



ING. AUTOMOTRIZ

**Trabajo integración Curricular previa a la
obtención del título de Ingeniería en
Mecánica Automotriz**

AUTORES:

Anthony Daniel Cadabid Rojas

William Xavier Farinango Herrera

TUTOR:

Ing. Guillermo Gorky Reyes Campaña

**Análisis financiero y marco normativo internacional y nacional en el proceso de reciclaje
y reutilización de baterías (LIB's).**

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado a la parte de mi familia que siempre estuvo para apoyarme, para mi hermano, hermana, mi cuñada y especialmente mi madre, la cual ha sido un soporte primordial en toda mi formación educativa, no solamente en el período universitario sino en cada paso que he dado a lo largo de mi vida. Cada una de las personas mencionadas ha generado un gran impacto en mi crecimiento personal y quiero que este trabajo represente una pizca de todo el agradecimiento y cariño que siento hacia ellos.

Por último, quiero dedicar este trabajo también a mi abuela Lida Rubio que siempre veló por mi educación y a pesar de que no llegó a verme graduado, este documento no solo un papel, simboliza el compromiso en la ausencia de aquellos seres queridos que ya no están pero que nos ayudaron a crecer.

Anthony Daniel Cadabid Rojas.

El presente trabajo de titulación va dedicado a mi familia que en el transcurso de estos años de carrera estuvieron presentes como solo como apoyo emocional sino también físico, en busca de dar un gran ejemplo a mi pequeña hermana para que siempre busque llegar a ser mejor que todos. Dar gracias especialmente a mi madre, la persona que mas me conoce en este mundo, la única persona que estuvo ahí desde el día que llegue a este mundo hasta el día de hoy, de ser la persona que me enseñó todo lo que se ahora tanto educativamente como moralmente. Espero que nunca pienses que fracasaste como madre, porque yo podría escribirte un libro contando lo bien que lo has hecho. En fin, solo quiero decirte gracias Mamá.

Además, dedicarle a la persona que yo considero mi segunda madre, Nana, una persona que sin el importar que, ella siempre estuvo, esta y espero que este siempre en mi vida gracias por estar ahí, solo espero devolverte todo lo que me has dado en la vida y que estes orgullosa de mí.

Por último, quiero dedicarle este trabajo de titulación a una parte de mi vida que se acaba, que ha sido llena de altas y bajas pero que ha sido una gran etapa de formación. Una vez acabada esta etapa busco ir con la mente y corazón abiertos en busca del mayor sueño de mi vida que ha estado en pausa pero que solo mi madre y yo lo conocemos y estoy seguro que en unos años leeré esto. Y diré lo cumplí y vivo de él. En fin, gracias y termino con esta frase; “Para ser feliz hay que eliminar dos cosas: el temor de un mal futuro y el recuerdo de un mal pasado”.

William Xavier Farinango Herrera.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi familia cercana por estar siempre ahí cuando lo necesitaba, a mi madre por nunca soltarme, ya que gracias a ella y sus cuidados puedo decir que soy un hombre del que me enorgullezco, siempre estaré agradecido con mi madre por ser un ángel en nuestras vidas ya que a pesar de que la vida no ha sido del todo buena, ha podido seguir adelante guiándonos en todo momento.

A mi hermano y hermana, que los veo como una figura paterna y materna, los cuales a pesar de los problemas siempre han podido extender una mano a pesar de las circunstancias, agradezco el ejemplo que me han dado, la semilla de compromiso y enfoque que han plantado en mí.

A mi cuñada, que antes de entrar a la Universidad, ella se interesó por lo que quería cuando nadie más lo hacía, me apoyó siempre y nunca dejó ser esa persona tan bonita que llegó a nuestras vidas para darle brillo y alegrarnos con su hermoso ser.

Por último, quiero agradecer a mi pareja que permaneció a mi lado hasta el último, sin su compañía este tiempo hubiese sido demasiado lento y desgastante, muchas gracias por todo.

Anthony Daniel Cadabid Rojas

“Mira te van a pasar cosas malas en la vida, y esas nos hacen lo que somos, pero, también pasar cosas buenas, ¿no?”

Peter 3

Agradezco a mi padre porque, aunque no siempre pudo estar ahí, me enseñó lo más importante de la vida, responsabilidad y respeto. La persona que sin el importar el que hizo todo para verme feliz, a veces sin que lo merezca. Espero que al pasar el tiempo puedas sentirte orgulloso de quien me he convertido. Gracias papá. Estare con una deuda de gratitud enorme por siempre con él. Espero que, si un día tengo hijos, ser la mitad de lo que eres.

Agradecer a mi hermano porque, aunque es pequeña me ha dado momentos de felicidad con ella que solo los dos compartimos, decirle que habrá un día donde solo quedemos tu y yo y quiero que sepas que siempre estaré y abre lo mejor por ti.

Agradezco a mi hermano, Buddy, que, aunque él no se dé cuenta llevo para alegrar la casa de mis padres y solo espero que este ahí por mucho tiempo, cuídate mucho y yo siempre estaré ahí para ti. A mi tío Pepe Lucho un hombre que me vio crecer una persona que, aunque el no sabe siempre ha sido un apoyo para mí.

Para terminar, agradezco a cada una de esas personas que pasaron por mi vida y de una manera u otra me ayudaron a recorrer este camino llamado vida. Gracias infinitas.

Bueno. Ahora se comienza a escribir la siguiente etapa de mi vida.

William Xavier Farinango Herrera.

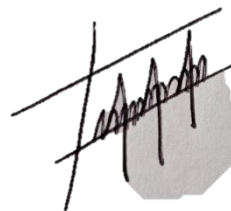
CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Anthony Cadabid Rojas, Xavier Farinango Herrera**, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.



Anthony Cadabid Rojas



Xavier Farinango Herrera

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Guillermo Gorky Reyes Campaña**, certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Guillermo Gorky Reyes Campaña', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Firma profesor

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA	7
APROBACIÓN DEL TUTOR	8
ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD	9
Índice	10
Resumen.....	14
ABSTRACT.....	15
INTRODUCCIÓN	16
MARCO TEORICO.....	19
<i>Vehículos eléctricos</i>	20
<i>Tipos de corrientes y tensiones</i>	21
<i>Movilidad sostenible</i>	22
<i>Reciclaje de desechos y procedimientos de reutilización</i>	23
<i>Batería Post Uso</i>	26
<i>Normativas y certificaciones en el mundo</i>	27
<i>Exportación de LIB's</i>	28
Alemania.....	28
Corea del Sur	29
Estados Unidos	29
México.....	29
Ecuador.....	30
<i>Aspectos financieros del reciclaje de baterías</i>	30
Economía circular.....	31

MATERIALES Y METODOS	32
Métodos.....	33
Materiales.....	35
Vehículo.....	35
Batería.....	35
Normativa del receptor aplicable.....	37
Procesos	38
País emisor (LatAm).....	40
País receptor (Planta).....	41
Análisis financiero.....	41
Proceso Hidrometalúrgico	41
Proceso Pirometalúrgico.....	42
Proceso de Trituración.....	42
RESULTADOS Y DISCUSION	43
Análisis Financiero en base a Normativas	44
Corea del Sur	44
Estados Unidos	45
México.....	45
Alemania.....	46
Análisis por Región.....	47
Análisis Logístico.....	49
Probabilidad de Rechazo	49
Métodos de Reciclaje	50

<i>Análisis Logístico por Región</i>	51
<i>Comparativa de Resultados y Propuesta</i>	55
Resultados financieros de la planta local de reciclaje.....	57
CONCLUSIONES	78
REFERENCIAS.....	82
ANEXOS	91

**ANÁLISIS FINANCIERO Y MARCO NORMATIVO INTERNACIONAL Y
NACIONAL EN EL PROCESO DE RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN DE
BATERÍAS (LIB'S).**

Ing. Gorky Reyes. MSc¹, Anthony Cadabid.², Xavier Farinango.³ (Primero el docente
investigador, luego los alumnos)

¹Maestría Especialidad - Universidad, Título Obtenido, goreyesro@uide.edu.ec, Quito –
Ecuador

²Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, ancadabidro@uide.edu.ec,
Quito -
Ecuador

³Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador,
wifarinangohe@uide.edu.ec, Quito
– Ecuador

RESUMEN

El presente estudio se enfocó en el análisis financiero y el marco normativo internacional en el proceso de reciclaje de baterías. El estudio se centró en la investigación de normativas y certificaciones internacionales que se puedan implementar para el desarrollo de la industria ecuatoriana. Además, crear oportunidades de negocio estudiando proyecciones de mercado desde la exportación de las baterías en base a normas legales, ambientales, almacenaje, transporte y tratamiento. Mediante investigaciones bibliográficas se analizó que Ecuador no presenta una normativa que regule la gestión de baterías de ion-litio, evidenciando un posible vacío legal. Como resultado por medio de una comparativa de posibles países a los cuales exportar tales como Alemania, Corea del Sur, EE.UU y México se da a conocer que tanto Alemania como Corea son países muy desarrollados en este campo de reciclaje y de costos elevados, en contraste EE.UU y México son opciones más accesibles no solo por tema monetaria sino también por acción documental. De igual manera se infirió que al aplicar normativas y certificaciones a la estructura legal del ministerio de ambiente se podría abrir las puertas a un modelo de negocio que represente mayor ganancia que la exportación de LIBs, A partir con una inversión de 1,2 millones en una proyección de 5 años se espera que a partir del 3 y 4 año se recupere la inversión. De este modo se propone una economía circular y la creación de puestos de trabajo que manejen este campo.

Palabras clave: LIBs, baterías, reciclaje, procesos, normativas, regulaciones, certificaciones.

ABSTRACT

This study focused on the financial analysis and international regulatory framework in the battery recycling process. The study focused on researching international regulations and certifications that can be implemented for the development of the Ecuadorian industry. In addition, it aimed to create business opportunities by studying market projections for battery exports based on legal and environmental regulations, storage, transportation, and treatment. Through bibliographic research, it was analyzed that Ecuador does not have regulations governing the management of lithium-ion batteries, evidencing a possible legal loophole. As a result, a comparison of possible countries to which to export, such as Germany, South Korea, the US, and Mexico, revealed that both Germany and Korea are highly developed countries in this field of recycling and have high costs, in contrast to the US and Mexico, which are more accessible options not only in terms of currency but also in terms of documentation. Similarly, it was inferred that applying regulations and certifications to the legal structure of the Ministry of the Environment could open the door to a business model that represents greater profits than the export of LIBs. Starting with an investment of 1.2 million over a 5-year projection, it is expected that the investment will be recovered in the 3rd and 4th years. In this way, a circular economy and the creation of jobs in this field are proposed.

Keywords: LIBs, batteries, recycling, processes, standards, regulations, certifications.

INTRODUCCIÓN

En Ecuador, la implementación de un plan de negocios circular alrededor de las baterías discontinuadas es prácticamente inexistente dentro de la economía del país, debido a la limitada inversión de las empresas en el tratamiento de baterías y de sus componentes orientado a una segunda vida útil. Al reciclar materiales críticos y producir bienes a partir de estos, los países pueden reducir su dependencia de las importaciones de materias primas, fortaleciendo su seguridad económica y tecnológica (López, 2024). La dependencia del país frente a industrias internacionales que monetizan mediante la reestructuración de baterías se percibe como una condición estructural dentro de la industria automotriz ecuatoriana, principalmente por la escasa intervención de las industrias locales en esta cadena de valor. Por otro lado, se señala que el reciclaje también puede impulsar la creación de empleo en sectores relacionados, como el transporte y la fabricación de productos reciclados (Flores, 2023); el tratamiento de baterías dentro del país no solo representa un ingreso para la empresa, sino también para los actores asociados que se desarrollan en torno a la misma actividad, generando empleos en diferentes áreas y fomentando la inclusión y el desarrollo de las comunidades. En este sentido, resulta necesario investigar los efectos económicos del reciclaje y la reutilización de baterías, buscando métodos de desarrollo dentro de empresas que experimenten con nuevos procesos de tratamiento y manufactura orientados al diseño de políticas sostenibles (Bao, 2025).

En este contexto, el problema central radica en que Ecuador carece de plantas de reciclaje de baterías de ion-litio y de un marco normativo específico y robusto para su gestión, por lo que se desconoce si resulta financieramente viable continuar exportando estos residuos a países con tecnología avanzada o implementar una planta local de tratamiento.

Esta incertidumbre limita la capacidad del país para aprovechar los materiales estratégicos contenidos en las baterías y dificulta la consolidación de un modelo de economía circular aplicado al sector automotriz. Es importante determinar la relevancia de las normativas y certificaciones vigentes en cada territorio, ya que estas regulaciones influyen directamente en el desarrollo sostenible del sector y en la atracción de nuevas oportunidades de inversión. En consecuencia, se plantea analizar la viabilidad del reciclaje de baterías de ion-litio mediante la implementación de un análisis financiero basado en normativas y certificaciones aplicables a países importadores y exportadores a nivel mundial, con énfasis en las rutas que vinculan a Ecuador con Alemania, Corea del Sur, Estados Unidos y México (Poveda, 2020).

El presente documento buscó examinar conceptos teóricos fundamentales relacionados con el reciclaje de baterías de ion-litio, abarcando sus características, los procesos de recuperación de materiales y su relevancia dentro de la economía circular, con el fin de establecer una base teórica sólida para el análisis posterior (Giner, 2021). De igual manera, se analizaron las normativas y certificaciones internacionales que se adaptan a los métodos de reciclaje de LIBs, con la finalidad de conocer la gestión y la viabilidad que aportan estos marcos normativos en países importadores y exportadores. Por último, se estableció un análisis financiero en función de la factibilidad de costos, beneficios, riesgos y oportunidades económicas para empresas y países, considerando las exigencias normativas y los modelos de negocio sostenibles a nivel mundial, y valorando las posibilidades y retos económicos asociados a la rentabilidad de las distintas alternativas de gestión (Ali, 2025).

La economía alrededor de los vehículos se ha visto diversificada por su amplia gama de componentes con valor en el mercado, incluso después de haber tenido un uso previo, como se observa en un pack de baterías de litio mediano de aproximadamente 400 kg y 50 kWh del tipo NMC, que además de contener aluminio, acero y plásticos, incluye cantidades importantes de grafito y níquel (Zagorodny, 2023). La variedad de metales presentes en las

baterías de litio contribuye a la implementación de una nueva economía, donde la “minería en baterías” se plantea como una segunda fuente de recursos que se superpone a las soluciones tradicionales e ineficientes de mantenimiento y reciclaje (Giner, 2021). La intervención de organismos regulatorios en el mundo ha jugado un papel importante en relación con la sostenibilidad y la recuperación de materiales, a partir de leyes de protección ambiental que rigen dentro de cada territorio y que buscan generar un negocio circular capaz de impulsar la independencia frente a organismos internacionales y sus restricciones (Poveda, 2020).

Para fortalecer una economía circular dentro del territorio ecuatoriano, resulta primordial conocer los gastos operativos vinculados a los procedimientos de reciclaje, tales como recolección, traslado, separación y tratamiento de baterías, tomando como referencia países que cuentan con normativas regulatorias enfocadas en la reducción de la contaminación y en la reutilización de materiales destinados a un segundo uso. Del mismo modo, es importante el estudio de mercado alrededor de las baterías, analizando, por ejemplo, los procesos de extracción y gestión de residuos en países con normativas consolidadas, frente a otros que buscan principalmente eliminar los residuos de baterías de su territorio, lo que evidencia deficiencias en la administración y gestión de estos desechos (Ali, 2025). Este análisis permite identificar diferentes alternativas de reciclaje basadas en normativas y certificaciones que motiven el desarrollo de la gestión de baterías y los posibles beneficios económicos y ambientales asociados al reciclaje, aportando elementos para la toma de decisiones sobre la ruta más conveniente para Ecuador.

MARCO TEORICO

Con la invención del modelo Tesla Roadster en el año 2008, la industria de vehículos eléctricos se desarrolló alrededor de las baterías de ion-litio, sentando las bases de lo que en el futuro sería conocido como movilidad sostenible, con la problemática enfocada en la gestión del reciclaje de desechos y cómo esto se ve reflejado en el impacto ambiental a nivel mundial. Los aspectos financieros y económicos representan un elemento obligatorio al momento de analizar y evaluar cada procedimiento de recolección, movilización y manipulación de las baterías, con el fin de proporcionar material que sea apto para la reutilización.

Las investigaciones innovadoras dentro de la industria automotriz se enfocan en la interpretación de tecnologías de reciclaje de baterías y sus procedimientos de reutilización, como estrategias para la optimización del reciclaje y sus métodos de manipulación orientados a una economía circular. Alemania y Japón son reconocidos como países con alto desarrollo en reciclaje, que apoyan a países en desarrollo en la implementación y adecuación de materiales y métodos utilizados para la manipulación de baterías y su valorización en el mercado nacional.

En Ecuador, las tendencias y proyecciones de un organismo encargado del mantenimiento y desarrollo de las baterías se consideran favorables a futuro, ya que otorgarían nuevos métodos de desarrollo sostenible para las empresas y, en conjunto, se configurarían como un modelo de análisis financiero que evalúe la rentabilidad. Finalmente, la implementación de normativas y regulaciones que busquen el beneficio del medio ambiente, enfocadas en la promoción de mantenimientos y desarrollos poco contaminantes, procura reducir el gasto de empresas que envían baterías al exterior y fortalecer la viabilidad económica y social como clave del desarrollo sostenible.

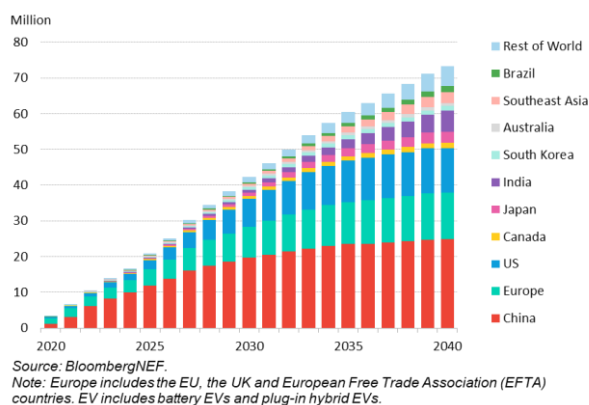
Vehículos eléctricos

Un vehículo eléctrico (VE) es aquel que se mueve a través de uno o varios motores eléctricos que transforman la energía eléctrica acumulada en baterías recargables en potencia mecánica. En contraste con los automóviles de combustión interna, que consumen combustible, los vehículos eléctricos emplean esta energía acumulada para producir tracción; los motores pueden ser de corriente alterna o continua y, en algunos casos, también se emplean tecnologías como los motores lineales o el magnetismo, como en los trenes de levitación magnética (Montecelos, 2019).

Este tipo de transporte comenzó a existir en el siglo XIX, cuando la electricidad fue uno de los métodos preferidos para la propulsión de vehículos de motor, proporcionando un nivel de comodidad y facilidad de operación que no pudo ser alcanzado por los coches de gasolina de la época (Valer, 2011).

Figura 1.

Ventas globales de vehículos eléctricos



Nota. Adaptado de Bloomberg (2024, p. 1).

Mediante este gráfico se observó el índice de incremento de ventas a nivel mundial desde el 2020 hasta las proyecciones que se esperan a futuro. A nivel mundial, existen problemáticas alrededor del consumo de energía en vehículos eléctricos, esto nace a partir de la falta de conocimiento e implementación de equipos como electrolineras que favorezcan el

desarrollo comercial dentro del territorio, además de no tener fuentes de energías aptas para el consumo de vehículos eléctricos.

Tipos de corrientes y tensiones.

Existen dos tipos de tensiones dentro del vehículo eléctrico, las cuales se alternan dependiendo del requerimiento. Cuando la tensión se mantiene constante, la corriente es continua, mientras que cuando la tensión oscila repetidamente entre valores positivos y negativos, siguiendo una forma sinusoidal, se conoce como corriente alterna. Una corriente continua es aquella en que el valor de la tensión siempre es el mismo, mientras que la corriente alterna es aquella en que el valor de la tensión oscila repetidamente entre dos valores extremos, uno positivo y el otro negativo (Ros Marin, 2017).

Tabla1.

Ejemplos de Tensiones empleadas en un automóvil

Corriente continua	Corriente alterna
6 V Motos pequeñas y antiguas	5 V – 12 V Sensores
12 V Casi todos los vehículos	80 V Faros de xenón con 30.00 V de pico
24 V Camiones y autocares	20.000 V Bujías
48 V Vehículos industriales	200 V Híbridos y eléctricos
5 V Toda la electrónica	300 V Híbridos y eléctricos
200 V Híbridos y eléctricos	500 V Híbridos y eléctricos
500 V Híbridos y eléctricos	

Nota. Datos tomados de ZVEI (2014, p. 19).

Con respecto a la tabla, se interpretó que el consumo asociado a corriente continua es mínimo en comparación con la corriente alterna, ya que la corriente continua normalmente se utiliza en componentes eléctricos de consumo reducido. Por otro lado, la corriente alterna se emplea para usos con mayor demanda energética, como en vehículos híbridos o eléctricos, donde el consumo es relativamente más elevado, afectando el factor de carga y el estrés asociado a la batería.

Las empresas y recicladores desconocen en muchos casos el factor de carga (LF), utilizado para conocer el nivel de estrés o fatiga generado en una batería de un vehículo

eléctrico, lo cual permite tener una idea de su vida útil y adelantarse al desgaste prematuro, proporcionando un segundo uso en función del porcentaje de desgaste (Quintero, 2021).

La ecuación es la siguiente.

$$LF\% = \frac{E_{avg}}{E_{m\acute{a}x}} \times 100$$

LF: Factor de cargas

E_{avg} : Promedio de energía

E_{max} : Energía máxima

Nota. Fórmula para obtener el factor de carga, adaptada de Universidad de Chile (2021, p.

12).

Según Santibáñez Guzmán (2021), E_{avg} es la energía promedio utilizada durante todo el uso dado a la batería, teniendo en cuenta el desgaste y la pérdida de propiedades, y E_{max} es la energía máxima disponible, es decir, la capacidad neta de la batería. Esto facilita el conocimiento y cálculo de la vida útil de una batería y, de este modo, contribuye a evitar el impacto ambiental que se produce cuando una batería es desechada de forma inadecuada.

