a la importación, transporte, reutilización, y reciclaje de baterías.

No obstante, el ámbito de la reutilización de baterías sigue siendo aún desconocido, y la mayoría de los países se encuentran en etapas exploratorias y desarrollo de proyectos modelo y planes piloto que sirvan como insumo para la normativa necesaria. Este es un problema actual y poco explorado, en el que Costa Rica también puede ser pionero.

En términos de normativa, Costa Rica presenta una serie de vacíos en la clasificación, importación de baterías, normativa específica para su transporte, y acopio. También, algunos de los temas en los cuales se presentan vacíos son la reutilización y el reciclaje de baterías, y existe una gran preocupación en cuanto al control de calidad de las baterías que ingresan al país, control de calidad de los vehículos eléctricos, así como control de calidad de los nuevos productos que se generen a partir de baterías de vehículos eléctricos de segunda vida. En los siguientes años, será clave que Costa Rica dé solución a todos estos vacíos, de manera tal que se asegure una gestión ambiental apropiada para esas baterías y que se les pueda dar trazabilidad en todo su ciclo de vida.

Una de las grandes preocupaciones que existe en el país es cómo llevar a cabo la reutilización de las baterías de vehículos eléctricos, de modo que se pueda aprovechar al máximo su vida útil y disminuir así su huella ambiental. El ecosistema vinculado a la reutilización de baterías en Costa Rica es aún muy pequeño, aunque la mayoría de actores tienen capacidades técnicas al nivel de I+D, pero no son capaces de procesar grandes volúmenes de baterías de vehículos eléctricos, por lo que los proyectos piloto que se han desarrollado son aún exploratorios, y el desarrollo de capacidades en reutilización de baterías requerirá de inversión en equipos, capacitación y, fundamentalmente, el desarrollo de normativa que motive el desarrollo de negocios alrededor de la segunda vida de baterías de vehículos eléctricos.

Es por eso que, para guiar el proceso de adaptación al desarrollo de normativa que requiere el país, en el presente informe se realizó un análisis técnico separado por etapas, en el cual se describen, paso a paso, los requerimientos técnicos del país y las normativas necesarias en cada una de esas etapas. La implementación de las normativas sugeridas será un primer gran paso hacia la regulación y creación de las condiciones necesarias para el desarrollo de negocios alrededor de la segunda vida de baterías de vehículos eléctricos.

BIBLIOGRAFÍA

Act on Recycling, etc. of End-of-Life Vehicles (Act No. 87 of July12, 2002), (2002) (testimony of Goverment of Japan). ***https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/automobile/automobile_recycle/law_notice/pdf/english.pdf***

Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR): Applicable as from 1 January 2023, (2023) (testimony of United Nations Economic Commission for Europe).

Ayelén Portaluppi. (2021, April 28). Batx: la empresa colombiana que reutiliza baterías de vehículos eléctricos para almacenamiento. Portal de Movilidad.

Congreso Nacional de Chile. (2016). Ley 20920 ESTABLECE MARCO PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS, LA RESPONSABILIDAD EXTENDIDA DEL PRODUCTOR Y FOMENTO AL RECICLAJE MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. ***https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1090894***

Decreto 2: REGULA AUTORIZACIÓN DE MOVIMIENTOS TRANSFRONTERIZOS DERESIDUOS PELIGROSOS CONSISTENTES EN BATERÍAS DE PLOMO USADAS, (2010) (testimony of Congreso Nacional de Chile). ***https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1014982***

Decreto 1609 de 2002 'Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera', (2002) (testimony of Presidente de la República de Colombia). ***https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=6101***

Decreto número 4741, (2005) (testimony of vivienda y desarrollo territorial Ministerio de ambiente). ***http://www.ideam.gov.co/documents/51310/526371/Decreto+4741+2005+PREVENCION+Y+MANEJO+DE+REIDUOS+PELIGROSOS+GENERADOS+EN+GESTION+INTEGRAL.pdf/491df435-061e-4d27-b40f-c8b3afe25705***

Domenech-Cots, J., & Guillen-Miranda, R. (2021). Elaboración de un estudio sobre la existencia de baterías de litio usadas en Costa Rica y América Central, que estarían disponibles para ser valorizadas.

European Parliament. (n.d.). REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL concerning batteries and waste batteries, repealing Directive 2006/66/EC and amending Regulation (EU) No 2019/1020. ***https://www.eib.org/en/press/all/2020-121-eib-reaffirms-commitment-to-a-european-battery-industry-***

European Parliament. (2006). DIRECTIVE 2006/66/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC. ***https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006L0066-20131230&rid=1***

Marianela Taborelli. (2022, January 27). El Gobierno de Chile define regulación para segunda vida de baterías de vehículos eléctricos. Portal Movilidad.

Mayyas, A., Steward, D., & Mann, M. (2019). The case for recycling: Overview and challenges in the material supply chain for automotive li-ion batteries. Sustainable Materials and Technologies, 19. https://doi.org/10.1016/j.susmat.2018.e00087

Minister of Justice. (2020). Transportation of Dangerous Goods Regulations. ***http://laws-lois.justice.gc.caPubliéparleministredelaJusticeàl'adressesuivante:http://lois-laws.justice.gc.ca***

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (2017). Decreto 145 ESTABLECE REQUISITOS TÉCNICOS, CONSTRUCTIVOS Y DE SEGURIDAD PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS QUE INDICA MINISTERIO DE TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES; SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES ESTABLECE REQUISITOS TÉCNICOS, CONSTRUCTIVOS Y DE SEGURIDAD PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS QUE INDICA. In TRANSPORTES (Vol. 145).

Nissan Motor Corporation. (2021, January 27). Nissan gives EV batteries a second life. Nissan Stories Global.

Office of Legislative Counsel. (2022). Environmental Management Act RECYCLING REGULATION B. C. Reg. 449/2004. www.bclaws.ca.

Presidencia de la República, & Ministerio de Salud. (2007). Directriz 024-S Competencia del Ministerio de Salud en materia de Residuos Sólidos. ***Http://Www.Pgrweb.Go.Cr/Scij/Busqueda/Normativa/Normas/Nrm_texto_completo.Aspx?Param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=62453&nValor3=71342&strTipM=TC.***

Roberto, U., & Diego, G.-F. (2022). Requisitos para el reuso de baterías de litio en una segunda vida: actores, opciones de segunda vida y certificación.

Standars Council of Canada. (2018). UL 1974-2018: Evaluation for Repurposing Batteries.
2000/532/EC: replacing Decision 94/3/EC establishing a list of wastes pursuant to Article 1(a) of Council Directive75/442/EE, (2000) (testimony of The Commission of the European Communities). ***https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC038210/***

Transport Canada. (2017). MANUAL FOR COMPLETING BRITISH COLUMBIA'S HAZARDOUS WASTE MANIFESTS AND SUPPLEMENTARY FORMS. https://www2.gov.bc.ca

Transportation of Dangerous Goods Regulations CODIFICATION Règlement sur le transport des marchandises dangereuses. (n.d.). ***http://laws-lois.justice.gc.caPubliéparleministredelaJusticeàl'adressesuivante:http://lois-laws.justice.gc.ca***

ANEXOS

Anexo 1: Procedimiento para la determinación de la resistencia interna de una batería.

La mejor manera de determinar la resistencia interna de una batería es realizar una medición de impedancia (diagrama de Nyquist). La norma UL1974 también sugiere que es la mejor metodología para llevar a cabo esta determinación. El valor de la resistencia interna de la batería vendrá dado por la intersección de la curva con el eje x del gráfico. En la Figura 6 se pueden ver las mediciones de resistencia interna obtenidas por el equipo consultor por medio de impedancia. La resistencia interna de la batería es de aproximadamente 100mΩ, que es similar al informe del fabricante.