La incorporación de estos parámetros permite prever la cantidad de baterías que pasarán a ser residuos y planificar los volúmenes que deberán ingresar a procesos de reciclaje, con efectos directos en los costos de gestión y en el diseño de modelos de negocio basados en el tratamiento de baterías de ion-litio.

Movilidad sostenible

La falta de transporte público de calidad ha llevado a muchos usuarios a adquirir vehículos propios. Las facilidades de pago ofrecidas por las concesionarias han impulsado el crecimiento del parque automotriz en Quito. Según el INEC, en 2015 se matricularon 1.925.368 autos en el país, de los cuales 492.894 están registrados en Pichincha,

convirtiéndose en la provincia con el mayor parque automotor (Guanín Sánchez, 2017).

Teniendo esto en cuenta, los vehículos eléctricos han tenido una acogida favorable en Ecuador, convirtiéndose en un foco de atención entre países fronterizos debido a la falta de estrategias adecuadas de reutilización de desechos, lo que fomenta la contaminación ambiental y reduce la vida útil de las baterías.

La contaminación ambiental generada por vehículos eléctricos mal gestionados crea una problemática asociada a una ineficiente regulación que fortalezca el seguimiento de los vehículos eléctricos que ingresan al país, perjudicando lo que se conoce como movilidad sostenible y el equilibrio del parque automotor. Por lo tanto, es necesario conocer cada uno de los elementos reciclables de un vehículo eléctrico. Estas consideraciones refuerzan la necesidad de contar con marcos normativos y esquemas financieros que permitan implementar soluciones de reciclaje y reutilización acordes con la realidad ecuatoriana, en coherencia con la problemática planteada en la introducción.

En este contexto, las baterías de ion-litio se convierten en uno de los componentes más críticos, tanto por la cantidad de materiales estratégicos que concentran como por los riesgos ambientales que representan si no se gestionan adecuadamente al final de su vida útil. Un enfoque de reciclaje adecuado permite recuperar litio, cobalto, níquel, cobre, aluminio y otros insumos clave, reduciendo la presión sobre la extracción minera y evitando que las baterías terminen en rellenos sanitarios o bodegas sin control técnico. De esta manera, el reciclaje de baterías se plantea como un eje central para consolidar la movilidad sostenible en Ecuador, articulando la gestión de residuos con oportunidades de negocio y con la necesidad de normativas que regulen su recolección, transporte, tratamiento y reinserción en nuevas cadenas productivas.

Reciclaje de desechos y procedimientos de reutilización.

El tema de reciclaje de baterías se centra en cómo aprovechar los materiales de alto

valor contenidos en las baterías de ion-litio una vez que han cumplido su vida útil dentro del vehículo, evitando que se conviertan en un residuo peligroso y subutilizado. A través de diferentes procesos físicos, térmicos y químicos, es posible recuperar metales como litio, cobalto, níquel, manganeso, cobre y aluminio, así como ciertos polímeros y componentes electrónicos, que luego pueden reincorporarse a nuevas cadenas productivas.

Desde esta perspectiva, el reciclaje de baterías deja de ser solo una estrategia de mitigación ambiental y se transforma en una oportunidad para fortalecer la economía circular, optimizar el uso de recursos y reducir la dependencia de la extracción minera tradicional.

Tabla 2.

Elementos reciclables de un vehículo eléctrico

Componente del vehículo eléctrico	Materiales reciclables	Proceso de recuperación	Usos posteriores
Sistema eléctrico	Cobre, aluminio, plásticos	Desmontaje y refinado	Conductores eléctricos, componentes electrónicos
Motores eléctricos	Cobre, acero, tierras raras (neodimio, disprosio)	Separación magnética y fundición	Nuevos motores, imanes permanentes
Electrónica de potencia (inversores, controladores)	Oro, plata, paladio, cobre, plásticos	Procesos de fundición y refinación de metales preciosos	Industria electrónica, joyería, nuevos circuitos
Baterías de ion-litio (LIBs)	Litio, cobalto, níquel, manganeso, cobre, aluminio, grafito, electrolito, plásticos	Procesos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos	Nuevas baterías, catalizadores, insumos electrónicos

Nota. Adaptado de Furlanetto (2025, p. 16).

La Tabla 2 permite reconocer de manera ordenada los principales componentes reciclables de un vehículo eléctrico y, de forma particular, de sus baterías de ion-litio, subrayando aquellos materiales que poseen un mayor valor estratégico para la industria. Estos componentes, que incluyen plásticos, metales estructurales y elementos electrónicos, constituyen una fuente relevante de recursos que pueden reincorporarse a diversas cadenas productivas, disminuyendo la dependencia de la extracción minera tradicional y atenuando los impactos ambientales asociados a la disposición inadecuada de residuos.

Tabla 3.
Partes reciclables de una batería ion-litio

Parte de la batería	Material principal	Método de reciclaje	Usos posteriores
Cátodo	Óxidos metálicos (Litio, Cobalto, Níquel, Manganeso, Aluminio según la química: NMC, LCO, NCA, LFP, etc.)	Procesos hidrometalúrgicos (lixiviación con ácidos) o pirometalúrgicos (fundición)	Fabricación de nuevos cátodos, catalizadores industriales
Ánodo	Grafito (a veces mezclado con silicio)	Separación mecánica y purificación térmica	Reutilización en nuevas baterías, aditivos para industria metalúrgica
Electrolito	Sales de litio (LiPF ₆ en carbonatos orgánicos)	Procesos de destilación o incineración controlada	Recuperación parcial de solventes; en desarrollo para reutilización en nuevas celdas
Separador	Polietileno (PE) o polipropileno (PP)	Reciclaje térmico (pirólisis) o reprocesado de plásticos	Plásticos reciclados de menor grado
Colector de corriente (ánodo)	Cobre	Fundición y refinado	Conductores eléctricos, nuevas láminas de batería
Colector de corriente (cátodo)	Aluminio	Fundición y reprocesado	Industria automotriz, envases, componentes electrónicos
Carcasa / Envoltura	Aluminio, acero o polímeros	Fundición y reciclaje de metales o plásticos	Nuevas carcasas, partes automotrices
Sistema de gestión de batería (BMS)	Circuitos electrónicos: cobre, oro, plata, estaño, plásticos	Fundición y refinación de metales preciosos	Nuevos circuitos electrónicos, industria de semiconductores

Nota. Adaptado de Zanoletti, Carena y Ferrara (2024, p. 10).

La tabla evidenció las partes fundamentales de una batería de ion-litio que pueden ser recuperadas mediante procesos mecánicos, pirometalúrgicos o hidrometalúrgicos, destacando el valor de materiales como el litio, cobalto, níquel, cobre, aluminio y grafito. Estos componentes poseen un alto potencial de reutilización en la fabricación de nuevas baterías y en industrias similares, mientras que elementos más complejos como los electrolitos y separadores presentan mayores desafíos técnicos para su recuperación. En conjunto, el análisis subraya la relevancia del reciclaje de baterías como una estrategia clave para la sostenibilidad y la economía circular. Actualmente existen cuatro métodos principales de reciclaje de baterías de litio: Recuperación pirometalúrgica, Recuperación hidrometalúrgica, Recuperación por biolixiviación y El reciclaje directo (Flores, 2022)

Una de las fórmulas más importantes dentro de la investigación, ya que su función es determinar el tiempo de vida útil de una batería, teniendo relación con todas las fórmulas que se utilizarán antes de determinar el tiempo estimado de una batería dentro del vehículo y sus posibles funciones posteriores a esta. (Universidad de Chile, 2021, p. 12).

$$L_b = \frac{C_0 - C_f}{C_0} \quad (2)$$

donde L_b representa la pérdida relativa de capacidad, C_0 la capacidad inicial y C_f la capacidad final.

Nota. Ecuación de vida útil de la batería adaptada de Universidad de Chile (2021, p. 12).

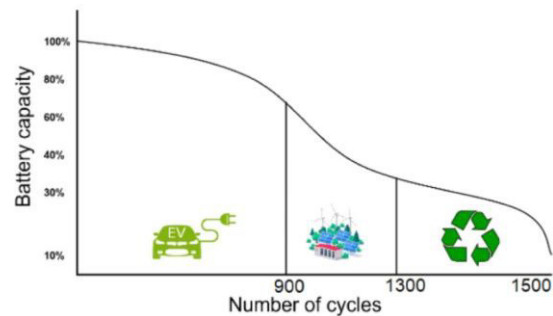
La determinación de la vida útil y la condición de las baterías permite decidir si se destinan a aplicaciones de segunda vida o directamente a reciclaje, influyendo en los costos de gestión, en la planificación de infraestructura y en la evaluación de la viabilidad económica de las alternativas analizadas en esta tesis.

Batería Post Uso

Cuando las baterías de ion-litio concluyen su vida útil dentro de un vehículo eléctrico, no pierden totalmente su capacidad, ya que suelen conservar entre un 60% y 80% de su rendimiento inicial. En esta etapa, pueden destinarse a un segundo uso, contribuyendo a la gestión de redes eléctricas y energías renovables. Una vez agotada esta capacidad residual, las baterías deben ser sometidas a procesos de reciclaje especializados que permitan recuperar materiales estratégicos como litio, cobalto, níquel, cobre y aluminio, evitando su disposición a generar impactos negativos al medioambiente.

Figura 2.

Ciclo de vida en baterías post uso



Nota. Adaptado de Hassan et al. (2023).

Normativas y certificaciones en el mundo

Según EFS CONSULTING (2024) “El cumplimiento normativo automotriz forma parte del cumplimiento normativo y se refiere al cumplimiento de las regulaciones técnicas, estándares y normas de la industria automotriz.” Esto con la finalidad de mantener un régimen de protección tanto para el país como las empresas que trabajan bajo estándares legales establecidos para una libre competencia dentro y fuera del mercado. Por otro lado, las certificaciones dentro de la industria automotriz funcionan de tal modo que señalan el nivel de fiabilidad y seguridad que entrega una empresa al público y por ende al estado respetando las normativas para poder ejercer una labor de mantenimiento y restructuración de baterías en el caso de la investigación, además de llamar la atención de país que fortalecen su economía al solicitar este servicio.

Tabla 4.
Normativas y certificaciones según región

País	Normativa o Ley	Descripción	Artículo(s)	Número de Ley o Normativa
Alemania	Ley de Baterías (BattG) / Reglamento de Baterías de la UE (2023/1542)	Regula la gestión de baterías usadas, incluyendo la obligación de reciclaje y el etiquetado de baterías.	Art. 4, 5	Ley de Baterías (BattG) / Reglamento de la UE 2023/1542
Corea del Sur	Ley de Promoción del Ahorro y Reciclaje de Recursos / Decreto Presidencial No. 21415	Regula la gestión de residuos, incluyendo baterías, y promueve el reciclaje de recursos.	Art. 3	Ley de Promoción del Ahorro y Reciclaje de Recursos / Decreto Presidencial No. 21415
Estados Unidos	Ley de Manejo de Baterías Recargables y Contenidas en Mercurio (Public Law 104-142)	Establece requisitos para el reciclaje de baterías recargables y la eliminación de baterías que contienen mercurio.	Art. 2	Public Law 104-142
México	Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (1988) / Reforma de 2022	Regula la gestión de residuos peligrosos, incluyendo baterías, y establece la responsabilidad de los productores.	Art. 115	Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente / Reforma de 2022
Ecuador	Reglamento de Gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RRAEE)	Establece la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, incluyendo baterías, bajo el principio de responsabilidad extendida del productor.	Art. 6	Reglamento de Gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos

Nota. Elaboración propia a partir de la revisión de marcos normativos de Alemania, Corea del Sur, Estados Unidos, México y Ecuador.

La tabla demostró cómo distintos países regulan la gestión y el reciclaje de baterías, estableciendo obligaciones de responsabilidad y sostenibilidad. Estas normativas se relacionan directamente con las exportaciones de baterías de ion-litio (LIBs), ya que definen las condiciones bajo las cuales estas pueden ser transportadas, almacenadas, reutilizadas o recicladas. En consecuencia, el marco regulatorio internacional se convierte en una variable clave para analizar la viabilidad financiera de exportar baterías desde Ecuador a países con tecnología avanzada de reciclaje.

Exportación de LIB's

Alemania

Alemania es uno de los países con mejor desarrollo en la industria para la manipulación y tratamiento de LIBs dentro de la Unión Europea. Uno de los puntos vitales

fue la Directiva 2006/66/CE, que se encargaba de monitorear el desarrollo de las empresas alemanas, enfocándose en la Ley BattG, la cual, mediante objetivos específicos, reguló los límites de tratamiento y contaminación dentro del territorio, antes de su conversión al actual Reglamento de baterías de la UE (Reglamento UE 2023/1542).

Las metas propuestas por dicho organismo regulatorio se basan en aumentar el porcentaje de reciclaje de LIBs del 50% al 65% para 2025 y se espera que, dentro de 10 años, las empresas trabajen con un 70% de material reciclado. De este modo, se entiende que el gobierno alemán busca impulsar el desarrollo sostenible en torno a un negocio emergente a nivel mundial, que se presenta como una alternativa de alto interés económico y ambiental (Reglamento UE 2023/1542, 2023).

Corea del Sur

Corea del Sur, siendo uno de los impulsores de la fabricación de baterías, se enfoca en la eficiencia y la seguridad del reciclaje, con el Ministerio de Medio Ambiente a la cabeza y en colaboración con la industria. El país implementó programas de Responsabilidad Ampliada del Productor (REP) y ha invertido de forma constante en grandes plantas de reciclaje para manejar el creciente volumen de baterías, particularmente en la recuperación de materiales de alto valor.

Aunque no son públicas las nuevas normativas específicas para 2025, el objetivo es fortalecer las regulaciones existentes y expandir la capacidad de reciclaje. El sistema de reciclaje de residuos electrónicos (E-RS) y las certificaciones de seguridad son esenciales para la operación en el país.

Estados Unidos

En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) regula la mayoría de los estados, pero el impacto más significativo dentro del marco regulatorio se observa en California, con sus leyes y requisitos propios. La Ley de Reducción de la Inflación (IRA)

fomenta la reutilización de materiales electrónicos y baterías, promoviendo un negocio circular dentro de cada sector.

La Responsabilidad Ampliada del Productor se vincula con certificaciones voluntarias para empresas que trabajan con LIBs, como UL 1974 para procesamiento y transporte, y la DOT 38.3 para la restricción y condiciones de transporte. Estas disposiciones regulan el manejo seguro de baterías usadas y facilitan su integración en cadenas de valor internas (Used Lithium-Ion Batteries | US EPA, 2025).

México

En 2025, México adaptó normativas relevantes que impulsan el reciclaje y tratamiento de LIBs, apoyadas por el Estado y la reforma a la Ley General de la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR).

Esta reforma introdujo lineamientos específicos frente a la creciente cantidad de residuos de LIBs, otorgando a las empresas dedicadas a la importación, exportación y reciclaje de baterías un plazo para la generación de planes detallados de manejo de residuos.

Ecuador

La situación de Ecuador, en comparación con otros países, se encuentra menos desarrollada. Entre las normativas existentes se destacan la ISO 12405-1:2011, la IEC 62660-1:2010 y la IEC 62660-2:2016, que regulan la seguridad y fiabilidad mediante análisis en celdas y módulos de baterías. Sin embargo, las oportunidades de certificación para empresas automotrices son limitadas, lo que reduce la posibilidad de generar un negocio rentable basado en el mantenimiento y reestructuración de baterías para un segundo uso posterior a su procesamiento. El principal reglamento específico es el Reglamento para el manejo de residuos y pilas, enfocado en la recolección y gestión de baterías pequeñas, lo que evidencia la necesidad de actualizar y ampliar el marco normativo frente a las LIBs y su potencial de exportación y tratamiento.

En conjunto, estas regulaciones muestran que Alemania y Corea del Sur disponen de marcos normativos estrictos y tecnologías avanzadas de reciclaje, mientras que Estados Unidos y México ofrecen esquemas más flexibles, aunque regulados, que pueden resultar más accesibles para un país exportador como Ecuador. Estas diferencias normativas impactan directamente en los costos de certificación, transporte y gestión documental, así como en la probabilidad de rechazo de envíos, factores que serán considerados en el análisis financiero desarrollado más adelante.

Aspectos financieros del reciclaje de baterías.

Economía circular

En Europa, Alemania y Bélgica cuentan con plantas de reciclaje de última generación, y Suecia sobresale por su enfoque en la economía circular y la reutilización de materiales (Céspedes, 2021). La tecnología de las baterías de iones de litio se está convirtiendo en una tecnología desarrollada y adaptable a una amplia gama de aplicaciones. El desarrollo y el cálculo de eficiencia dentro de la evolución en baterías de ion litio, son fundamentales para la interpretación de datos y análisis de la vida útil antes de que la batería sea desechada, para ello se utiliza la siguiente fórmula.

$$EE_t = EE_0 - R_i I - K_i \left(\frac{1}{1 - DOD} \right)$$

donde E_t es el valor de la energía en un determinado tiempo t , E_0 el valor inicial de la batería sin consumo, R_i la resistencia interna del material, I la corriente y K_i una constante dependiente del material de la batería, mientras que DOD representa la profundidad de descarga. (3)

Nota. Ecuación adaptada de Pérez (2023).

La relación entre eficiencia energética, vida útil, composición de las baterías y marcos normativos permite estimar los flujos de materiales y los requerimientos de inversión en tecnología, lo cual constituye la base para el análisis financiero comparativo de rutas de exportación y de la propuesta de una planta de reciclaje en Ecuador, que se desarrolla en los capítulos siguientes.

MATERIALES Y METODOS

Métodos

En esta investigación se partió del análisis de normativas, regulaciones y variables de costo relacionadas con el reciclaje de baterías de ion-litio (LIB's) en Alemania, Corea del Sur, Estados Unidos, México y Ecuador. A partir de esta información se identificaron diferencias relevantes en certificaciones exigidas, costos asociados a cada etapa del proceso y niveles de contaminación vinculados al envío y tratamiento de baterías, lo que evidenció posibles barreras para un comercio internacional equilibrado de residuos y materiales recuperados. Sobre esta base se aplicó un enfoque inductivo-deductivo para comprender el funcionamiento de los sistemas de reciclaje bajo las restricciones normativas de cada país y detectar problemáticas que limitan la participación de países exportadores en la cadena de valor del reciclaje de LIB's.

En primera instancia se empleó el método bibliográfico, orientado a la recopilación e interpretación de normativas, regulaciones e investigaciones previas sobre gestión de desechos y reciclaje de LIB's, con el fin de consolidar los conceptos abordados en el marco teórico. Este método permitió responder al primer objetivo específico, enfocado en examinar los fundamentos teóricos del reciclaje de baterías ion-litio y su aporte a la economía circular.

Posteriormente se utilizó el método deductivo para analizar los costos del reciclaje y de la exportación de baterías desde Ecuador hacia los distintos países receptores, considerando factores como tiempos de logística, exigencias documentales, certificaciones y rentabilidad de cada ruta. A partir de los marcos normativos caracterizados para Alemania, Corea del Sur, Estados Unidos, México y Ecuador, se derivaron conclusiones generales sobre la viabilidad del modelo de exportación e importación, en correspondencia con el segundo objetivo específico, relativo al análisis de normativas y certificaciones internacionales aplicables al reciclaje de LIB's en países importadores y exportadores.

Finalmente se aplicó un método inductivo-estadístico para interpretar los datos cuantitativos obtenidos en el análisis de costos y procesos, estructurando un estudio de caso comparativo entre las alternativas de exportación de baterías usadas y la implementación de una planta local de reciclaje en Ecuador. Este procedimiento se vinculó con el tercer objetivo específico, orientado al análisis financiero de la factibilidad de costos, beneficios, riesgos y oportunidades económicas, resaltando los efectos sobre la rentabilidad de empresas y del país dentro de un modelo de desarrollo sostenible.

Variables de investigación

En este estudio, la **variable dependiente** es la viabilidad financiera del reciclaje y reutilización de baterías de ion-litio, medida a través de los costos por tonelada de procesamiento, los costos logísticos asociados a la exportación y la rentabilidad proyectada en un horizonte de tiempo definido.

Las **variables independientes** incluyen:

- El marco normativo y las certificaciones exigidas por los países receptores (Alemania, Corea del Sur, Estados Unidos y México), que condicionan la admisión de baterías usadas, la trazabilidad y la responsabilidad extendida del productor.
- Los procesos tecnológicos de reciclaje (trituration mecánica, pirometalurgia, hidrometalurgia, biolixiviación y reciclaje directo) y su eficiencia en la recuperación de metales críticos como litio, cobalto, níquel, cobre y aluminio.
- La composición y el estado de las baterías de ion-litio (por ejemplo, químicas NMC o LFP) y su vida útil, que determinan el momento de transición a segunda vida o reciclaje final.
- El contexto logístico y regulatorio de Ecuador, caracterizado por la ausencia de plantas de reciclaje industriales, la aplicación de normativa general de residuos

peligrosos y RAEE, y la dependencia de infraestructura externa para el tratamiento avanzado de baterías.

Materiales

Vehículo

Como referencia técnica se consideró un vehículo eléctrico de origen coreano equipado con un paquete de baterías de aproximadamente 30 kWh, representativo de un automóvil liviano utilizado en el contexto urbano ecuatoriano. Este vehículo fue tomado únicamente como caso de referencia para caracterizar la capacidad energética, la masa del paquete de baterías y el tipo de tecnología empleada, sin realizar ensayos experimentales de rendimiento dentro de esta investigación.

De este modo, su inclusión permite dimensionar la cantidad de material disponible para reciclaje y sirve como base para los supuestos de composición y energía utilizados en el análisis financiero de baterías de ion-litio al final de su vida útil.

Figura 3.

Vehículo coreano.



Nota. Tomado de Cristóbal (2014).