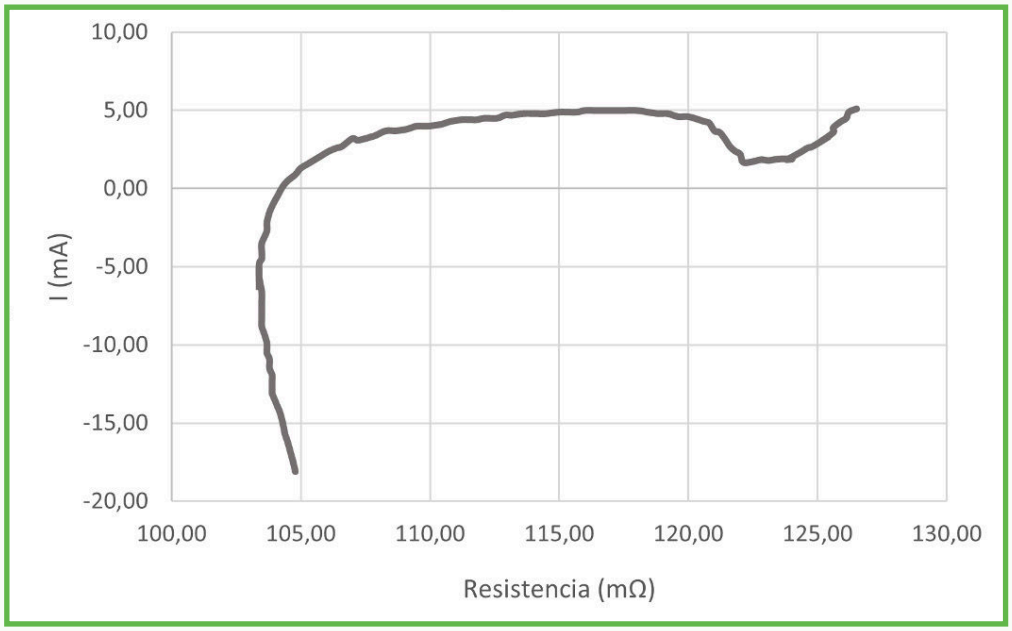


Figura 6. Diagrama de Nyquist para una batería que acaba de concluir su primera vida útil. Fuente: Universidad de Costa Rica.

Las principales desventajas de la medición de la impedancia es que no todos los dispositivos de medición son capaces de medir la impedancia de las baterías, especialmente cuando se consumen con corrientes de hasta 70A, como es el caso de muchas baterías disponibles comercialmente.

En el LabVolta, laboratorio de la Universidad de Costa Rica, se desarrolló un protocolo para determinar la resistencia interna de una batería sin medir la impedancia. En este protocolo la batería se carga de manera estándar, y se le permite abrir el circuito para garantizar que esté al 100% de SOC. Luego, la corriente se aumenta gradualmente para descargar la batería. Como se puede observar en la Figura 7, cada paso corresponde a un incremento de 0,2 A en la

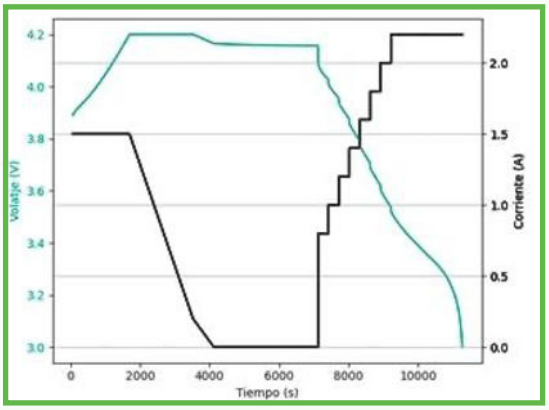


Figura 7. Análisis del voltaje y de la corriente de una batería al final de su primera vida útil al ejecutar el protocolo del LabVolta. Fuente: Universidad de Costa Rica.

Para establecer la medición, se tomaron los puntos de tensión de inicio y final de cada escalón de corriente, y se utilizó un promedio de valores de la corriente durante ese intervalo de tiempo. Esto se realizó para cada escalón de corriente y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 14:

Tabla 14. Valores empleados en la simulación. Fuente: Universidad de Costa Rica.

Escalón Sometido	Resistencia (ohm) obtenida
0	0.090874
1	0.056908
2	0.052998
3	0.049494
4	0.045183
5	0.039888
6	0.034701

Para todos los valores de resistencia calculados en diferentes pasos, se puede ver que la resistencia disminuye al aumentar la corriente y descargar la batería. Sin embargo, los primeros datos serán similares a los datos obtenidos por impedancia, y sus valores son muy cercanos. En este protocolo, el valor considerado como resistencia interna corresponde al primer valor obtenido de un salto de potencial, y se vuelve importante señalar, entonces, que en estas mediciones no siempre es tan importante el valor absoluto de la resistencia, sino una comparación entre diferentes baterías.

Anexo 2: Respuestas de la encuesta para empresas vendedoras de sistemas fotovoltaicos

Tabla 15. Respuestas de persona encuestada 1.

Género	Femenino
Nombre	Jazmín
Empresa	Energía Solar MYR
Puesto	Vendedora
¿Le interesa la utilización de sistemas de baterías de segunda vida (reutilizadas) como modelo de negocios para su empresa?	Sí
Modelos de negocios que le generan interés	-Distribución de sistemas de baterías hechos con sistemas de segunda vida -Instalación de sistemas de baterías hechos con sistemas de segunda vida -Creación de sistemas de baterías hechos con sistemas de segunda vida -Diseño de sistemas de baterías hechos con sistemas de segunda vida -Monitoreo de sistemas de baterías hechos con sistemas de segunda vida
Otras consideraciones en el área de gestión integral de baterías que le generan insterés	No hubo respuesta

Tabla 16. Respuestas de persona encuestada 2.

Género	Masculino
Nombre	Jorge
Empresa	Matelpa
Puesto	Gerente General
¿Le interesa la utilización de sistemas de baterías de segunda vida (reutilizadas) como modelo de negocios para su empresa?	Sí
Modelos de negocios que le generan interés	-Distribución de sistemas de baterías hechos con sistemas de segunda vida -Instalación de sistemas de baterías hechos con sistemas de segunda vida -Diseño de sistemas de baterías hechos con sistemas de segunda vida
Otras consideraciones en el área de gestión integral de baterías que le generan insterés	No hubo respuesta

Tabla 17. Respuestas de persona encuestada 3.

Género	Masculino
Nombre	Blas Gil
Empresa	IBERIA ENERGETICA
Puesto	GERENTE
¿Le interesa la utilización de sistemas de baterías de segunda vida (reutilizadas) como modelo de negocios para su empresa?	Sí
Modelos de negocios que le generan interés	- Distribución de sistemas de baterías hechos con sistemas de segunda vida - Instalación de sistemas de baterías hechos con sistemas de segunda vida - Monitoreo de sistemas de baterías hechos con sistemas de segunda vida - Hibridación con equipos de producción de pellets
Otras consideraciones en el área de gestión integral de baterías que le generan insterés	No hubo respuesta

Tabla 18. Respuestas de persona encuestada 4.

Género	Masculino
Nombre	Jim Ryan
Empresa	Matel ASI Power & Telemetry, S.A pa
Puesto	Presidente
¿Le interesa la utilización de sistemas de baterías de segunda vida (reutilizadas) como modelo de negocios para su empresa?	Sí
Modelos de negocios que le generan interés	- Instalación de sistemas de baterías hechos con dipositivos en segunda vidaCreación de sistemas de baterías hechos con dipositivos en segunda vida
Otras consideraciones en el área de gestión integral de baterías que le generan insterés	Re-cycling lithium (LFP) batteries. Our company policy is to NEVER import batteries containing cobalt! However, since most EV batteries currently are NMC chemistry, and Costa Rica has no means to recover or recycle the cobalt (in the USA approximatley 15% of cobalt comes from recycling facilities), it is better to re-purpose them for a second-life rather than to have the cobalt disposed of carelessly....maybe in an illegal landfill.