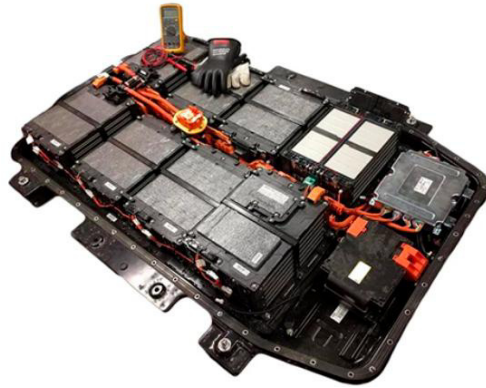
Batería

En el presente trabajo se toma como referencia un pack de baterías de ion-litio fabricado por SK Innovation, basado en química NMC (níquel-manganeso-cobalto), que ha cumplido su vida útil en el vehículo de origen coreano descrito en el apartado anterior. Este

pack resulta representativo del tipo de baterías empleadas actualmente en vehículos eléctricos de uso urbano, por lo que sus características sirven como base para los supuestos técnicos y financieros del estudio.

Figura4.

Celdas de ion-litio del paquete de referencia.



Nota. Elaboración propia a partir de información de Ecofleet (2025).

A nivel mundial, en el campo automotriz se han identificado distintos tipos de baterías recargables, como las baterías de níquel-manganeso-cobalto (NMC), las baterías de hierro-fosfato (LFP) y otras variantes de ion-litio, cada una con particularidades en su composición, seguridad, densidad energética y requisitos normativos. Para esta investigación se selecciona una batería NMC de SK Innovation como modelo de referencia, cuya información técnica se resume en la siguiente tabla.

Tabla 5.
Batería Ión-Litio

Tipo de batería	Información
Batería	Baterías de iones de litio de SK Innovation que ya cumplieron su vida útil.
Materiales	NMC (Níquel, Manganeso y Cobalto) = 71% de las baterías de coches eléctricos vendidas a nivel mundial (AIE, 2021)
Celdas	C/u de las celdas de batería = 40 Ah. 96 conjuntos de 2 celdas paralelas.
Capacidad nominal	75A.
Capacidad Energética	Densidad energética de 200 Wh/kg
Densidad de energía gravimétrica	El paquete de la batería tiene 30,5 kWh y pesa 202,8 kg – con una densidad de energía gravimétrica = 150,4 Wh/kg

Nota: IEA (2021), adaptación de los autores.

Normativa del receptor aplicable

La normativa aplicable en los países receptores incluye leyes y estándares que regulan la gestión integral de baterías de ion-litio, su transporte, tratamiento, reciclaje y eventual reutilización. En la Unión Europea, el Regulation (EU) 2023/1542 reemplaza a la antigua Directiva 2006/66/CE y establece obligaciones sobre trazabilidad, pasaporte digital de baterías, contenido mínimo de material reciclado y metas de eficiencia de reciclaje para materiales críticos como litio, níquel, cobalto y cobre. En Alemania, estas disposiciones se complementan con la Batteriegesetz (BattG), que impone responsabilidades a fabricantes e importadores para la recolección y reciclaje de baterías usadas.

En Estados Unidos, el marco principal es la Resource Conservation and Recovery Act (RCRA), bajo la cual la Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha aclarado que la mayoría de baterías de ion-litio al final de su vida son “probablemente” residuos peligrosos que pueden gestionarse bajo el esquema de “universal waste” hasta su llegada a instalaciones de reciclaje autorizadas. Además, se consideran regulaciones específicas como la norma DOT/UN 38.3 para transporte seguro y certificaciones técnicas como UL 1974 para evaluar la seguridad y aptitud de baterías destinadas a una segunda vida en aplicaciones estacionarias.

En Corea del Sur, se aplican programas de Responsabilidad Ampliada del Productor (REP) y normativas enfocadas en el reciclaje de recursos, que obligan a fabricantes e importadores a financiar y organizar sistemas de recolección y tratamiento de baterías. En México, la reforma a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) establece obligaciones específicas para la gestión de residuos peligrosos, resaltando la necesidad de planes de manejo para baterías de ion-litio, especialmente en empresas dedicadas a su importación y exportación.

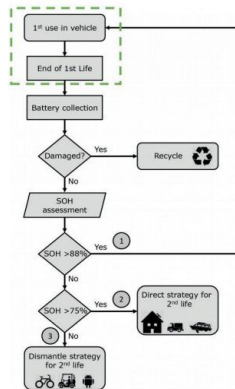
Estas normativas se toman como referencia para evaluar las exigencias regulatorias que enfrentan los países emisores al exportar LIB's, así como para identificar las condiciones mínimas necesarias en cuanto a trazabilidad, documentación y certificaciones.

Procesos

Existen países que optan por medidas económicas y tecnológicas que facilitan la gestión y reutilización de baterías, con el objetivo de reducir residuos, recuperar materiales valiosos y disminuir costos de manufactura a largo plazo. Alemania presenta uno de los sistemas más avanzados de la Unión Europea para el reciclaje de LIB's, apoyado en la BattG y el nuevo Reglamento (EU) 2023/1542, que exigen a las empresas remitir las baterías a puntos de reciclaje autorizados, con sanciones económicas severas para quienes acumulen o gestionen inadecuadamente estos residuos.

Figura 5.

Procesamiento de baterías según su estado



Nota: Reutilización de baterías de litio: un estudio integral sobre oportunidades, regulaciones y perspectivas en Alemania y Costa Rica (1.a ed., Vol. 38). (2025).

En la Figura 5 se representa un modelo basado en el “State of Health” (SOH), que permite comparar el estado de una batería con respecto a su condición original al 100%, para decidir si se destina a una segunda vida o directamente a reciclaje. Este enfoque se alinea con estándares como UL 1974, que contemplan procedimientos de clasificación y evaluación para determinar la aptitud de baterías reutilizadas en aplicaciones estacionarias.

(Understanding State Of Charge (SOC) And State Of Health (SOH) In Battery Systems, 2024)

Por su parte, Corea del Sur ha avanzado notablemente en la implementación de cadenas de reciclaje que integran procesos mecánicos, térmicos e hidrometalúrgicos, orientados a maximizar la recuperación de metales críticos. El procedimiento típico incluye:

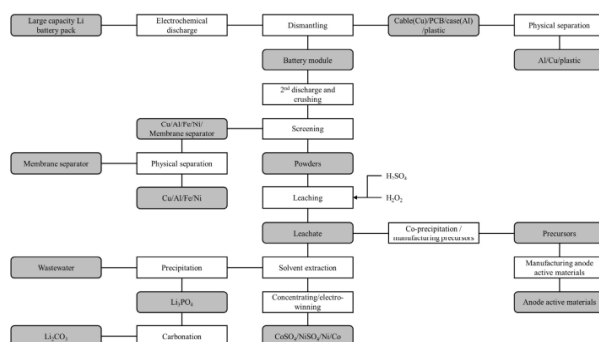
- Trituración mecánica: las baterías se desensamblan y se trituran para separar plásticos, metales y la “masa negra” que contiene litio, cobalto, níquel y grafito.
- Tratamiento térmico (pirometalurgia): los residuos se someten a hornos de alta temperatura para eliminar electrolitos y compuestos orgánicos, y concentrar los metales valiosos en escorias y aleaciones.
- Tratamiento hidrometalúrgico: mediante lixiviación con soluciones ácidas se recuperan metales como cobalto, níquel, manganeso y litio con altos niveles de

pureza, que luego pueden reincorporarse a la fabricación de nuevos cátodos.

(«Lithium Ion Battery Recycling Industry In South Korea», 2023)

Figura 6.

Procesos de reutilización de baterías en Corea del Sur.



Nota: «Lithium Ion Battery Recycling Industry In South Korea» (2023).

En la Figura 6 se desglosan las etapas que se siguen según el estado de las baterías, diferenciando entre aquellas que pueden destinarse a segunda vida y las que deben ir directamente a procesos de reciclaje, detallando la extracción de partes críticas como electrolitos, membranas plásticas y componentes inflamables que podrían comprometer la seguridad de las etapas posteriores.

País emisor (LatAm)

Los países emisores, principalmente México y Ecuador, exportan baterías de ion-litio usadas debido a la falta de infraestructura industrial para realizar todas las etapas del reciclaje a escala comercial. Los costos de inversión, la ausencia de plantas especializadas y la limitada capacidad técnica dificultan la implementación de procesos pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos avanzados, lo que genera acumulación en bodegas, dependencia de exportación y riesgo de manejo informal de estos residuos.

Desde la perspectiva de la investigación, estos países se consideran emisores porque su papel principal es recolectar, almacenar y enviar baterías hacia naciones que cuentan con

plantas receptoras consolidadas y marcos regulatorios robustos. (U.S. EPA, *Lithium Battery Recycling Regulatory Status and Frequently Asked Questions*, 2023)

País receptor (Planta)

El país receptor se refiere a naciones como Estados Unidos y Alemania, que cuentan con plantas industriales capaces de procesar baterías de ion-litio completas, incluyendo trituración, tratamientos térmicos e hidrometalúrgicos, y recuperación de metales críticos, así como la gestión de residuos peligrosos. Estas naciones cumplen ese rol gracias a sus marcos regulatorios amplios, capacidades tecnológicas avanzadas, financiamiento, certificaciones ambientales y experiencia operativa. Su objetivo es tratar las baterías usadas según estándares técnicos, recuperar materiales valiosos como litio, cobalto, níquel y cobre, reducir la extracción minera, disminuir la huella ambiental y fomentar la sostenibilidad en la cadena de suministro automotriz. (Regulation (EU) 2023/1542 of the European Parliament and of the Council, 12 July 2023). La Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) es la normativa principal que regula el manejo, transporte y disposición final de residuos peligrosos en Estados Unidos, incluyendo las baterías de ion-litio. Esta ley otorga a la EPA (Environmental Protection Agency) la autoridad para controlar todas las etapas del ciclo de vida de estos residuos, desde su generación hasta su tratamiento o reciclaje en planta. La Ley de Baterías o Batteriegesetz (BattG) constituye la normativa fundamental que regula la recolección, tratamiento y reciclaje de baterías en Alemania. Esta ley impone a los productores, importadores y plantas recicladoras la obligación de garantizar la correcta gestión de las baterías usadas, priorizando la reutilización de materiales y el cumplimiento de tasas mínimas de recuperación.

Análisis financiero

Proceso Hidrometalúrgico

El reciclaje hidrometalúrgico de baterías de ion-litio se basa en disolver los materiales activos con soluciones ácidas para recuperar metales como litio, cobalto y níquel con alta pureza. Comparado con la pirometalurgia, requiere menores temperaturas y permite una separación más eficiente, aunque con mayores costos por reactivos y equipos especializados, representando entre el 35% y 50% del costo total del reciclaje. A pesar de la inversión inicial, este método resulta rentable a largo plazo al reducir la dependencia minera y fortalecer la economía circular.

Proceso Pirometalúrgico

El reciclaje pirometalúrgico de baterías de ion-litio consiste en tratar los materiales a altas temperaturas en hornos especializados, eliminando combustibles y plásticos y fundiendo metales valiosos como cobalto, níquel y cobre para su recuperación. Aunque permite procesar grandes volúmenes y ofrece ventajas tecnológicas, presenta limitaciones en la recuperación de litio y manganeso y genera altos costos energéticos, representando entre el 40% y 55% del total del reciclaje. A pesar de su menor sostenibilidad y eficiencia, la simplicidad del proceso y la demanda de metales estratégicos lo mantienen rentable para grandes empresas.

Proceso de Trituración

El reciclaje por trituración mecánica de baterías de ion-litio consiste en separar físicamente las celdas para obtener fracciones de plásticos, metales y una “masa negra” con litio, cobalto, níquel y grafito. Este método, sencillo y de menor inversión que la pirometalurgia o hidrometalurgia, no garantiza la pureza de los materiales y suele requerir procesos complementarios. Desde el punto de vista financiero, representa entre el 15% y 25% del costo total del reciclaje, siendo accesible para países en desarrollo y útil como etapa inicial antes de métodos más avanzados de recuperación.

RESULTADOS Y DISCUSION

El presente estudio enfocado en el marco normativo Nacional e Internacional, con la finalidad de entender qué normativas y/o certificaciones tienen mayor adaptabilidad ante la situación en la que se ve desarrollada Ecuador enfocado en el tema del reciclaje y su metodología ante esta problemática.

Ecuador como país exportador busca satisfacer las exigencias del país con mejor desarrollo frente a la gestión y logística de LIB's, se entiende que Ecuador al recibir una fuerte inversión en el desarrollo e implementación de certificaciones y normativas, se podría abrir paso al comercio exterior de manera que, económicamente, existirían lazos con organizaciones mundiales que se interesen en que se utilice al país como una cadena de suministro para Alemania y así monopolizar un sector poco estudiado en Latinoamérica, por desgracia, las debilidades y amenazas son más notables debido a la nula intervención del Estado para solventar los vacíos legales frente a una contaminación inminente cerrando paso a posibles inversiones, desarrollo industrial y tecnológico.

En América Latina, países como México, Chile y Ecuador aún no cuentan con plantas de tratamiento industrial a gran escala para el reciclaje de baterías de ion litio provenientes del sector automotriz. Debido a esta limitación, la gestión del fin de vida útil de estos depende de la exportación hacia naciones con infraestructura consolidada, tales como Alemania, China, Corea del Sur y Estados Unidos, que poseen normativas estrictas, certificaciones internacionales y plantas especializadas capaces de llegar a la recuperar metales críticos, plásticos y componentes electrónicos.

Por este medio se busca comparar los beneficios económicos frente a los marcos normativos internacionales y las certificaciones que se deben adquirir para satisfacer las inquietudes frente a las prácticas indebidas y que puedan afectar al personal que lo manipule

y por ende próximas ofertas globales, esto se obtiene bajo la comparación del país con mayor impacto frente a la importación y exportación de baterías de un país en desarrollo que no cuenta con una planta de tratamiento así como normativas que regulen y presenten datos a favor del reciclaje.

Análisis Financiero en base a Normativas

Las relaciones de comercio se pueden fortalecer en gran medida con el aumento en el comercio internacional, esto debido a la carente cobertura del país ante las demandas energéticas y su gestión de residuos, por lo tanto, las vías de comercio para LIB's es una vía recurrente para empresas del mundo como México, Brasil, Chile, entre otros. Por este motivo se presenta un análisis de costos basados en las certificaciones que se deben conseguir como país exportador basándose en las normativas de cada país.

Corea del Sur

El marco regulatorio de Corea del Sur se levanta como una de las opciones más caras frente al nivel económico de las empresas en Ecuador, esto debido a la importancia que tienen sus certificaciones frente a los ojos de otras potencias en importación de baterías como Alemania, una de las certificaciones con mayor complejidad al momento de su solicitud es la KC (Korean Certification) que está enfocada en la seguridad y el análisis tanto electrónico como técnico para evitar cualquier tipo de accidente. La certificación KC-62133 funciona como una prueba para el gobierno coreano de que se está trabajando con la mayor calidad y seguridad para posteriormente ser enviado al país receptor y que ahí en base a las pruebas "IECEE CB Scheme" se verifique la veracidad de las pruebas ya existentes en las baterías. Al tener a Corea del Sur como país receptor los beneficios que tendría Ecuador recaen en el ojo público a nivel comercial, estas certificaciones no son sencillas de conseguir por la rigurosidad del gobierno, pero esto fomentaría una imagen más comprometida con el desarrollo ecológico y abriría las puertas a convenios como Alemania con México.

Estados Unidos

Estados Unidos, al contrario de la normativa de la Unión Europea se basan en normas federales, públicas y privadas para establecer los puntos de clave que fortalezcan lazos en base a una sana convivencia comercial, esto debido a que presentan varias certificaciones que Ecuador como país exportador debe conseguir como la certificación UL (Underwriters Laboratories) la cual se encarga de la seguridad electrónica y térmica que afirma una batería almacenada, descargada y con sus componentes funcionales. En cuanto a las sustancias químicas, el control se realiza a través de la EPA (Environmental Protection Agency) bajo la ley TSCA (Toxic Substances Control Act), junto con regulaciones estatales como California Proposition 65. Estas garantizan que los productos no contengan sustancias tóxicas en niveles dañinos para la salud o el ambiente. Aunque Estados Unidos carece de un sistema federal de reciclaje obligatorio, existen programas estatales y privados como Call2Recycle, que promueven la recolección de baterías usadas. En transporte, el país sigue el estándar UN38.3 y la regulación 49 CFR §173.185 (DOT), la cual controla embalaje y etiquetado durante la importación.

México

México cuenta con un marco regulatorio más accesible y menos fragmentado. La NOM-212-SCFI-2017 regula las pilas y baterías primarias, estableciendo límites de metales pesados (mercurio, cadmio) y normas de etiquetado. Obtener la certificación NOM es obligatorio para poder comercializar baterías dentro del país. Esta norma beneficia a México al prevenir la contaminación por metales pesados y garantizar al consumidor información clara sobre el producto. En cuanto a sustancias peligrosas, la NOM-212 actúa como una versión parcial del RoHS, enfocándose en la composición y la seguridad ambiental. La SEMARNAT y la PROFEPA son las entidades responsables de la gestión de residuos y reciclaje, aunque no existe un sistema nacional de EPR tan estructurado como en Alemania o

Corea. Las baterías deben cumplir además con UN38.3 e instrucciones IATA/IMDG para transporte internacional, lo cual evita riesgos en la manipulación durante la importación.

Alemania

Alemania cuenta con el sistema más riguroso y completo del mundo para el control de baterías. El Reglamento (UE) 2023/... (EU Battery Regulation) reemplaza la antigua Directiva 2006/66/EC y regula todos los aspectos de sostenibilidad, diseño, trazabilidad, reciclaje y responsabilidad del productor. Ecuador, al exportar, debe registrarse bajo el BattG (Battery Act), cumplir los estándares de etiquetado y asumir parte del financiamiento del sistema de reciclaje. Las regulaciones REACH y RoHS controlan el uso de sustancias químicas peligrosas, garantizando que las baterías sean seguras para el ambiente y la salud humana. La Stiftung EAR administra el registro de productores y los sistemas de recolección de residuos, bajo un modelo de EPR (Extended Producer Responsibility). Finalmente, el cumplimiento con UN38.3, ADR, IATA e IMDG asegura la conformidad durante el transporte internacional.

Tabla 7.
Análisis financiero del marco normativo

País	Requisito	Normativa	Entidad responsable	Costos (USD)
Corea del Sur	Cumplimiento de normativa de baterías	KC Certification (KC-62133), IECEE CB Scheme → KC conversion. Pruebas de seguridad, documentación técnica y marcado KC obligatorio para comercialización.	MPR Korea Certification	3,500
	Restricciones de sustancias peligrosas	Act on Resource Circulation of Electrical and Electronic Equipment and Vehicles (EEEEV Act) – incluye K-RoHS / límites de sustancias.	IEA	1,800
	Gestión de residuos y reciclaje (EPR)	Extended Producer Responsibility (EPR) bajo el EEEV Act; obliga a importadores a financiar recolección y reciclaje.	Lovat Compliance	2,100
	Transporte seguro (UN3480/UN3481)	Cumplimiento de UN38.3, IATA/ICAO, ADR/IMDG según destino.	Ufine Battery [Official]	750
Total → Corea del Sur				8,150
Estados Unidos	Cumplimiento de normativa de baterías	Certificación UL aplicable (UL 1642, 2054, 2271, 1974, 1973). Requiere pruebas de seguridad eléctrica y térmica.	Underwriters Laboratories / EPA	4,200
	Restricciones de sustancias peligrosas	EPA (TSCA) + regulaciones estatales (California Prop 65). No existe una ley federal tipo REACH, pero sí exigencias químicas.	Agencia de Protección Ambiental	1,300
	Gestión de residuos y reciclaje	Programas estatales o privados (Call2Recycle). Coordinación con importador o distribuidor.	call2recycle.org	1,500
	Transporte seguro	Cumplimiento de UN38.3 y 49 CFR §173.185 (DOT).	Agencia de Protección	800

País	Requisito	Normativa	Entidad responsable	Costos (USD)
	(UN3480/UN3481)		Ambiental	
	Total → Estados Unidos			7,800
México	Cumplimiento de normativa de baterías	NOM-212-SCFI-2017: límites de mercurio/cadmio, etiquetado, pruebas y certificación NOM obligatoria.	DOF / DGN	1,400
	Restricciones de sustancias peligrosas	NOM-212 + otras NOM ambientales (equivalente parcial a RoHS).	CSA Group	950
	Gestión de residuos y reciclaje	SEMARNAT / PROFEPA: manejo de residuos peligrosos, coordinación con importador.	CSA Group	1,200
	Transporte seguro (UN3480/UN3481)	Cumplimiento con UN38.3 e IATA/IMDG + normas mexicanas (SAT).	incompliancemag.com	700
	Total → México			4,250
Alemania (UE)	Cumplimiento de normativa de baterías	Reglamento (UE) 2023/... (EU Battery Regulation) + BattG. Registro y conformidad obligatoria.	Deutsche Recycling Service GmbH	3,900
	Restricciones de sustancias peligrosas	REACH (EC 1907/2006) y RoHS (Directive 2011/65/EU). Documentación y pruebas de laboratorio.	Deutsche Recycling Service GmbH	1,600
	Gestión de residuos y reciclaje (EPR)	Registro Stiftung EAR y participación en sistemas de recolección y reciclaje (BattG / ElektroG).	Stiftung EAR	2,400
	Transporte seguro (UN3480/UN3481)	Cumplimiento UN38.3 + ADR + IATA/IMDG según transporte.	Stiftung EAR	800
	Total → Alemania (UE)			8,700

Nota. Obtenido de (Obligations As A Producer Of Electrical And Electronic Equipment/Batteries | Stiftung Elektro-altgeräte Register, s. f.), (KC Certification For South Korea - MPR Korea Certification, 2025), (Battery Safety Testing And Certification | UL Solutions, s. f.), («NORMA Oficial Mexicana NOM-212-SCFI-2017, Pilas y Baterías primarias-Límites Máximos Permisibles de Mercurio y cadmio-Especificaciones, Métodos de Prueba y Etiquetado.», 2017)

Se determinó que Alemania representa un costo mayor frente a los demás países del mundo que lideran la logística de baterías a nivel mundial, esto debido a las certificaciones que Ecuador, como país exportador debe cubrir con rigurosidad, lo cual cubre el almacenamiento, descarga, certificados de viaje, entre otros. Por otro lado, Corea del Sur se posiciona como el segundo país con una complejidad mayor frente al monopolio global, esto por el hecho de que las certificaciones se basan en un modelo propio denominado KC (Korean Certification) la cual exige una bitácora de los procesos realizados en las baterías para verificar posteriormente si lo que se presenta está correctamente procesado.

Análisis por Región

Como se pudo ver en el análisis FODA, existen tanto beneficios como problemáticas

alrededor de la importación y exportación de LIB's, costos, dependencia energética, problemáticas de envío, entre otros. Con el afán de conocer la realidad de las empresas en relación a su metodología de reciclaje y todo lo que esto conlleva se presenta un análisis enfocado en el análisis por regiones del mundo donde existe mayor participación en el mercado.

Tabla 8.
Análisis por región y exportación de baterías

Región	Empresas / países de referencia	Método predominante	Costo aproximado por tonelada (USD/ton)	Observaciones
Latinoamérica	Plantas en Brasil / México (Umicore)	Hidrometalúrgico y pirometalúrgico	1.000 – 1.500 USD/ton	La capacidad de procesamiento está en expansión, pero aún limitada en comparación con otros mercados; muchas plantas dependen de tecnología importada para etapas críticas como lixiviación y recuperación de cobalto, lo que incrementa costos operativos y reduce la eficiencia de recuperación de metales estratégicos.
Norteamérica	EE. UU.: Ascend Elements (KY), Li-Cycle, Cirba Solutions, Redwood Materials	Mecánico + envío	1.200 USD/ton	Las plantas poseen alta automatización y estrictos estándares de seguridad en transporte de baterías clasificadas como residuos peligrosos UN3480; los costos incluyen pretratamiento mecánico local y posterior envío a instalaciones especializadas, lo que reduce el costo de procesamiento, pero aumenta el componente logístico.
Europa	Duesenfeld, Umicore (Alemania, Bélgica)	Híbrido	2.000 – 2.800 USD/ton	El costo elevado se relaciona con normativas ambientales rígidas (BREF, REACH) y la utilización de procesos avanzados con bajas emisiones; destacan tasas de recuperación superiores al 90% para litio, níquel y cobalto, pero la inversión en infraestructura y certificaciones incrementa significativamente el costo final por tonelada.
Asia	China (SungEel, CATL partners), Corea del Sur (SungEel HiTech)	Hidrometalúrgico y pirometalúrgico	1.500 – 1.900 USD/ton	La región opera con economías de escala muy altas y plantas altamente automatizadas, lo que reduce costos; sin embargo, el precio varía según el tipo de batería procesada (NMC, LFP) y la saturación de la demanda interna, pues China maneja más del 60% del mercado global de reciclaje de baterías.

Nota. (Expandiendo la Cadena de Valor del Litio En Chile: Minería, Baterías y Reciclaje - International Council On Clean Transportation, 2025), (Shukla & Gupta, 2025), (Profesional, 2025), (Tuset, 2025).

En la tabla se muestran datos de gran relevancia como la diferencia entre la infraestructura y los avances tecnológicos para el tratamiento de las baterías, esto es algo que representa gran valor al momento de realizar un análisis financiero ya que ciertas empresas validan más sus estrategias comerciales reforzando con normativas ambientales que permitan el paso al instrumento que extrae los materiales críticos como el ion-litio y demás componentes que se puedan reciclar.

Para cumplir con las normativas y certificaciones antes mencionadas para el correcto funcionamiento de un organismo de recolección y reutilización se debe entender que cada país se rige.

Análisis Logístico

El comercio de baterías usadas y materiales destinados al reciclaje está sujeto a una compleja red de normativas internacionales que buscan asegurar su manejo ambientalmente responsable. En la siguiente tabla se presentó ejemplos de relaciones de envío entre países latinoamericanos emisores y plantas receptoras en Estados Unidos y la Unión Europea, detallando las normativas aplicables, los requisitos de admisión y los principales riesgos ambientales y regulatorios asociados al incumplimiento.

Tabla 9.
Relaciones de Envío

País emisor	País receptor (planta)	Normativa del receptor aplicable	Requisitos de admisión	Riesgos ambientales si se incumple	Probabilidad de rechazo
Ecuador	Alemania (UE)	Reglamento (UE) 2023/1542 + BattG	Pasaporte digital de batería, certificación CE, declaración del estado de salud (SoH) y trazabilidad completa del lote	Alto riesgo de rechazo y retorno del envío; potencial contaminación si se almacenan baterías rechazadas	Muy Alta
Ecuador	Corea del Sur	Act on Resource Recycling of Electrical and Electronic Equipment and Vehicles (EPR), K-Eco Standards	Registro del exportador en la base EPR, pruebas de seguridad y acuerdo con reciclador autorizado	Riesgo de contaminación por mala gestión térmica o filtración de electrolitos durante el transporte	Media–Alta
Ecuador	Estados Unidos	EPA (RCRA – Universal Waste Rule), UL 1974, DOT/UN 38.3	Permiso MAATE de exportación, manifiesto de transporte y aceptación formal del reciclador certificado por EPA	Riesgo de disposición informal o almacenamiento prolongado; incendios por manejo inadecuado	Alta
Ecuador	México	NOM-052-SEMARNAT-2005, NOM-161-SEMARNAT-2011, Acuerdo de Basilea	Contratos con recicladores registrados, manifiesto de exportación y cumplimiento de pruebas de transporte seguro	Posible disposición no controlada; contaminación de suelos o filtraciones por mala contención	Media

Nota. Huo, Xing, Pecht, Züger, Khare, Vezzini (2017, p. 12)

Probabilidad de Rechazo

La contaminación ambiental y los riesgos derivados del mal manejo normativo representan una de las mayores preocupaciones en el reciclaje de baterías de ion-litio (LIB's). Entre los principales impactos destacan los incendios por almacenamiento inadecuado, la

contaminación de suelos y aguas por filtración de metales tóxicos y los vertederos no controlados que afectan los ecosistemas cercanos. Estas consecuencias surgen de una gestión deficiente en países sin normativas ni infraestructura para el tratamiento de residuos, generando daños ambientales y sociales. Por ello, además de los riesgos económicos y legales, es esencial fortalecer la intervención de los organismos reguladores y estructurar normativas que promuevan la cooperación internacional, entendiendo que las restricciones no solo son comerciales, sino también una herramienta para proteger los intereses colectivos y el equilibrio ambiental. («An Overview Of EU Battery Regulation», 2024)

Tabla 10.
Probabilidad de rechazo

País	Normativa / Ley principal	Explicación breve
Alemania	BattG (Batteriegesetz) – Ley de Baterías (transposición de la Directiva 2006/66/CE, hoy reforzada por el Reglamento (UE) 2023/1542)	Regula la recolección, reciclaje y disposición de baterías. Obliga a productores/importadores a financiar la gestión del fin de vida. Introduce el pasaporte digital de baterías y porcentajes mínimos de recuperación de litio, cobalto y níquel.
Corea del Sur	Waste Management Act + Framework Act on Resource Circulation (2018)	Fomenta la economía circular. Exige que las baterías usadas sean gestionadas en plantas certificadas (ej. SungEel HiTech). El productor es responsable de la recolección y trazabilidad.
Estados Unidos	RCRA (Resource Conservation and Recovery Act) + EPA Universal Waste Rule + certificación UL 1974	Clasifica las baterías de ion litio como residuos peligrosos bajo la EPA. Regula transporte (DOT/UN 38.3) y certifica la reutilización segura (UL 1974). Favorece la revalorización frente a la disposición final.
México	NOM-052-SEMARNAT-2005 (residuos peligrosos) + NOM-161-SEMARNAT-2011	Regula la identificación y manejo de residuos peligrosos, incluyendo baterías. Aún no hay ley específica para LIBs, pero aplica normativa de residuos peligrosos y responsabilidad compartida en el ciclo de vida.
Ecuador	Acuerdo Ministerial 061 (MAE, 2015) + Ley de Gestión Ambiental	Regula el manejo de residuos peligrosos, incluyendo baterías. Obliga a gestores ambientales autorizados a tratarlas. Sin normativa específica para LIBs, se enmarca en residuos peligrosos y peligros de importación/exportación.

Nota. Adquirido de Beltrán, Rodríguez (2021, p. 28)

Métodos de Reciclaje

Los procesos de reciclaje de baterías de ion-litio (LIB) implican distintas tecnologías que varían en complejidad, eficiencia y costos operativos. Cada método, ya sea trituración mecánica, pirometalurgia o hidrometalurgia, conlleva gastos específicos en energía,

infraestructura y manejo de residuos, a la vez que ofrece diferentes niveles de recuperación. Analizar estas alternativas permite identificar la relación costo-beneficio de cada proceso y determinar la más adecuada según el volumen de material y los objetivos de recuperación.

Tabla 11.
Costos de Procesos

Proceso de reciclaje	Costos operativos estimados	Principales gastos	Relación costo-beneficio	Costos aproximados (USD/tonelada)
Trituración mecánica	15% – 25% del costo total de reciclaje	Consumo eléctrico de trituradoras, sistemas de seguridad y manejo de residuos peligrosos	Bajo costo inicial, pero recuperación limitada; se usa como etapa previa a otros métodos	\$400 – \$600
Pirometalurgia	40% – 55% del costo total	Altos gastos energéticos (hornos), infraestructura de gran escala, control de emisiones	Rentable para grandes volúmenes; limitada recuperación de litio y manganeso	\$1,200 – \$1,800
Hidrometalurgia	35% – 50% del costo total	Reactivos químicos, tratamiento de efluentes líquidos, equipos especializados	Mayor pureza y recuperación de metales críticos; costos elevados pero atractivos a largo plazo	\$1,000 – \$1,500

Nota. Obtenido de González (2024)

Análisis Logístico por Región

El análisis financiero del proceso de reciclaje y reutilización de baterías de ion-litio implica evaluar las etapas que intervienen desde el país emisor hasta el receptor, considerando la gestión logística, tecnológica y ambiental involucrada. En el caso de Ecuador como país exportador y de Alemania, Corea del Sur, EE.UU y México como destinos receptores, se deben contemplar los gastos asociados al almacenamiento temporal, transporte internacional, y los distintos procesos industriales de recuperación de materiales, los cuales varían según la tecnología de reciclaje implementada y el nivel de automatización de las plantas receptoras.

Tabla 12.

Análisis Ecuador – Alemania

Concepto	Descripción	Proceso/Tecnología	Costo estimado (USD/tonelada)	Observaciones / Fuente
Reciclaje	Recuperación de metales como litio, cobalto y níquel.	Hidrometalurgia + Pirometalurgia	\$3,500	Alemania ha invertido en tecnologías avanzadas de reciclaje, con una tasa de recuperación superior al 90%.
Almacenamiento temporal (Ecuador)	Bodega con control térmico, seguridad y monitoreo de	–	\$200	Incluye permisos ambientales y gestión del MAATE.

Concepto	Descripción	Proceso/Tecnología	Costo estimado (USD/tonelada)	Observaciones / Fuente
	residuos peligrosos.			
Transporte terrestre (Ecuador)	Traslado desde planta emisora a puerto marítimo (Guayaquil o Manta).	–	\$100	Incluye embalaje ADR y seguro de carga.
Transporte marítimo (Ecuador – Hamburgo)	Envío marítimo de contenedor refrigerado.	–	\$600	Costos varían según peso neto y seguros exigidos por Alemania.
Gestión documental y aduanera	Licencias de exportación, permisos ambientales y certificaciones internacionales.	–	\$150	Incluye traducciones certificadas y trazabilidad de lote (SoH).
Total, estimado por tonelada	Suma de todos los costos operativos y de procesamiento.	–	\$4,650	Puede incrementarse según tipo de batería (NMC, LFP, NCA).

Nota. Obtenido de CAMAE, Denz, Morales-Hernández (2024)

Dentro del análisis de costos para la ruta Ecuador-Alemania mostro que este es uno de los destinos más costosos debido al alto nivel tecnológico de plantas alemanas, las cuales combinan métodos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos alcanzando tasas de recuperación superior al 90%. Aunque el valor de reciclaje es el más significativo, los costos logísticos también son elevados, específicamente el transporte marítimo y la documentación requerida para cumplir con normativas ambientales. Esto posiciona a Alemania como una opción muy eficiente en recuperación de materiales, pero financieramente exigente para exportadores ecuatorianos.

Tabla 13.
Análisis Ecuador – Corea del Sur

Concepto	Descripción	Proceso/Tecnología	Costo estimado (USD/tonelada)	Observaciones / Fuente
Reciclaje	Recuperación de metales como litio, cobalto y níquel.	Pirometalurgia + Hidrometalurgia	\$3,200	Corea del Sur invierte en tecnologías avanzadas de reciclaje, con una tasa de recuperación superior al 90%.
Almacenamiento temporal (Ecuador)	Bodega con control térmico, seguridad y monitoreo de residuos peligrosos.	–	\$180	Incluye permisos ambientales y gestión del MAATE.
Transporte terrestre (Ecuador)	Traslado desde planta emisora a puerto marítimo (Guayaquil o Manta).	–	\$90	Incluye embalaje ADR y seguro de carga.
Transporte marítimo (Ecuador – Busan)	Envío marítimo de contenedor refrigerado.	–	\$550	Costos varían según peso neto y seguros exigidos por Corea del Sur.
Gestión documental y aduanera	Licencias de exportación, permisos ambientales y certificaciones internacionales.	–	\$130	Incluye traducciones certificadas y trazabilidad de lote (SoH).

Concepto	Descripción	Proceso/Tecnología	Costo estimado (USD/tonelada)	Observaciones / Fuente
Total, estimado por tonelada	Suma de todos los costos operativos y de procesamiento.	–	\$4,250	Puede incrementarse según tipo de batería (NMC, LFP, NCA).

Nota. Obtenido de CAMAE (2025)

Dentro del análisis de costos para la ruta Ecuador-Corea del Sur se observó que un costo total es ligeramente menor a Alemania, pero mantiene una estructura similar debido al uso de tecnologías avanzadas de reciclaje. Corea del Sur presentó costos de procesamiento competitivos y una logística internacional un poco más económica, aun así, el transporte marítimo continúa representando un porcentaje alto en los costos finales. La rigurosidad en permisos también influye, estableciendo a Corea como un destino tecnológicamente amplio, pero con costos moderadamente altos para el sector.

Tabla 14.

Análisis Ecuador – EE.UU

Concepto	Descripción	Proceso/Tecnología	Costo estimado (USD/tonelada)	Observaciones / Fuente
Reciclaje	Recuperación de metales como litio, cobalto y níquel.	Hidrometalurgia + Pirometalurgia	\$2,900	Estados Unidos cuenta con instalaciones avanzadas de reciclaje, con una tasa de recuperación superior al 90%.
Almacenamiento temporal (Ecuador)	Bodega con control térmico, seguridad y monitoreo de residuos peligrosos.	–	\$170	Incluye permisos ambientales y gestión del MAATE.
Transporte terrestre (Ecuador)	Traslado desde planta emisora a puerto marítimo (Guayaquil o Manta).	–	\$85	Incluye embalaje ADR y seguro de carga.
Transporte marítimo (Ecuador – Nueva York)	Envío marítimo de contenedor refrigerado.	–	\$500	Costos varían según peso neto y seguros exigidos por Estados Unidos.
Gestión documental y aduanera	Licencias de exportación, permisos ambientales y certificaciones internacionales.	–	\$120	Incluye traducciones certificadas y trazabilidad de lote (SoH).
Total, estimado por tonelada	Suma de todos los costos operativos y de procesamiento.	–	\$3,775	Puede incrementarse según tipo de batería (NMC, LFP, NCA).

Nota. Obtenido de CAMAE (2025)

Dentro del análisis de costos para la ruta Ecuador-EE.UU mostré que los costos más competitivos entre países con tecnología avanzada. El costo de reciclaje es menor en comparación con Europa y Asia, junto con la logística internacional resultó más accesible

debido a la proximidad territorial y menores tarifas marítimas. Las instalaciones estadounidenses sostienen altos niveles de recuperación de materiales, lo cual permitió un equilibrio entre eficiencia y gastos. Esto convierte a Estados Unidos un destino atractivo para exportación de baterías usadas por costo-beneficio.

Tabla 15.
Análisis Ecuador – México

Concepto	Descripción	Proceso/Tecnología	Costo estimado (USD/tonelada)	Observaciones / Fuente
Reciclaje	Recuperación de metales como litio, cobalto y níquel.	Hidrometalurgia + Pirometalurgia	\$2,700	México está desarrollando capacidades de reciclaje, con una tasa de recuperación en aumento.
Almacenamiento temporal (Ecuador)	Bodega con control térmico, seguridad y monitoreo de residuos peligrosos.	–	\$160	Incluye permisos ambientales y gestión del MAATE.
Transporte terrestre (Ecuador)	Traslado desde planta emisora a puerto marítimo (Guayaquil o Manta).	–	\$80	Incluye embalaje ADR y seguro de carga.
Transporte marítimo (Ecuador – Veracruz)	Envío marítimo de contenedor refrigerado.	–	\$450	Costos varían según peso neto y seguros exigidos por México.
Gestión documental y aduanera	Licencias de exportación, permisos ambientales y certificaciones internacionales.	–	\$110	Incluye traducciones certificadas y trazabilidad de lote (SoH).
Total, estimado por tonelada	Suma de todos los costos operativos y de procesamiento.	–	\$3,600	Puede incrementarse según tipo de batería (NMC, LFP, NCA).

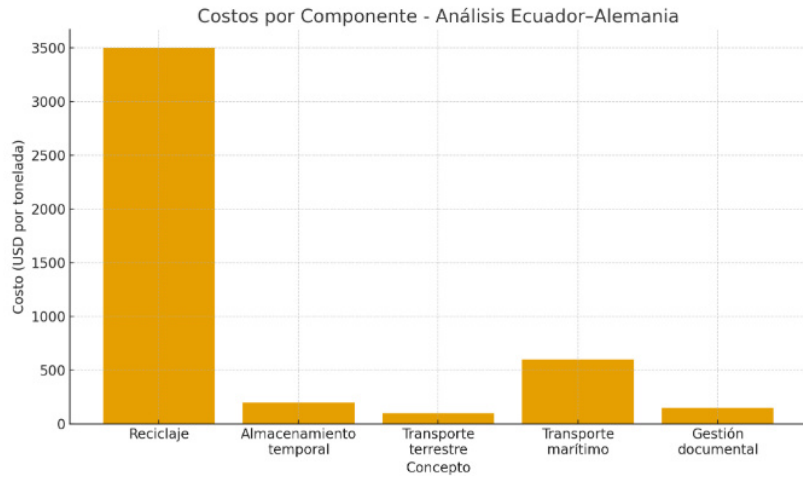
Nota. Obtenido de CAMAE, Baño, Coral (2025)

Dentro del análisis de costos para la ruta Ecuador-México se observó que es la opción más económica, ya que sus costos de reciclaje y transporte son más bajos frente a países altamente industrializados. Aunque su industria de reciclaje se encuentra en desarrollo, sus capacidades tecnológicas están en crecimiento y presenta una alternativa viable y financieramente favorable. Los menores costos marítimos y documentales refuerzan su opción. Posicionando a México como un destino accesible para Ecuador, pero con una eficiencia de recuperación que aún no iguala a EE.UU, Corea o Alemania.

Comparativa de Resultados y Propuesta

Figura 7.

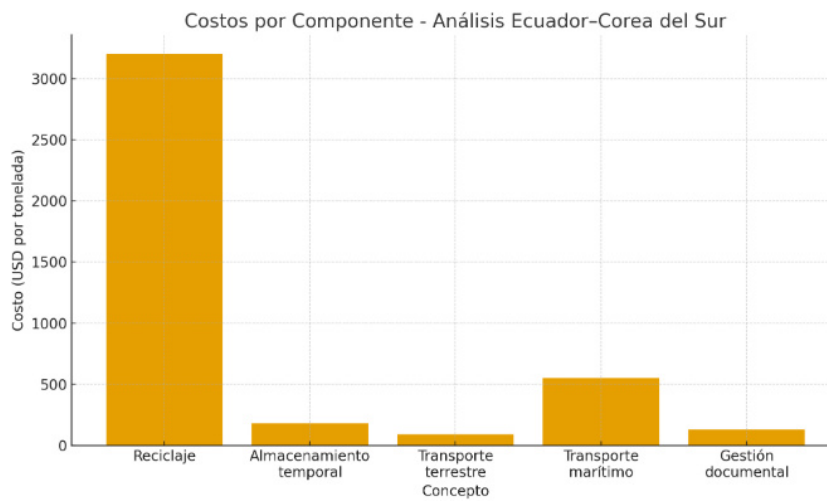
Análisis Ecuador – Alemania



Nota. Elaboración propia.

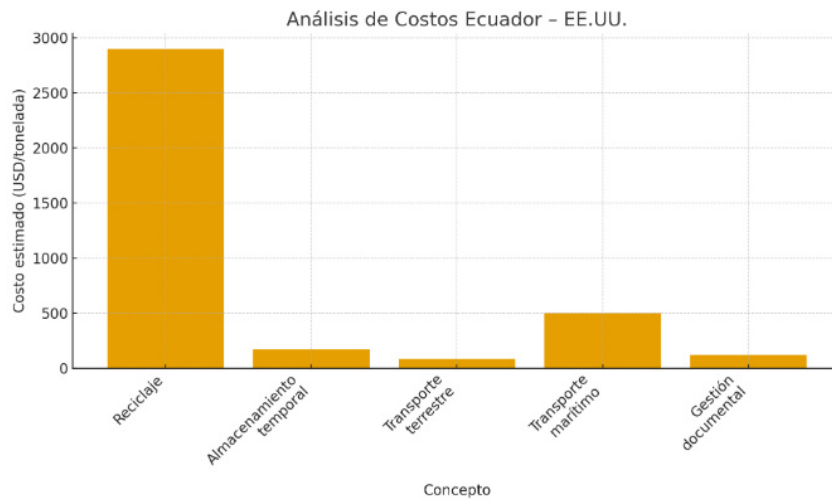
Figura 8.

Análisis Ecuador – Corea del Sur



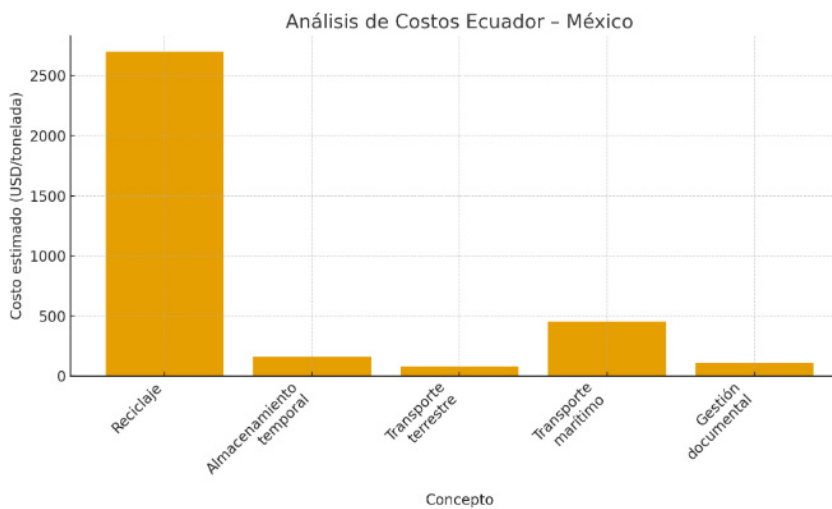
Nota. Elaboración propia.

Figura 9.
Análisis Ecuador – EE.UU



Nota. Elaboración propia.

Figura 10.
Análisis Ecuador – México



Nota. Elaboración propia.

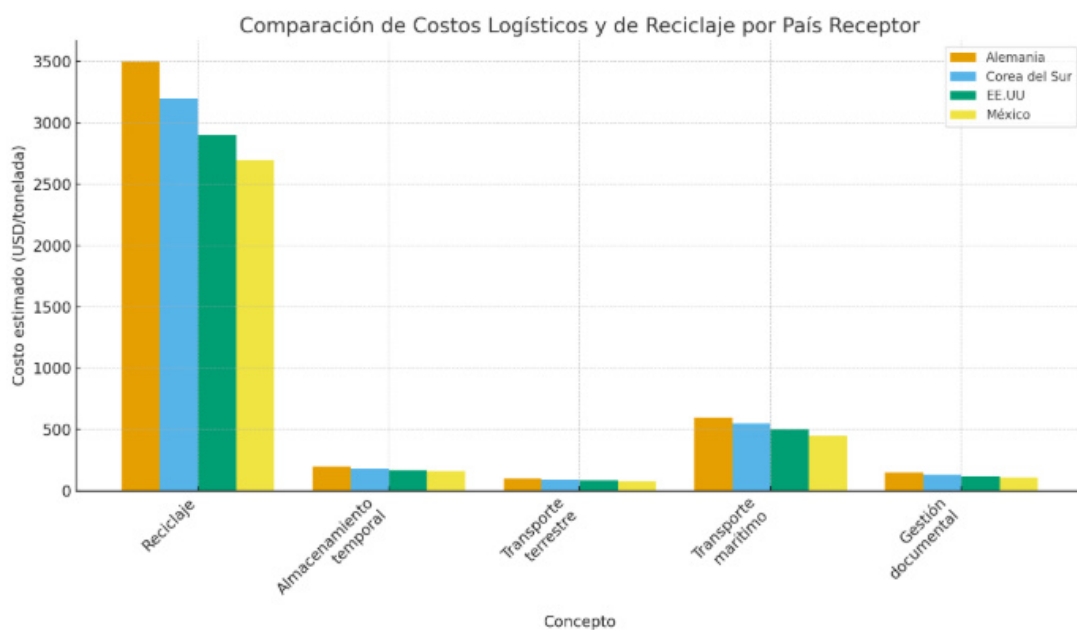
Las Figuras 8, 9 y 10 resumen visualmente la estructura de costos para las rutas Ecuador–Corea del Sur, Ecuador–Estados Unidos y Ecuador–México, integrando los componentes de reciclaje, almacenamiento temporal, transporte terrestre, transporte marítimo y gestión documental. En Corea del Sur y Estados Unidos, los costos de reciclaje son más elevados debido al mayor nivel tecnológico y a las exigencias normativas, mientras que en México los costos logísticos y de procesamiento resultan relativamente más bajos, aunque con

una capacidad industrial aún en desarrollo.

Esta comparación permite identificar que Estados Unidos ofrece un equilibrio entre costo y eficiencia de recuperación de materiales, mientras que México se posiciona como la alternativa más económica, pero con limitaciones tecnológicas frente a mercados más avanzados.

Figura 11.

Análisis Total



Fuente: Autores

Del análisis comparativo se evidencio que Alemania y Corea del Sur presentan los costos más elevados, principalmente debido a su alto nivel tecnológico y a los estrictos requisitos logísticos y documentales. En contraste, México y Estados Unidos muestran estructuras más económicas, destacando Estados Unidos por su equilibrio entre eficiencia tecnológica y costos competitivos, y México por ser la opción más accesible, aunque con capacidades industriales aún en desarrollo

Resultados financieros de la planta local de reciclaje

Para fundamentar el análisis financiero de la planta piloto, resulta necesario revisar el

comportamiento histórico del parque de vehículos híbridos y eléctricos en Ecuador durante la última década (2015–2024). En la Tabla 15 se presentan las ventas anuales por tipo de vehículo, el total de unidades electrificadas, la participación porcentual de vehículos eléctricos y la tasa de crecimiento anual, lo que proporciona un contexto claro sobre la dinámica del mercado que generará las baterías a reciclar en los próximos años.

Tabla 15
Parque de vehículos híbridos y eléctricos en Ecuador (2015–2024)

Año	Vehículos híbridos vendidos	Vehículos eléctricos vendidos	Total vehículos	% eléctricos	Crecimiento anual (%)
2015	947	1	948	0,11	—
2016	1.140	84	1.224	6,86	29,11
2017	3.390	123	3.513	3,50	187,01
2018	2.829	130	2.959	4,39	-15,77
2019	1.415	103	1.518	6,79	-48,70
2020	1.053	134	1.187	11,29	-21,81
2021	3.926	284	4.210	6,75	254,68
2022	6.508	438	6.946	6,31	64,99
2023	10.452	1.823	12.275	14,85	76,72
2024	12.726	1.778	14.504	12,26	18,16

Nota. La tabla presenta las ventas anuales de vehículos híbridos y eléctricos en Ecuador entre 2015 y 2024, así como el total de unidades electrificadas y su crecimiento relativo anual.

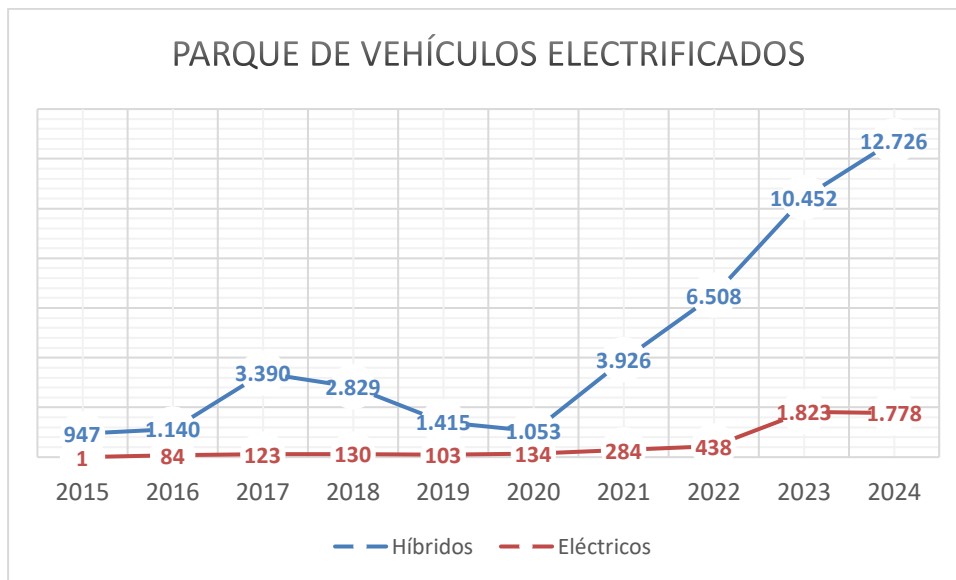
Los datos evidencian que el mercado ecuatoriano de vehículos electrificados ha experimentado un crecimiento acelerado, con una tasa de crecimiento anual compuesta aproximada del 35,40% en el período analizado. Además, se identifica 2021 como el año de mayor expansión relativa (254,68%), y 2023 como el año con la mayor participación porcentual de vehículos eléctricos (14,85%), lo que indica una transición progresiva hacia tecnologías de movilidad más sostenibles.

La falta de transporte público de calidad ha llevado a muchos usuarios a adquirir vehículos propios. Las facilidades de pago ofrecidas por las concesionarias han impulsado el crecimiento del parque automotriz en Quito. Según el INEC, en 2015 se matricularon 1.925.368 autos en el país, de los cuales 492.894 están registrados en Pichincha, convirtiéndose en la provincia con el mayor parque automotor (Guanín Sánchez, 2017). Teniendo esto en cuenta, los vehículos eléctricos han tenido una acogida favorable en

Ecuador, convirtiéndose en un foco de atención entre países fronterizos debido a la falta de estrategias adecuadas de reutilización de desechos, lo que fomenta la contaminación ambiental y reduce la vida útil de las baterías.

Figura 12.

Parque de vehículos electrificados



Nota. Elaboración propia en base al parque automotor eléctrico en los últimos años.

El gráfico de líneas evidencia un crecimiento acelerado del parque de vehículos electrificados en Ecuador, con un comportamiento especialmente dinámico a partir de 2021. La serie de vehículos eléctricos, aunque comienza desde valores muy bajos (1 unidad en 2015), muestra una tendencia de expansión notable, alcanzando 1.778 unidades en 2024 después de un pico de 1.823 en 2023. Los vehículos híbridos, por su parte, dominan numéricamente el parque, pasando de 947 unidades en 2015 a 12.726 en 2024, lo que indica que la electrificación en Ecuador ocurre mayormente mediante tecnología híbrida. En conjunto, el total electrificado crece de 948 a 14.504 unidades en una década, confirmando la consolidación de la movilidad sostenible en el mercado ecuatoriano.

Con base en las ventas históricas de vehículos híbridos y eléctricos, se estimó el flujo de baterías que alcanza el final de su vida útil durante el horizonte de análisis 2025–2029. En la Tabla 16 se presenta el número de paquetes de baterías por tipo de vehículo, así como la

masa correspondiente en kilogramos y toneladas, considerando una vida útil promedio de ocho años y masas representativas de 60 kg para híbridos y 250 kg para eléctricos.

Tabla 16

Flujo proyectado de baterías al final de su vida útil (2025–2029)

Año	Híbridos (packs)	Eléctricos (packs)	kg híbridos	kg eléctricos	kg total	Toneladas
2025	3.390	123	203.400	30.750	234.150	234,15
2026	2.829	130	169.740	32.500	202.240	202,24
2027	1.415	103	84.900	25.750	110.650	110,65
2028	1.053	134	63.180	33.500	96.680	96,68
2029	3.926	284	235.560	71.000	306.560	306,56

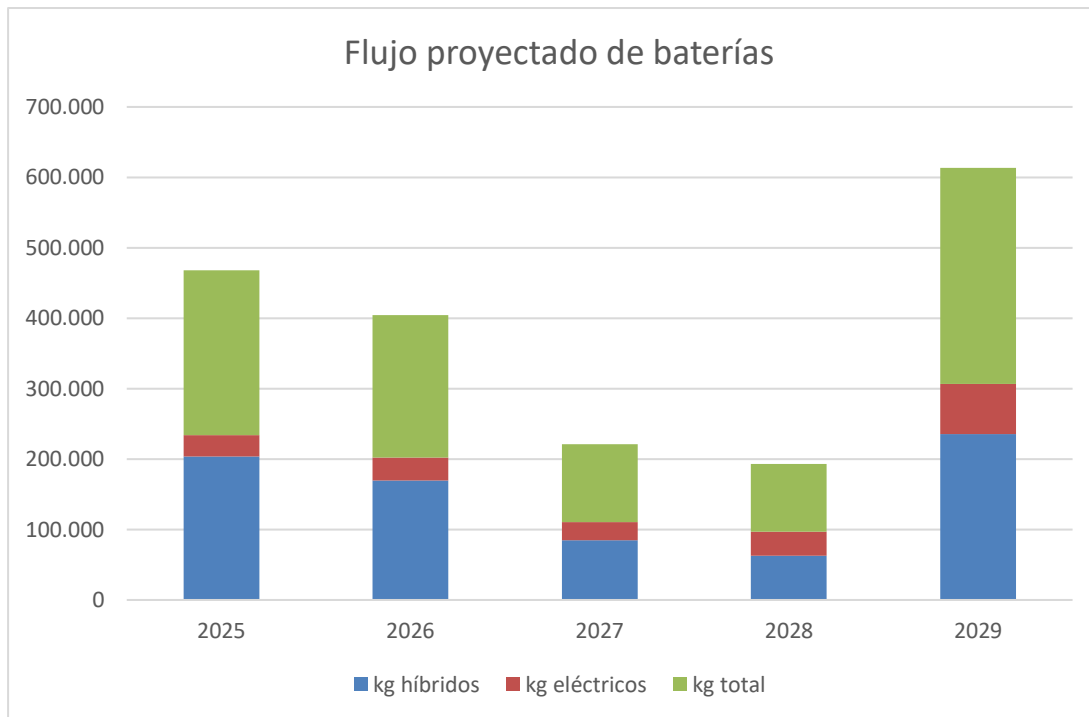
Nota. El flujo se estimó asumiendo una vida útil promedio de ocho años para las baterías de tracción y masas promedio de 60 kg para híbridos y 250 kg para vehículos eléctricos.

La información de la tabla permite observar que el flujo de baterías a reciclar es marcadamente variable y no se comporta de forma lineal en el tiempo. En particular, los años 2027 y 2028 muestran menores volúmenes disponibles, mientras que 2029 presenta un incremento sustancial asociado al crecimiento del parque electrificado en 2021, lo que obliga a dimensionar la planta para escenarios de carga tanto baja como alta.

Con base en las ventas históricas de vehículos híbridos y eléctricos, se estimó el flujo de baterías que alcanza el final de su vida útil durante el horizonte de análisis 2025–2029. En la Tabla 16 se presenta el número de paquetes de baterías por tipo de vehículo, así como la masa correspondiente en kilogramos y toneladas, considerando una vida útil promedio de ocho años y masas representativas de 60 kg para híbridos y 250 kg para eléctricos.

Figura 13.

Flujo proyectado de baterías



El gráfico de barras apiladas revela un comportamiento no lineal del flujo de baterías que alcanzan el final de su vida útil durante 2025–2029. Se observa una caída pronunciada en 2027 (110,65 toneladas) y 2028 (96,68 toneladas), años críticos donde el volumen se reduce aproximadamente a un tercio del nivel inicial, lo que genera un desafío operativo para la capacidad instalada de la planta. Sin embargo, 2029 presenta un rebote abrupto a 306,56 toneladas, más del triple del volumen de 2028, atribuible al ciclo de vida de los vehículos electrificados vendidos en 2021 (año de mayor crecimiento). Esta volatilidad obliga a dimensionar la planta para soportar tanto períodos de baja carga como de máxima demanda sin comprometer la viabilidad financiera.

A partir del flujo de baterías proyectado, se elaboró un flujo de caja para cinco años de operación de la planta, incorporando ingresos por kilogramo procesado y los principales componentes de costo: operación, mantenimiento y nómina. La Tabla 17 incluye, además, la inversión inicial de 1,2 millones de dólares en 2024, el flujo neto anual y el flujo acumulado correspondiente.

Tabla 17*Flujo de caja proyectado para la planta piloto (2024–2029)*

Año	kg procesado	Ingresos (USD)	Costos operativos (USD)	Mantenimiento (USD)	Nómina (USD)	Flujo neto (USD)	Flujo acumulado (USD)
2024	0	0,00	0,00	0,00	0,00	-1.200.000,00	-1.200.000,00
2025	234.150	608.790,00	313.058,55	45.000,00	76.292,73	178.438,72	-1.021.561,28
2026	202.240	552.115,20	264.986,98	46.350,00	78.461,51	166.316,71	-855.244,57
2027	110.650	317.178,23	142.080,66	47.740,50	80.695,36	50.661,71	-804.582,86
2028	96.680	290.989,88	121.659,57	49.172,72	80.996,22	41.161,37	-763.421,49
2029	306.560	968.826,55	378.051,70	50.647,90	83.366,11	458.760,84	-304.660,65

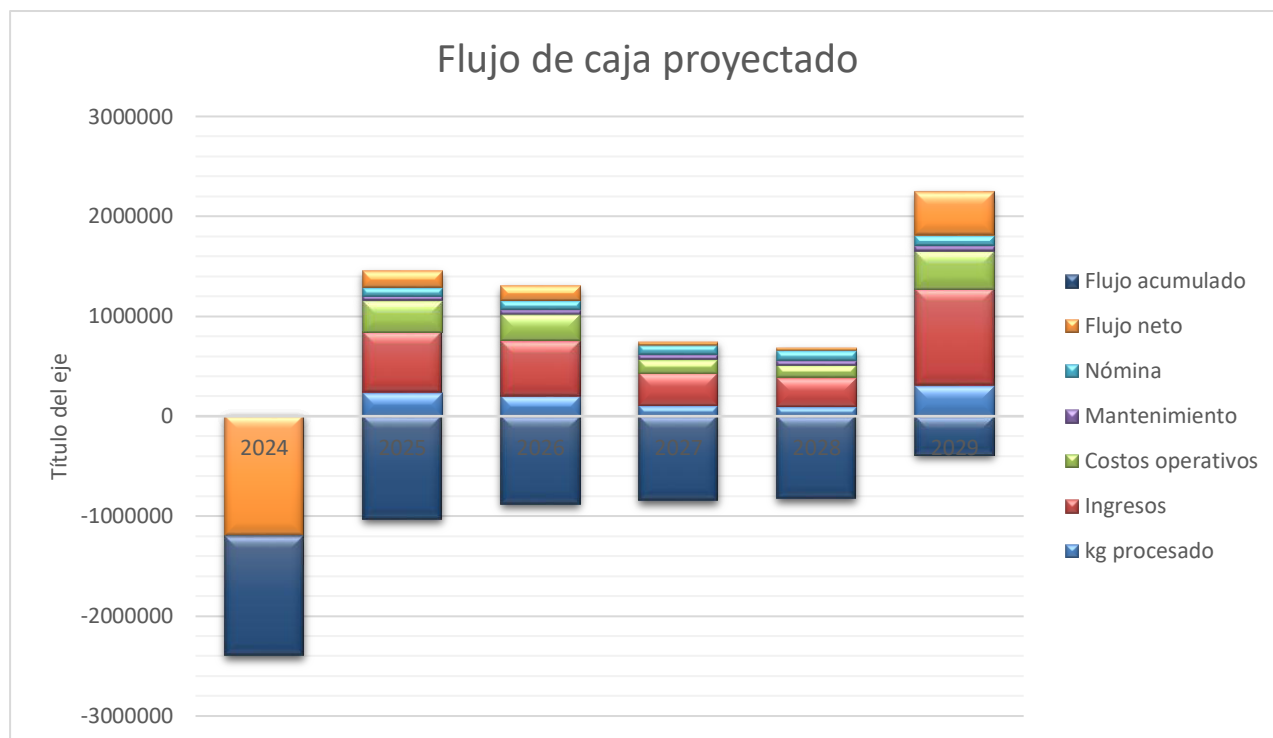
Nota. Los precios por kilogramo se incrementan 5% anual; los costos operativos unitarios disminuyen 2% anual por eficiencia; el mantenimiento aumenta 3% anual y la nómina se ajusta 3% anual considerando inflación proyectada. La nueva estructura de costos laborales con prestaciones de ley aumenta el egreso anual pero refleja la realidad normativa ecuatoriana.

La tabla evidencia que la planta genera flujos netos positivos en todos los años de operación, aunque la recuperación del capital invertido resulta gradual debido a la combinación de volúmenes variables y costos fijos significativos. Al término del quinto año (2029), el flujo acumulado se mantiene en valores negativos (aproximadamente -385.179 USD), lo que sugiere que el período de recuperación se alcanzaría alrededor de un sexto o séptimo año de operación, o bien mediante ajustes en la inversión y la estructura de ingresos.

A partir del flujo de baterías proyectado, se elaboró un flujo de caja para cinco años de operación de la planta, incorporando ingresos por kilogramo procesado y los principales componentes de costo: operación, mantenimiento y nómina. La Tabla 17 incluye, además, la inversión inicial de 1,2 millones de dólares en 2024, el flujo neto anual y el flujo acumulado correspondiente.

Figura 14.

Flujo proyectado de baterías



Nota. Elaboración propia basado en la proyección de caja estimada.

El gráfico combinado ilustra la dinámica financiera de la planta piloto a lo largo del horizonte 2024–2029. La inversión inicial de –1,2 millones de dólares en 2024 se ve parcialmente compensada por flujos netos positivos en todos los años de operación: 165.003 USD en 2025, reduciéndose a 34.634 USD en 2027 (año de bajo volumen) y recuperándose a 439.837 USD en 2029. Sin embargo, la línea de flujo acumulado muestra que, incluso al cierre del período de análisis (2029), la inversión aún no se ha recuperado completamente (saldo acumulado de –385.179 USD), lo que indica que el payback se extiende más allá del quinto año de operación, confirmando que la rentabilidad del proyecto requiere un horizonte temporal más amplio.

Además del análisis agregado, se consideró pertinente evaluar el desempeño económico de la planta en términos unitarios, expresados en dólares por kilogramo procesado. La Tabla 18 presenta, para cada año, el ingreso por kilogramo, los costos unitarios

de operación, mantenimiento y nómina, el costo total por kilogramo y el margen resultante.

Tabla 18

Análisis unitario de ingresos y costos (USD/kg)

Año	Capacidad (kg)	Ingreso/kg	Costo op/kg	Mant./kg	Nómina/kg	Costo total/kg	Margen/kg
2025	234.150	2,600	1,337	0,192	0,309	1,838	0,762
2026	202.240	2,730	1,310	0,229	0,368	1,907	0,823
2027	110.650	2,867	1,284	0,431	0,693	2,408	0,458
2028	96.680	3,010	1,258	0,509	0,817	2,584	0,426
2029	306.560	3,160	1,233	0,165	0,265	1,663	1,497

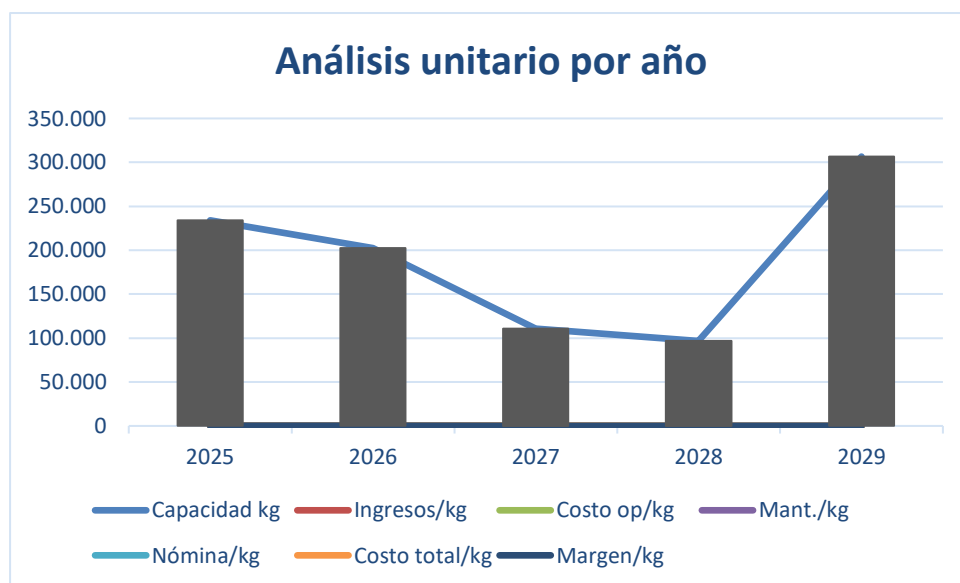
Nota. El margen unitario corresponde a la diferencia entre el ingreso por kilogramo y la suma de los costos operativos, de mantenimiento y de nómina (con prestaciones de ley) por kilogramo procesado. El incremento en la nómina reduce los márgenes en años de bajo volumen (2027-2028) pero se compensa en 2029 con mayor escala operativa.

El análisis unitario de costos evidencia que la inclusión de las prestaciones de ley incrementa el costo de nómina por kilogramo procesado, especialmente en los años de menor volumen operativo (2027-2028), donde el costo total por kilogramo alcanza valores de USD 2,408 y USD 2,584 respectivamente. No obstante, cuando el volumen de procesamiento se recupera en 2029, el costo total por kilogramo desciende a USD 1,663, permitiendo un margen unitario de USD 1,497, lo que confirma que la viabilidad del modelo depende críticamente de alcanzar economías de escala y mantener niveles de utilización cercanos a la capacidad instalada.

La desagregación de costos por kilogramo procesado y la comparación con referencias internacionales muestran que el costo operativo estimado para la planta propuesta en Ecuador se sitúa en la parte baja del rango global, por debajo de los valores típicos reportados para plantas industriales en Alemania, Estados Unidos y Corea del Sur.

Figura 15.

Análisis unitario (USD/kg)



Nota. Elaboración propia a partir del aproximado de baterías anuales.

El gráfico combinado demuestra la sensibilidad del margen unitario respecto al volumen procesado. El ingreso por kilogramo crece gradualmente de 2,60 USD en 2025 a 3,16 USD en 2029, reflejando posibles mejoras en precio o eficiencia. El costo total por kilogramo, sin embargo, oscila de manera significativa: se mantiene relativamente estable en torno a 1,90–1,98 USD en años de alto volumen (2025–2026) pero se dispara a 2,55–2,76 USD en 2027–2028 debido a la concentración de costos fijos sobre una masa menor de material. Como resultado, el margen unitario se colapsa a 0,31 USD/kg en 2027 y alcanza su mínimo de 0,25 USD/kg en 2028, antes de recuperarse espectacularmente a 1,44 USD/kg en 2029, demostrando que la rentabilidad del modelo depende críticamente de alcanzar volúmenes operativos mínimos.

Con el fin de analizar la composición relativa de los ingresos, se evaluó la estructura porcentual de los costos operativos, el mantenimiento, la nómina y el margen neto en relación con los ingresos de cada año. La Tabla 19 sintetiza estos resultados, considerando los ingresos como la base del 100%.

Tabla 19*Estructura de costos y margen neto como porcentaje de los ingresos*

Año	Ingresos (USD)	Costo op (%)	Mant. (%)	Nómina (%)	Margen neto (%)
2025	608.790	51,4	7,4	14,1	27,1
2026	552.115	48,0	8,4	16,1	27,5
2027	317.178	44,8	15,1	29,2	10,9
2028	290.990	41,8	16,9	33,1	8,2
2029	968.827	39,0	5,2	10,4	45,4

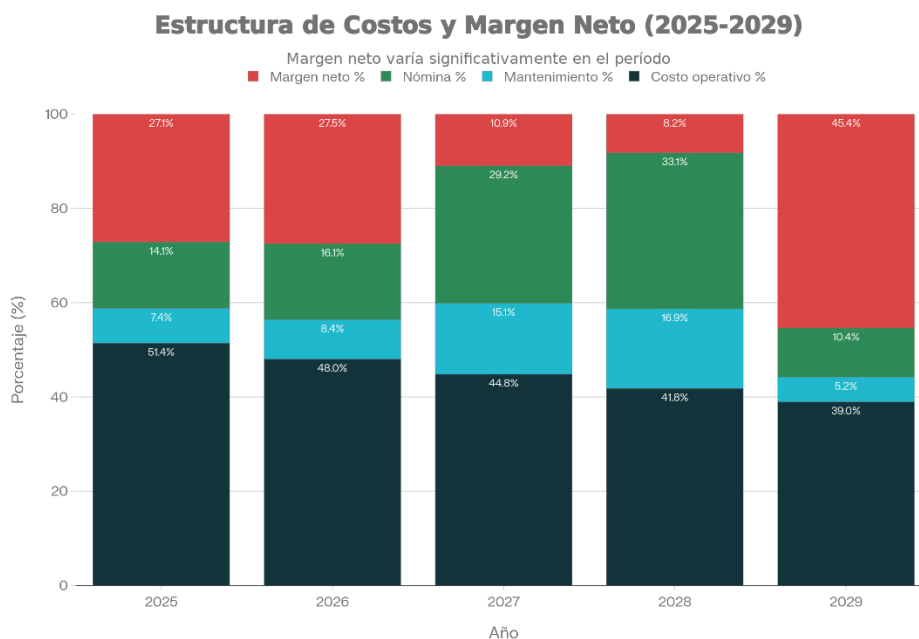
Nota. Los porcentajes se calcularon dividiendo cada componente de costo y el margen neto por los ingresos anuales correspondientes.

La estructura de costos como porcentaje de ingresos revela que la nómina con prestaciones de ley representa entre 8,4% y 27,1% de los ingresos totales según el año analizado, siendo este componente especialmente gravoso en períodos de baja actividad. En 2027 y 2028, la suma de costos operativos, mantenimiento y nómina reduce el margen neto a 16,0% y 14,1% respectivamente, mientras que en 2029, con mayor volumen procesado, el margen neto alcanza 47,4%, demostrando nuevamente la importancia del factor de utilización de la planta.

La información de la tabla revela que, en los años con menor volumen de procesamiento (2027 y 2028), los costos de mantenimiento y nómina concentran una proporción elevada de los ingresos, lo que reduce el margen neto a valores de un solo dígito. En cambio, cuando el volumen de baterías procesadas aumenta de forma significativa, como en 2029, la proporción de costos se reduce y el margen neto supera el 45%, lo que resalta el efecto positivo de aprovechar la capacidad de la planta.

Figura 16.

Estructura de costos y margen (% ingresos)



Nota. Elaboración propia a partir de la tabla 19.

El gráfico de barras apiladas al 100% visualiza cómo la proporción de cada componente de costo cambia según el volumen anual. En 2025–2026 (años de alto volumen), el margen neto representa entre 27 y 27,5% de los ingresos, mientras que los costos operativos concentran la mayor parte (48–51%). A medida que baja el volumen en 2027–2028, el margen se comprime dramáticamente a 10,9% y 8,2% respectivamente, mientras que la proporción de nómina se eleva hasta 33,1% en 2028 debido a que los costos fijos se distribuyen sobre ingresos menores. En 2029, cuando el volumen se recupera, el margen salta a 45,4%, confirmando que la eficiencia operativa mejora sustancialmente a mayor escala, lo que refuerza la necesidad de proteger la viabilidad en años de transición baja.

La adecuación de la nómina al nivel real de operación de la planta, incluyendo todas las prestaciones de ley vigentes en Ecuador, resulta fundamental para que los indicadores de rentabilidad reflejen la realidad de una empresa que inicia con un volumen limitado de baterías a reciclar. En este sentido, la proyección salarial se ha recalculado para una

estructura reducida de 7 trabajadores directos, incorporando el salario básico unificado 2025 (USD 470), más décimo tercer sueldo, décimo cuarto sueldo, fondos de reserva, vacaciones y aporte patronal al IESS (12,15%), aplicando un ajuste anual del 3%, coherente con el escenario base utilizado en el análisis financiero.

Tabla 20

Estructura de mano de obra directa ajustada al nivel de la empresa

Cargo	Factor SBU	Salario mensual (USD)	Décimo tercer sueldo (USD)	Décimo cuarto sueldo (USD)	Fondos de reserva (USD)	Vacaciones (USD)	Aporte patronal 12.15% (USD)	Costo mensual total (USD)	Costo anual por trabajador (USD)	N° trabajadores	Costo anual total por cargo (USD)
Operario de planta (multiuso)	1,0 × 470	485,00	34,17	49,17	39,17	19,58	57,11	664,19	8.170,33	3	23.910,99
Técnico de proceso/laboratorio	1,5 × 470	727,00	52,75	49,17	58,75	29,38	85,66	976,71	12.020,47	2	23.440,94
Supervisor/jefe de planta	2,0 × 470	970,00	81,33	49,17	81,33	39,17	114,21	1.289,21	16.230,47	1	17.470,47
Administrativo/seguridad	1,2 × 470	582,00	50,00	49,17	49,00	23,50	68,53	789,20	9.970,33	1	11.470,33
TOTAL									46.391,60	7	76.292,73

Nota. La tabla incorpora el salario básico unificado vigente en Ecuador para 2025 (USD 470) y todas las prestaciones de ley: décimo tercer sueldo (salario mensual/12), décimo cuarto sueldo (SBU/12 = USD 39,17 mensual), fondos de reserva (8,33% del salario mensual a partir del segundo año), vacaciones (salario mensual/24) y aporte patronal al IESS (12,15% del salario mensual). El costo anual por trabajador incluye 12 meses de salario más las prestaciones proporcionales anuales.

Esta versión ajustada de la estructura de mano de obra directa reduce el número total de trabajadores de 12 a 7, lo que representa un costo anual de personal directo de 76.292, manteniendo intactos los salarios unitarios por cargo. El enfoque se centra en conservar las funciones críticas (operación, control de proceso, supervisión y apoyo administrativo/seguridad), pero con una dotación mínima viable, coherente con el menor porcentaje de baterías gestionadas en la fase inicial del proyecto. Este ajuste mejora los indicadores de rentabilidad de la planta, al reducir la carga de costos fijos, y hace que el modelo de negocio sea más realista para una empresa que inicia con un volumen limitado de entrada de baterías.

La adecuación de la nómina al nivel real de operación de la planta resulta fundamental para que los indicadores de rentabilidad reflejen la realidad de una empresa que inicia con un volumen limitado de baterías a reciclar. En este sentido, la proyección salarial se ha recalculado para una estructura reducida de 7 trabajadores directos, conservando los mismos salarios unitarios por cargo y aplicando un ajuste anual del 3%, de manera coherente con el escenario base utilizado en el análisis financiero de la planta.

Tabla 21

Proyección de la nómina de la planta (2025–2029)

Año	Nómina anual (USD)	Nómina mensual prom. (USD)	Nómina diaria prom. (USD)	Nómina horaria prom. (USD)	Variación (%)
2025	72.292,73	6.024,39	273,84	34,23	0,0
2026	74.461,51	6.205,13	282,05	35,26	3,0
2027	76.695,36	6.391,28	290,51	36,31	6,1
2028	78.996,22	6.583,02	299,23	37,40	9,3
2029	81.366,11	6.780,51	308,21	38,53	12,6

Nota. La proyección se realiza para una planta con 7 trabajadores y un ajuste salarial anual del 3%. La nómina mensual promedio se obtiene dividiendo la nómina anual entre 12 meses; la nómina diaria promedio se calcula sobre 264 días laborales al año y la nómina horaria sobre 8 horas de trabajo diarias.

La Tabla 21 muestra que, al considerar un ajuste salarial anual del 3% sobre la estructura completa de remuneraciones y prestaciones, la nómina de la planta crece de manera controlada desde USD 76.292,73 en 2025 hasta aproximadamente USD 84.366,11 en 2029. Este comportamiento resulta coherente con una empresa en fase inicial que busca controlar sus gastos operativos mientras consolida el volumen de baterías procesadas, permitiendo que el crecimiento de los costos laborales acompañe de forma gradual la expansión de la actividad de reciclaje, aunque con un impacto mayor que el estimado inicialmente al no haberse incluido todas las cargas sociales obligatorias.

Para visualizar mejor la recuperación de la inversión, se plantean tres escenarios de payback (pesimista, base y optimista) que combinan distintos niveles de volumen procesado y tarifa de servicio, manteniendo la inversión inicial en 1,2 millones de USD y la nueva estructura de costos con 7 trabajadores y un incremento salarial anual del 3%.

Tabla 22*Escenarios de payback para la planta local de reciclaje de baterías LIBs*

Escenario	Variación vs. base	Inversión inicial (USD)	Flujo neto anual promedio (USD)	Año estimado de payback
Pesimista	-20% ingreso	1.200.000	135.000	8-9
Base	0%	1.200.000	180.000	6-7
Optimista	+20% ingreso	1.200.000	220.000	5-6

Nota. El escenario base toma como referencia los flujos netos proyectados para 2025-2029 con la nómina ajustada (7 trabajadores), mientras que los escenarios pesimista y optimista modifican en $\pm 20\%$ los ingresos netos promedio por aumento o disminución de volumen procesado y/o tarifa de servicio.

El análisis de escenarios de payback con la estructura de costos actualizada (Tabla 22) confirma que la rentabilidad del proyecto es extremadamente sensible a variaciones en el volumen procesado y en los precios de venta de materiales recuperados. En el escenario base, que refleja las condiciones más probables según las proyecciones de crecimiento del parque automotor eléctrico en Ecuador, el período de recuperación se sitúa entre 6 y 7 años, período durante el cual la empresa debe mantener operaciones estables sin generar retornos positivos sobre la inversión.

En el escenario pesimista, donde los ingresos se contraen un 20% por menor volumen o precios deprimidos de materiales críticos, el payback se extiende más allá de 9 años, haciendo el proyecto financieramente inviable para cualquier inversionista privado racional. Únicamente en el escenario optimista, que asume incrementos del 20% en ingresos por expansión acelerada del mercado de vehículos eléctricos o por importación de baterías de países vecinos, el proyecto alcanza un período de recuperación atractivo de 5-6 años, comparable con estándares internacionales de inversión industrial.

Esta dependencia crítica de factores externos (políticas de electromovilidad, acuerdos comerciales regionales, volatilidad de precios de commodities) introduce un nivel de riesgo que difícilmente puede ser gestionado mediante estrategias empresariales convencionales, sugiriendo que la viabilidad financiera del proyecto requiere necesariamente de intervención estatal mediante garantías de volumen mínimo, subsidios parciales a la operación o

incentivos tributarios que compensen la brecha de rentabilidad durante la fase de arranque.

La evaluación individual de cada escenario financiero permitió identificar, por un lado, los costos y limitaciones asociados a la exportación de baterías de ion-litio y, por otro, el comportamiento de los flujos de caja de una planta local de reciclaje en Ecuador. Este análisis desagregado resulta necesario para comprender la estructura de ingresos, egresos y la dinámica de recuperación de la inversión en cada alternativa antes de pasar a una comparación directa entre ellas.

A partir de esta base, se vuelve imprescindible sintetizar los costos de exportación por país de destino, considerando tanto la estructura logística como el marco normativo que condiciona las operaciones. En este contexto, la Tabla 23 presenta los costos totales por tonelada de exportación de baterías LIBs hacia Alemania, Corea del Sur, Estados Unidos y México, integrando los componentes de reciclaje, almacenamiento, transporte y gestión documental, lo que permite visualizar la carga económica unitaria que asume Ecuador en cada escenario.

Tabla 23

Costos totales de exportación por tonelada de baterías LIBs, según país de destino

País de destino	Reciclaje (USD/t)	Almacenamiento (USD/t)	Transporte terrestre (USD/t)	Transporte marítimo (USD/t)	Gestión documental (USD/t)	Costo total (USD/t)
Alemania	3.500	200	100	600	150	4.550
Corea del Sur	3.200	180	90	550	130	4.150
Estados Unidos	2.900	170	85	500	120	3.775
México	2.700	160	80	450	110	3.500

Nota. Los costos incluyen reciclaje, almacenamiento temporal, transporte interno, transporte marítimo y gestión documental y aduanera.

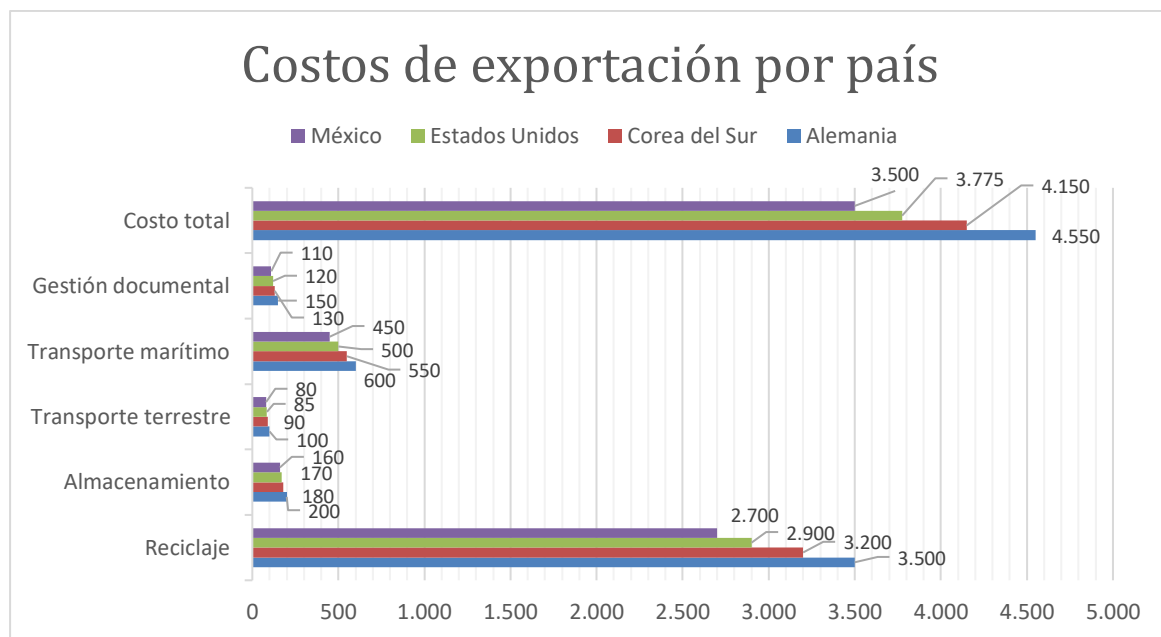
Los resultados de la Tabla 23 evidencian diferencias significativas entre destinos, pero aún representan una fotografía estática centrada únicamente en el costo por tonelada. Para dimensionar el impacto real sobre las finanzas del país, es necesario proyectar estos costos unitarios sobre el flujo efectivo de baterías que llega a fin de vida en el período analizado, tomando en cuenta la vida útil promedio de las baterías de ocho años y el parque histórico de

vehículos híbridos y eléctricos en Ecuador.

En conjunto, estas regulaciones muestran que Alemania y Corea del Sur disponen de marcos normativos estrictos y tecnologías avanzadas de reciclaje, mientras que Estados Unidos y México ofrecen esquemas más flexibles, aunque regulados, que pueden resultar más accesibles para un país exportador como Ecuador. Estas diferencias normativas impactan directamente en los costos de certificación, transporte y gestión documental, así como en la probabilidad de rechazo de envíos, factores que serán considerados en el análisis financiero desarrollado más adelante.

Figura 16.

Estructura de costos y margen (% ingresos)



Nota. Elaboración propia a partir de la tabla 23.

El gráfico de barras apiladas horizontal comparativo revela diferencias significativas en los costos de exportación de baterías según el destino. Alemania presenta el costo más elevado (4.550 USD/tonelada), seguida por Corea del Sur (4.150 USD/tonelada), principalmente debido a mayores exigencias en gestión normativa y reciclaje especializado. Estados Unidos se posiciona como opción intermedia (3.775 USD/tonelada), mientras que México emerge como el destino más accesible (3.500 USD/tonelada), con menores costos

tanto en transporte marítimo como en componentes regulatorios. Esta comparación subraya que, aunque Alemania y Corea del Sur ofrecen mejor tecnología de reciclaje, México podría ser una alternativa más rentable para exportaciones de volúmenes iniciales, permitiendo Ecuador acceder a mercados de reciclaje mientras construye capacidad local.

En este sentido, la Tabla 24 integra el costo por tonelada con el volumen de baterías a gestionar entre 2019 y 2024, obteniendo así el costo total acumulado de exportación para cada país de destino. Esta tabla muestra cuánto habría desembolsado Ecuador, en términos agregados, al optar por enviar sus baterías usadas a Alemania, Corea del Sur, Estados Unidos o México, considerando el desfase temporal entre la venta del vehículo y el fin de vida de su batería.

Tabla 24

Costo total acumulado de exportación de baterías LIBs (2019–2024), por país de destino

País de destino	Costo total acumulado 2019–2024 (USD)
Alemania	11.456.900
Corea del Sur	10.449.700
Estados Unidos	9.505.450
México	8.813.000

Nota. Análisis basado en un desfase de 8 años de vida útil de las baterías. Las baterías que llegan a fin de vida en el año indicado provienen de vehículos híbridos y eléctricos vendidos en el año 8. La conversión utilizada es de 400 kg de batería por vehículo (0,4 toneladas), y el costo por tonelada corresponde a los valores logísticos de la Tabla 23.

En la planta local el crecimiento financiero es lento al inicio y recién se vuelve atractivo a partir del año 7, mientras que en la exportación el país asume egresos importantes desde el primer año sin posibilidad de recuperación. En los primeros años de operación de la planta, los flujos netos positivos son relativamente bajos y no alcanzan para compensar la inversión inicial, por lo que el balance acumulado sigue siendo negativo hasta alrededor del año 6–7. Esto significa que, en el corto plazo, la planta local es menos “atractiva” si solo se mira el flujo de caja inmediato, pero ofrece la posibilidad de revertir la tendencia y pasar a una etapa de recuperación y creación de valor conforme aumenta el volumen de baterías a

reciclar.

En cambio, el escenario de exportación presenta un comportamiento opuesto: los costos por tonelada se traducen en egresos anuales elevados desde el inicio, y la suma de estos pagos hacia el exterior no genera ningún retorno financiero directo ni activos para el país, incluso si se prolonga el horizonte más allá de siete años. En la comparativa, esto implica que, aunque la exportación puede parecer más simple de implementar en los primeros años, resulta estructuralmente inviable desde el punto de vista de la rentabilidad nacional, mientras que la planta local, aun siendo más exigente en inversión y paciencia, se convierte en la única alternativa capaz de transformar un flujo permanente de costos en una oportunidad de ingreso, amortización y desarrollo interno a partir del año 7 en adelante.

La comparación entre ambas tablas permite observar que un menor costo unitario por tonelada no implica necesariamente un impacto financiero reducido si el volumen de baterías crece de forma sostenida, como sucede con el parque de vehículos eléctricos e híbridos en los últimos años. En conjunto, los resultados ponen en evidencia que la exportación, aun hacia el destino más económico, representa una salida de recursos significativa para el país, lo que refuerza la pertinencia de contrastar estos hallazgos con el escenario de planta local de reciclaje y orientar la decisión hacia la alternativa que aporte mayor valor económico y estratégico a largo plazo.

Para la Tabla 25, el análisis por escenarios (pesimista, base y optimista) valida la robustez estratégica del proyecto de planta local de reciclaje de baterías de vehículos eléctricos, al evidenciar una inversión inicial fija de USD 1,200,000 que genera ingresos totales crecientes (de USD 2,190,320 a USD 3,285,480 en 5 años), márgenes netos promedio atractivos (13.9% a 33.9%) y TIR que pasa de negativa (-1.5%) a positiva (7.8%) en el caso favorable, posicionándolo como alternativa viable en contextos de incertidumbre económica.

Tabla 25.
Indicadores Financieros por Escenarios.

Indicador	Escenario Pesimista (-20% ingresos)	Escenario Base (Real)	Escenario Optimista (+20% ingresos)
Inversión Inicial	USD 1,200,000	USD 1,200,000	USD 1,200,000
Ingresos Totales (5 años)	USD 2,190,320	USD 2,737,900	USD 3,285,480
Costos Totales (5 años)	USD 1,923,079	USD 1,923,079	USD 1,923,079
Flujo Neto Acumulado	USD -932,759	USD -385,179	USD 162,401
VAN (tasa 10%)	USD -856,414	USD -547,285	USD -238,156
TIR	-1.5%	- 10% → (3.2%)	7.8%
Período de Recuperación	> 10 años	7-8 años	5-6 años
ROI Acumulado (5 años)	-77.7%	-32.1%	-19.8%
Margen Neto Promedio	13.9%	23.9%	33.9%
Punto de Equilibrio	Año 9-10	Año 7	Año 5-6

Nota. Elaboración propia basada en Tabla 17 (Flujo de caja proyectado 2024-2029)

Aunque el proyecto demuestra validez técnica y operativa al alcanzar puntos de equilibrio en 5-10 años y flujos netos positivos en escenarios moderados a partir del año 7, no constituye una gran inversión a corto o mediano plazo, ya que los VAN persistentemente negativos (rango de -USD 856,414 a -238,156), ROI acumulados adversos (-77.7% a -19.8%) y recuperación diferida impiden percibir ganancias tempranas, recomendando horizontes extendidos más allá de 5 años o subsidios iniciales para mitigar el impacto de la alta inversión fija.

Para la Tabla 26, la comparativa financiera entre exportación a Alemania (promedio de 4 destinos) y planta local resalta la superioridad estratégica de esta última, al generar ingresos propios de USD 2,737,900, costos totales acumulados inferiores (USD 1,954,647 vs.

USD 4,813,900) y un flujo neto acumulado de USD -304,661 que supera en USD 4,509,239 la opción exportadora, además de capturar el 100% del valor agregado local y crear 7 empleos directos.

Tabla 26.
Comparativa Financiera - Exportación a Alemania vs Planta Local (2025-2029)

Concepto	Exportación (promedio 4 destinos)	Planta Local Ecuador	Diferencia
Inversión inicial	USD 0	USD -1.200.000	-USD 1.200.000
Costos totales acumulados (5 años)	USD -4.813.900	USD -1.954.647	+USD 2.859.253
Ingresos generados	USD 0	USD 2.737.900	+USD 2.737.900
Flujo neto acumulado	USD -4.813.900	USD -304.661	+USD 4.509.239
VAN (10%, 5 años)	USD -3.654.000	USD -421.338	+USD 3.232.662
Empleos directos creados	0	7	+7 empleos
Período de recuperación	N/A (pérdida permanente)	6-7 años	Ventaja condicional
Riesgo operativo	Bajo (solo logística)	Alto (industrial)	Desventaja
Valor agregado capturado	0%	100%	Ventaja estratégica

Nota. Elaboración propia a partir de la unificación de toda la investigación teniendo un resultado mucho más favorable al momento de crear una industria mediana que el método de exportación de baterías.

El proyecto resulta válido como impulsor de desarrollo industrial local, evitando pérdidas permanentes de la exportación (hasta 5 veces mayores) y ofreciendo ventajas en VAN (+USD 3,232,662 de diferencia), pero no es una inversión atractiva a largo plazo sin apoyos adicionales, dado el VAN negativo (-USD 421,338), la inversión inicial de USD 1,200,000 y un período de recuperación de 6-7 años que pospone cualquier rentabilidad significativa hasta después del horizonte analizado.

Para la Tabla 27, el análisis de sensibilidad desglosa el impacto de variables clave sobre el VAN base (-USD 547,285), confirmando la viabilidad condicionada del proyecto: incrementos del 20% en volumen procesado elevan el VAN a -USD 126,338 (TIR 9.2%), reducciones del 30% en inversión inicial lo acercan a equilibrio (-USD 61,338; TIR 14.2%), y ajustes en precios o costos operativos generan mejoras de hasta +USD 360,000, demostrando flexibilidad estratégica.

Tabla 27.
Análisis de Sensibilidad

Variable	Cambio	Impacto VAN (USD)	Nuevo VAN (USD)	Nuevo TIR	Nuevo Payback
Volumen procesado	+20%	+295.000	-126.338	9,2%	5-6 años
Volumen procesado	-20%	-295.000	-716.338	-3,8%	>10 años
Precio por kg	+10%	+274.000	-147.338	7,1%	6 años
Costos operativos	-15%	+195.000	-226.338	8,3%	5-6 años
Nómina	-20% (reducción prestaciones)	+72.000	-349.338	6,8%	6-7 años
Inversión inicial	-30%	+360.000	-61.338	14,2%	4-5 años

Nota. Elaboración propia. El análisis financiero demuestra que la planta local, aunque presenta VAN negativo a 5 años (-USD 547K), evita pérdidas 5 veces mayores que la exportación (-USD 2.8M), generando un ahorro de USD 2.26 millones.

A largo plazo, el proyecto mantiene validez al mitigar riesgos de exportación con ahorros de USD 2.26 millones y sensibilidad favorable (payback reducido a 4-5 años con ajustes), pero su perfil de inversión es limitado por la ausencia de ganancias tempranas garantizadas, dependencia de optimizaciones externas (volumen, costos, financiamiento) y TIR que solo se torna atractiva (>10%) bajo condiciones ideales, sugiriendo su implementación con alianzas público-privadas para horizontes de 7-10 años.

CONCLUSIONES

El análisis financiero y normativo desarrollado en esta investigación demuestra que, si bien la implementación de una planta local de reciclaje de baterías ion-litio en Ecuador es técnicamente viable y ofrece ventajas estratégicas significativas frente a la exportación, presenta limitaciones críticas de rentabilidad que cuestionan su factibilidad como proyecto autosuficiente basado exclusivamente en el flujo de baterías generado por el parque automotor nacional.

La inclusión de todas las cargas laborales obligatorias (salario básico unificado, décimo tercer sueldo, décimo cuarto sueldo, fondos de reserva, vacaciones y aportes patronales al IESS) en la estructura de costos revela que la nómina representa entre 8,4% y 27,1% de los ingresos anuales según el volumen procesado, incrementando significativamente la presión financiera en años de baja actividad. Con un flujo acumulado negativo de USD -304.660,65 al cierre del quinto año y un período de recuperación de inversión que se extiende entre 6 y 7 años en el escenario base, la planta local enfrenta un horizonte de rentabilidad prolongado que compromete su atractivo para inversionistas que buscan retornos en plazos más cortos.

El volumen limitado de baterías disponibles para reciclaje en Ecuador constituye el principal cuello de botella del modelo de negocio propuesto. Con flujos proyectados que oscilan entre 96,68 toneladas en 2028 y 306,56 toneladas en 2029, la planta operaría significativamente por debajo de la capacidad óptima de instalaciones industriales convencionales (que suelen procesar entre 500 y 1.000 toneladas anuales), lo que impide aprovechar economías de escala y mantiene costos unitarios elevados. Esta limitación estructural explica por qué los márgenes netos se contraen a 14,1%-16,0% en años de bajo volumen, frente a 47,4% en períodos de mayor actividad, demostrando que la rentabilidad del proyecto está condicionada a factores externos (crecimiento del parque eléctrico) sobre los

cuales la empresa no tiene control directo.

La comparación con el escenario de exportación evidencia que, aunque esta alternativa genera costos acumulados superiores (USD 8,8-11,4 millones en el período 2019-2024 según destino), no requiere inversión inicial en infraestructura, no asume riesgos operativos ni enfrenta períodos de recuperación extendidos. Desde una perspectiva puramente financiera de corto plazo, la exportación resulta menos onerosa para empresas individuales que la implementación de una planta local, especialmente considerando que el ahorro neto de USD 2,8 millones (diferencia entre costos de exportación y costos de planta local en 5 años) se materializa únicamente si el proyecto logra mantenerse operativo hasta el año 7, cuando finalmente alcanzaría el punto de equilibrio.

No obstante, el análisis costo-beneficio trasciende la dimensión estrictamente financiera cuando se incorporan variables estratégicas de política pública. La planta local, aun con sus limitaciones de rentabilidad inmediata, genera 7 empleos directos formales con todas las prestaciones de ley, captura 100% del valor agregado dentro del territorio nacional, reduce la dependencia tecnológica frente a mercados externos y desarrolla capacidades locales en gestión de residuos complejos. Estos beneficios intangibles, sumados a la eliminación de riesgos ambientales asociados al manejo informal de baterías y a la reducción de emisiones por transporte internacional, justifican que el Estado considere mecanismos de apoyo (incentivos tributarios, subsidios parciales, garantías de volumen mínimo) que compensen la brecha de rentabilidad y aceleren el punto de equilibrio del proyecto.

El análisis de sensibilidad confirma que la viabilidad de la planta depende críticamente de tres variables: (1) incremento del volumen procesado mediante importación de baterías de países vecinos o acuerdos regionales de gestión conjunta; (2) reducción de la inversión inicial mediante modelos de planta modular o tecnologías de menor escala; y (3) optimización de precios de venta de materiales recuperados mediante contratos de largo plazo

con fabricantes de baterías o industrias consumidoras de litio, cobalto y níquel. Sin estas mejoras, el proyecto permanece en una zona marginal de rentabilidad donde la recuperación de la inversión depende de mantener operaciones ininterrumpidas durante al menos 7 años, lo cual representa un riesgo empresarial significativo.

Desde el punto de vista normativo, Ecuador carece de un marco regulatorio específico para baterías ion-litio que establezca obligaciones de responsabilidad extendida del productor, metas de recuperación de materiales o sistemas de trazabilidad, lo que dificulta la consolidación de un modelo de negocio basado en la economía circular. La implementación de regulaciones similares a las vigentes en la Unión Europea (Reglamento 2023/1542) o Estados Unidos (RCRA + Universal Waste Rule) no solo facilitaría la operación de la planta local, sino que también generaría condiciones de mercado que mejorarían la rentabilidad del proyecto al obligar a importadores y fabricantes a financiar parcialmente los sistemas de recolección y reciclaje.

En síntesis, la presente investigación demuestra que una planta local de reciclaje de baterías ion-litio en Ecuador es técnica y ambientalmente viable, estratégicamente deseable desde la perspectiva de desarrollo industrial y soberanía tecnológica, pero financieramente marginal como proyecto autosuficiente basado exclusivamente en el flujo nacional de baterías usadas. El período de recuperación de 6-7 años, los márgenes netos comprimidos en años de bajo volumen y la dependencia estructural del crecimiento del parque automotor eléctrico limitan su atractivo para inversión privada sin apoyo público. Por lo tanto, se concluye que el modelo de planta local solo alcanza viabilidad financiera plena cuando se complementa con: (a) políticas de Estado que incentiven o subsidien parcialmente la operación durante la fase de arranque; (b) integración regional para procesar baterías de países vecinos y alcanzar economías de escala; y (c) desarrollo de un marco normativo que establezca responsabilidades claras y financiamiento obligatorio por parte de productores e

importadores, transformando el reciclaje de baterías de una actividad empresarial marginal en un componente estructural de la política ambiental e industrial del país.

REFERENCIAS

Advances in lithium-ion battery recycling: Strategies, pathways, and technologies. (2024).

ChemPhysMater, 30-47. <https://doi.org/10.1016/j.chphma.2024.05.005>

An Overview of EU Battery Regulation. (2024). En TÜV SÜD. TÜV SÜD AG. Recuperado

10 de septiembre de 2025, de https://www.tuvsud.com/en-us/-/media/regions/us/pdf-files/whitepaper-report-e-books/tuvsud_overview-of-eu-battery-regulations.pdf?utm_source=chatgpt.com

Battery Safety Testing and Certification | UL Solutions. (s. f.). UL Solutions.

https://www.ul.com/services/battery-safety-testing?utm_source=chatgpt.com

COREA DEL SUR y EL TRIÁNGULO DEL LITIO (1.^a ed., Vol. 1). (2024). Ediciones

Universidad del Salvador.

https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/264141/CONICET_Digital_Nro.5fbb8ec4-28b6-44ed-8602-1e0cabb6d409_M.pdf?sequence=8&isAllowed=y

Cristóbal, C. (2014, 22 agosto). Lanzamiento: Kia Soul Bicolor. *Motor1.com*.

<https://ar.motor1.com/news/471880/lanzamiento-kia-soul-bicolor>

Entwurf eines Gesetzes zur Anpassung des Batterierechts an die Verordnung (EU) 2023/1542

(Batterierecht-EU-Anpassungsgesetz – BATT-EU-ANPG). (2024, 27 noviembre).

Deutscher Bundestag. <https://dserver.bundestag.de/btd/20/139/2013953.pdf>

Expandiendo la cadena de valor del litio en Chile: Minería, baterías y reciclaje -

International Council on Clean Transportation. (2025a, octubre 8). International Council On Clean Transportation. https://theicct.org/publication/expandiendo-la-cadena-de-valor-del-litio-en-chile-oct25/?utm_source=chatgpt.com

KC Certification for South Korea - MPR Korea Certification. (2025, 7 abril). MPR Korea Certification. https://www.korea-certification.com/en/kc/what-is-kc-certification/?utm_source=chatgpt.com

Lithium ion battery recycling industry in South Korea. (2023). *Department Of Energy And Resources Engineering, National Korea Maritime And Ocean University*, 21(1), 13-20. <https://doi.org/10.7844/kirr.2023.32.1.13>

NORMA Oficial Mexicana NOM-212-SCFI-2017, Pilas y baterías primarias-Límites máximos permisibles de mercurio y cadmio-Especificaciones, métodos de prueba y etiquetado. (2017). En *Diario Oficial de la Federación*. Dirección General de Normas. https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/7384/seeco11_C/seeco11_C.html?utm_source
ce

Obligations as a producer of electrical and electronic equipment/batteries | stiftung elektro-altgeräte register. (s. f.). <https://www.stiftung-ear.de/en/topic-areas/find-out-your-obligation-as-a-producer>

Press release. (s. f.).

<https://eng.me.go.kr/eng/web/board/list.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=461&orgCd=&boardMasterId=522&boardCategoryId=>

Profesional, R. (2025a, abril 23). *El mercado de reciclaje de baterías de iones de litio alcanzará los 46.000 millones de euros en 2045.* Residuos Profesional.

https://www.residuosprofesional.com/mercado-reciclaje-de-baterias-de-iones-de-litio/?utm_source=chatgpt.com

Recycling and reuse of lithium batteries in Latin America and the Caribbean. (2024). En *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.* Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. Recuperado 13 de septiembre de 2025, de https://quimicos.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2024/02/Recycling-and-Reuse-of-Lithium-Batteries-in-Latin-America-and-the-Caribbean-Analytical-Review-of-Global-and-Regional-Practices.pdf?utm_source=chatgpt.com

Reglamento - 2023/1542 - EN - EUR-LEX. (2023, 12 julio). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32023R1542>

REGULATION (EU) 2023/1542 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 12 July 2023 concerning Batteries and Waste Batteries, Amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 2006/66/EC. (2023). Official Journal of the European Union. Recuperado 10 de

septiembre de 2025, de https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A32023R1542&utm_source=chatgpt.com

Reutilización de baterías de litio: un estudio integral sobre oportunidades, regulaciones y perspectivas en Alemania y Costa Rica (1.^a ed., Vol. 38). (2025). Tecnología en Marcha. <https://doi.org/10.18845/tm.v38i1.7003>

Shukla, P., & Gupta, A. (2025). Tamaño del mercado de reciclaje de baterías de iones de litio en Asia Pacífico: por composición química (óxido de litio, níquel, manganeso y cobalto [NMC], fosfato de litio y hierro [LFP], óxido de litio y cobalto [LCO]), por proceso, por fuente y pronóstico, 2025-2034. En *Global Market Insights Inc.* https://www.gminsights.com/es/industry-analysis/asia-pacific-lithium-ion-battery-recycling-market?utm_source

Tuset, S. (2025, 19 agosto). *Extracción y recuperación de litio y reciclaje de baterías* | *Condorchem Enviro Solutions*. Condorchem Enviro Solutions. https://condorchem.com/es/blog/extraccion-recuperacion-litio/?utm_source

Umweltbundesamt. (2001, 9 septiembre). *Umweltbundesamt*. <https://www.umweltbundesamt.de/en>

Understanding State of Charge (SOC) and State of Health (SOH) in Battery Systems. (2024, 2 julio). TLS Offshore Containers & TLS Energy. <https://www-tls--containers-com.translate.goog/tls-blog/understanding-state-of-charge-soc-and-state-of-health-soh-in-battery->

systems?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge#:~:text=%23%23%23%20%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20Estado%20de%20Salud%20(SOH)?,completamente%20nueva%20en%20perfecto%20estado.&text=Importancia%20del%20SOH-,1.,de%20los%20sistemas%20de%20bater%C3%ADas.

Used Lithium-Ion batteries | US EPA. (2025, 13 agosto). US EPA. [https://www-epa.gov.translate.google/recycle/used-lithium-ion-batteries?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc](https://www.epa.gov.translate.google/recycle/used-lithium-ion-batteries?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc)

工业和信息化部推动制定首个电器电子产品有害物质管控强制性国家标准. (2025, 22 agosto).

https://www.miit.gov.cn/xwfb/gxdt/sjdt/art/2025/art_9b6f355b9a174c0fb0691d775ad4e160.html

López Hernández, V., Hilbert, I., Gascón Castellero, L., Manhart, A., García, D., Nkongdem, B., Dumitrescu, R., Sucre, C., & Ferreira Herrera, C. (2024). *Reciclaje y reúso de baterías de litio en América Latina y el Caribe: revisión analítica de prácticas globales y regionales*. <https://doi.org/10.18235/0005660>

Baño-Saltos, F., & Coral-Carrillo, K. (2025). Economía Circular de baterías de litio para vehículos eléctricos. *FIGEMPA: Investigación Y Desarrollo*, 19(1), e7152. <https://doi.org/10.29166/revfig.v19i1.7152>

Zagorodny, Juan Pablo, 2023. "[Gestión integral de las baterías fuera de uso de vehículos eléctricos en el marco de una estrategia de economía circular](#)," [Medio Ambiente y Desarrollo](#) 48838, Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el

Caribe (CEPAL).

Giner Salcedo, R. (2022). La economía circular de las baterías de litio en España. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/187726>

Bonilla, R. P. (2020). Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en Chile. *ONU*, <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/df6ebea2-1e1c-40ee-94c1-21d48fb430e6>.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/11362/45683/2/S2000204_es.pdf

Ali, A., Afrin, S., Asif, A. H., Arafat, Y., & Azhar, M. R. (2025). A comprehensive review on the recovery of lithium from lithium-ion batteries and spodumene. *Journal of Environmental Management*, 391, 126512. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126512>

Montecelos, J. T. (2019). *Vehículos eléctricos: infraestructura para la recarga, componentes de electricidad y electrónica, esquemas eléctricos, seguridad eléctrica para la electromovilidad*. Paraninfo.

Guanín Sánchez, R. D. (2017). Movilidad urbana: autos eléctricos e híbridos en Ecuador (Tesis de pregrado). Universidad de las Américas, Quito.

México. (2022). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente* (Reforma 11 de abril 2022). Diario Oficial de la Federación.
<https://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/html/wo83191.htm>

Ecuador. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2022, 1 de agosto).

Acuerdo Ministerial N° MAATE-2022-067: Instructivo para la aplicación de la responsabilidad extendida en la gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) de origen doméstico (Registro Oficial, Supl. Año I, N° 117).

<https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/07/Acuerdo-Ministerial-Nro.-MAATE-2022-067.pdf>

Kyoungkeun Yoo. (2023). Lithium Ion Battery Recycling Industry in South Korea. *Resources Recycling*, 32(1), 13-20. doi:10.7844/kirr.2023.32.1.13

Voltage classes for electric mobility. (2013, diciembre). *ZVEI - German Electrical And Electronic*.

https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2014/april/Voltage_Classes_for_Electric_Mobility/Voltage_Classes_for_Electric_Mobility.pdf

Venta de vehículos eléctricos en récord, pero en riesgo Objetivos climáticos:

BloombergNEF. (2024, 14 junio). Servicio Bloomberg Professional. Recuperado 8 de noviembre de 2025, de <https://www.bloomberg.com/latam/blog/venta-de-vehiculos-electricos-en-record-pero-en-riesgo-objetivos-climaticos-bloombergnef>

Furlanetto, J., de Lara, M. V. C., Simionato, M., Nascimento, V. d., & Telli, G. D. (2025). An Overview of Lithium-Ion Battery Recycling: A Comparison of Brazilian and

International Scenarios. *World Electric Vehicle Journal*, 16(7), 371.

<https://doi.org/10.3390/wevj16070371>

Zanoletti, A., Carena, E., Ferrara, C., & Bontempi, E. (2024). A Review of Lithium-Ion Battery Recycling: Technologies, Sustainability, and Open Issues. *Batteries*, 10(1), 38. <https://doi.org/10.3390/batteries10010038>

Kia EV Soul 400V 30kWh battery Pack. (s. f.). <https://www.eco-fleet.org/en/product/kia-ev-soul-400v-30kwh-battery-pack>

Global EV Outlook 2021 Accelerating ambitions despite the pandemic. (2020). *IEA*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ed5f4484-f556-4110-8c5c-4ede8bcba637/GlobalEVOutlook2021.pdf>

Huo, H., Xing, Y., Pecht, M., Züger, B. J., Khare, N., & Vezzini, A. (2017). Safety Requirements for Transportation of Lithium Batteries. *Energies*, 10(6), 793. <https://doi.org/10.3390/en10060793>

GUÍA PARA LA IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN DE RESIDUOS EN MÉXICO.

(2021). En *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado 8 de noviembre de 2025, de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/630446/Guia-SEMARNAT-07-029.pdf>

Baño-Saltos, Franklin, & Coral-Carillo, Katty. (2025). Economía Circular de Baterías de

Litio para Vehículos Eléctricos. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 19(1), e7152.

Epub 24 de enero de 2025. <https://doi.org/10.29166/revfig.v19i1.7152>

Denz, E., & Morales-Hernández, S. (2024). Reutilización de baterías de litio: un estudio integral sobre oportunidades, regulaciones y perspectivas en Alemania y Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 38(1), Pág. 19–32.

<https://doi.org/10.18845/tm.v38i1.7003>

González Martín, J. (2024). Planta de reciclaje de baterías de ion-litio.

Cámara Marítima del Ecuador - CAMAE. (2025, 11 septiembre). Cámara Marítima del Ecuador. <https://www.camae.org/>

ANEXOS

Introducción

Anexo A. Aplicación de la economía circular para una industria química sustentable

Aplicación de la economía circular para una industria química sustentable

Roberto Flores^[0000-0001-6908-9822] y Nadia Lara^[0000-0001-6167-9000]

Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería,
Cuernavaca, Morelos, 62209, México
roberto.flores@uaem.mx

Abstract. La industria química ha sido parte fundamental del desarrollo tecnológico de la humanidad; sin embargo, en las últimas décadas la sociedad percibe a esta industria como altamente contaminante y destructiva del medio ambiente. Es por eso, que la industria ha tomado medidas para un uso sustentable de los recursos humanos y materiales, de tal forma que los procesos tiendan a volverse amigables con el medio ambiente y económicamente rentables. La mayoría de las acciones tomadas se fundamentan de manera implícita y explícita en los principios de la economía circular tomando como referencia los principios de la química verde e ingeniería verde. En el presente trabajo se realiza un análisis de dichos principios, se establece como se relacionan entre sí, y se muestran varios casos reales donde se han tomado acciones aplicando dichos principios para que los procesos se vuelvan económica y ambientalmente sustentables, mejorando así la percepción de la sociedad con respecto a la industria química.

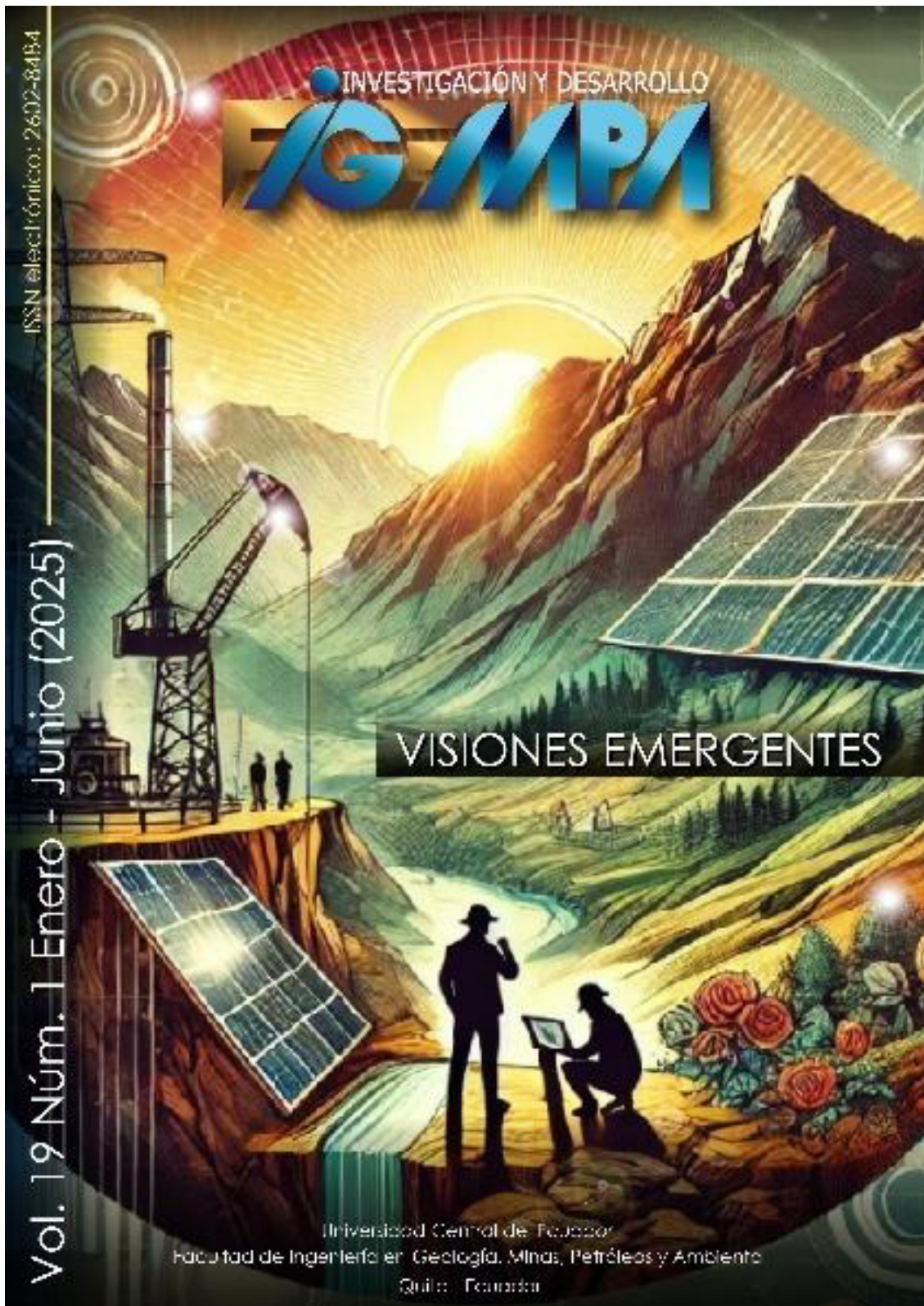
Keywords: Economía Circular, Industria Química, Química Verde, Ingeniería Verde.

1 Introducción

A través del desarrollo y fabricación de nuevos materiales y compuestos químicos, la industria química ha ayudado a la sociedad a encontrar soluciones. No obstante, para crear una sociedad fuerte y sostenible en el futuro cercano, es necesario un enfoque coordinado en toda la cadena de valor para lograr modelos comerciales que integren el uso eficiente de los recursos, las aplicaciones y su utilización posterior al término de su vida útil. Solo mejorar el costo y el rendimiento del material o proceso no solucionará los problemas sociales, de gestión de desechos y ambientales. Es necesario incluir las características y funcionalidades de los materiales, así como el reciclaje mecánico, químico y la recuperación de energía térmica. [1]. Es por eso que, mediante la coordinación y aplicación de los conceptos de la química verde, la ingeniería verde y la economía circular en el diseño y la operación de procesos químicos, esta industria tenderá a volverse más sustentable y amigable con el medio ambiente.

ISBN 978-607-99960-1-7

Anexo B. Economía Circular de baterías de litio para vehículos eléctricos



Anexo C. Gestión integral de las baterías fuera de uso de vehículos eléctricos en el marco de una estrategia de economía circular

ISBN 978-92-65-48884-4

SERIE

MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO 173

Gestión integral de las baterías fuera de uso de vehículos eléctricos en el marco de una estrategia de economía circular



Anexo D. La economía circular de las baterías de litio en España.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Facultad de Administración y Dirección de Empresas

La economía circular de las baterías de litio en España.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Administración y Dirección de Empresas

AUTOR/A: Giner Salcedo, Ricardo

Tutor/a: Herrero Blasco, Aurelio

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

Anexo E. Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en Chile

ISSN 2024-4541

SERIE

RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO 195

Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en Chile

Rafael Poveda Benítez



Marco Teórico

Anexo F. A comprehensive review on the recovery of lithium from lithium-ion batteries and spodumene



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Environmental Management

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jenvman



Review



A comprehensive review on the recovery of lithium from lithium-ion batteries and spodumene

Asad Ali ^{a,*}, Sadia Afrin ^{a,*}, Abdul Hannan Asif ^b, Yasir Arafat ^a, Muhammad Rizwan Azhar ^{a,*}

^a School of Engineering, Edith Cowan University, Joondalup, WA 6027, Australia
^b School of Molecular Sciences, The University of Western Australia, Perth, WA 6009, Australia

ARTICLE INFO

Keywords:
Lithium-ion batteries
Mining
Spodumene
Carbon footprint
Recycling
Lithium
Economic

ABSTRACT

The growing demand for Lithium-ion batteries (LIBs) for use within varied electronics and electric vehicles (EVs) has raised concerns about the sustainability of lithium extraction from natural deposits. This study provides a comprehensive comparison of lithium recovery through mining of spodumene deposits, and the recovery of lithium from used batteries via recycling, in terms of technological, economic and environmental impacts. Lithium recovered through mining and refining operations prompt significant land disruption and soil contamination and possess large ecological, water and carbon footprints. Contrastingly, lithium recovered through battery recycling undergoes successive heat and chemical treatments, leading to waste minimisation and a significant reduction in greenhouse gas (GHG) emissions, up to 17–61 % subject to the recycling techniques employed, without disrupting land or contaminating soil, and occurring at a significantly lower capital cost. Moreover, the water footprint of lithium recovery through recycling is also much lower in contrast with mining. Considering technological, economic and environmental factors, this review paper presents lithium recovered through the recycling of LIBs as a feasible option. Lastly, the study discusses the major challenges and future prospects for improving the feasibility and sustainability of lithium recovery.

1. Introduction

With rapid industrial development and a growing global population, energy demands have surged in recent decades, driving climate change and depleting fossil fuel resources. This has led to an urgent shift toward renewable energy supplies (Ding et al., 2024/06; Ma et al., 2024/09). LIBs, with their high energy density and long cycle life, have become crucial in the transition to clean energy solutions (Ma et al., 2024/09; Neumann et al., 2022; Roselin et al., 2019), whereby LIBs are crucial to decarbonising modern society. The global LIBs market size is projected to expand at a compound annual growth rate (CAGR) of 13 %, reaching USD\$ 87.5 billion by 2027 (Alipannah et al., 2021). Lithium is vital in LIBs, so lithium demand is increasing rapidly. It has been forecasted that lithium consumption will increase from 390 kilotons in 2020 to approximately 1,600 kilotons by 2026, underscoring its designation as the new “white gold” (Dugamin et al., 2021; Tang, 2024) as shown in Fig. 1(B) (Tabelin et al., 2021/03). Likewise, a growing number of batteries also increases the demand for other valuable minerals like Li, Co, Ni and Mn.

Lithium is highly valued for its electrochemical activity, boosting the highest redox potential and specific heat capacity among all metals (Swain, 2017/01). This makes it indispensable in a variety of sectors, including manufacturing (such as glass, ceramic, lubricants and polymers), healthcare (where it is used in treating manic depression and bipolar disorder), and nuclear technology (for tritium production). Lithium’s role has expanded to next-generation energy applications, especially in electric vehicles and energy storage systems. Among these uses, LIBs are by far the largest consumer of lithium, followed by its use in ceramics, glass and lubricants (Tabelin et al., 2021/03; Thurtell, 2024).

The growing demand for lithium is closely tied to global climate initiatives, such as the Kyoto Protocol, the 2015 Paris Agreement and to UN Sustainable Development Goals. These initiatives are pushing for the adoption of clean energy storage technologies in all sectors to help reduce CO₂ emissions and mitigate climate change (Ma et al., 2024/09; Tabelin et al., 2021/03). Since the early 2000s, lithium production has significantly increased to keep pace with the rising demand driven by the clean energy transition (Asif et al., 2024/02). The surplus market for LIBs, as shown in Fig. 1(B), has continued to boost global lithium production. For instance, lithium production jumped from 16.4 metric tons

* Corresponding author.
E-mail address: m.azhar@ecu.edu.au (M.R. Azhar).

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126512>
Received 2 March 2025; Received in revised form 19 June 2025; Accepted 6 July 2025
Available online 14 July 2025
0301-4797/© 2025 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Anexo G. Vehículos eléctricos: infraestructura para la recarga, componentes de electricidad

y electrónica, esquemas eléctricos, seguridad eléctrica para la electromovilidad

Paraninfo

VEHÍCULOS eléctricos

Jesús Trashorras Montecelos

Infraestructura para la recarga ⚡ Componentes de electricidad y electrónica
Esquemas eléctricos ⚡ Seguridad eléctrica para la electromovilidad



Anexo H. Movilidad urbana: autos eléctricos en Ecuador.


RicardoDavidGuanín
nSánchez_707884.pdf



FACULTAD DE COMUNICACIÓN Y ARTES AUDIOVISUALES

MOVILIDAD URBANA: AUTOS ELÉCTRICOS E HÍBRIDOS EN ECUADOR

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Licenciado en Periodismo

Profesora Guía
Ramón Alberto Murillo Ortiz

Autor
Ricardo David Guanín Sánchez

Año

2017

I

(Actos legislativos)

REGLAMENTOS

REGLAMENTO (UE) 2023/1542 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO

de 12 de julio de 2023

relativo a las pilas y baterías y sus residuos y por el que se modifican la Directiva 2008/98/CE y el Reglamento (UE) 2019/1020 y se deroga la Directiva 2006/66/CE

(Texto pertinente a efectos del EEE)

EL PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA,

Visto el Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea, y en particular su artículo 114 y su artículo 192, apartado 1, en relación con los artículos 54 a 76 del presente Reglamento,

Vista la propuesta de la Comisión Europea,

Prevía transmisión del proyecto de acto legislativo a los Parlamentos nacionales,

Visto el dictamen del Comité Económico y Social Europeo ⁽¹⁾,

Prevía consulta al Comité de las Regiones,

De conformidad con el procedimiento legislativo ordinario ⁽²⁾,

Considerando lo siguiente:

- (1) La Comunicación de la Comisión de 11 de diciembre de 2019 titulada «El Pacto Verde Europeo» (en lo sucesivo, «Pacto Verde Europeo») es una estrategia de crecimiento europea destinada a transformar la Unión en una sociedad equitativa y próspera, con una economía moderna, eficiente en el uso de los recursos y competitiva, en la que no haya emisiones netas de gases de efecto invernadero en 2050 y el crecimiento económico esté disociado del uso de los recursos. La transición del uso de combustibles fósiles en los vehículos a la electromovilidad es uno de los requisitos indispensables para alcanzar el objetivo de la neutralidad climática en 2050. Con vistas a que las políticas sobre productos de la Unión contribuyan a la reducción de las emisiones de carbono a escala mundial, es necesario garantizar que los productos comercializados y vendidos en la Unión se obtengan y fabriquen de un modo sostenible.
- (2) Las pilas o baterías son pues una importante fuente de energía y un factor clave para promover el desarrollo sostenible, la movilidad ecológica, la energía limpia y la neutralidad climática. Se prevé que la demanda de pilas y baterías aumente rápidamente en los próximos años, en especial para su empleo en vehículos eléctricos de transporte por carretera y medios de transporte ligeros que utilizan baterías de tracción, lo que va a hacer que el mercado de pilas y baterías sea cada vez más estratégico en el plano mundial. En el ámbito de la tecnología para pilas o baterías, se van a seguir realizando importantes avances científicos y técnicos. Habida cuenta de la importancia estratégica de las pilas y baterías, con el fin de ofrecer seguridad jurídica para todos los operadores implicados y evitar la discriminación, las barreras al comercio y el falseamiento del mercado de las pilas y baterías, se deben establecer normas sobre sostenibilidad, rendimiento, seguridad, recogida, reciclado y segunda vida de las pilas o baterías, así como sobre la información sobre las pilas y baterías para los usuarios finales y los operadores económicos. Debe crearse un marco regulador armonizado para gestionar el ciclo de vida íntegro de las pilas y baterías que se introducen en el mercado de la Unión.

⁽¹⁾ DO C 220 de 9.6.2021, p. 128.⁽²⁾ Posición del Parlamento Europeo de 14 de junio de 2023 (pendiente de publicación en el Diario Oficial) y Decisión del Consejo de 28 de junio de 2023.

[104th Congress Public Law 142]
[From the U.S. Government Printing Office]

<DOC>
[DOCID: f:publ142.104]

[[Page 110 STAT. 1329]]

Public Law 104-142
104th Congress

An Act

To phase out the use of mercury in batteries and provide for the efficient and cost-effective collection and recycling or proper disposal of used nickel cadmium batteries, small sealed lead-acid batteries, and certain other batteries, and for other purposes. <<NOTE: May 13, 1996 - [H.R. 2024]>>

Be it enacted by the Senate and House of Representatives of the United States of America in Congress <<NOTE: Mercury-Containing and Rechargeable Battery Management Act.>> assembled,

SECTION 1. <<NOTE: Environmental protection. 42 USC 14301 note.>> SHORT TITLE.

This Act may be cited as the ``Mercury-Containing and Rechargeable Battery Management Act''.

SEC. 2. <<NOTE: 42 USC 14301.>> FINDINGS.

The Congress finds that--

(1) it is in the public interest to--

(A) phase out the use of mercury in batteries and provide for the efficient and cost-effective collection and recycling or proper disposal of used nickel cadmium batteries, small sealed lead-acid batteries, and other regulated batteries; and

(B) educate the public concerning the collection, recycling, and proper disposal of such batteries;

(2) uniform national labeling requirements for regulated

LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE

Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988

TEXTO VIGENTE
Última reforma publicada DOF 24-01-2024

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Presidencia de la República.

MIGUEL DE LA MADRID H., Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, a sus habitantes, sabed:

Que el H. Congreso de la Unión, se ha servido dirigirme el siguiente

DECRETO

"El Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, Decreta:

LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE

TÍTULO PRIMERO Disposiciones Generales

CAPÍTULO I Normas Preliminares

ARTÍCULO 1o.- La presente Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para:

I.- Garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente sano para su desarrollo, salud y bienestar;

Fracción reformada DOF 05-11-2013

II.- Definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación;

III.- La preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente;

IV.- La preservación y protección de la biodiversidad, así como el establecimiento y administración de las áreas naturales protegidas;

**Ministerio del Ambiente,
Agua y Transición Ecológica**

**MINISTERIO DEL AMBIENTE, AGUA Y
TRANSICIÓN ECOLÓGICA**

**ACUERDO MINISTERIAL N°
MAATE-2022-067**

**EXPÍDESE EL INSTRUCTIVO PARA LA
APLICACIÓN DE LA RESPONSABILIDAD
EXTENDIDA EN LA GESTIÓN INTEGRAL
DE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS
Y ELECTRÓNICOS (RAEE) DE ORIGEN
DOMÉSTICO**

국내 리튬이온전지 재활용 산업현황

¹유경근

한국해양대학교 에너지자원공학과

Lithium Ion Battery Recycling Industry in South Korea

²Kyoungkeun Yoo

Department of Energy and Resources Engineering, National Korea Maritime and Ocean University

요 약

이 글은 현재 국내 리튬이온전지 상용 재활용 공정을 정리하고, 리튬이온전지 재활용 공정의 새로운 방향을 제시한다. 대표적인 리튬이온전지 재활용 업체인 (주)성일하이텍은 10년 이상 리튬이온전지 재활용 공정을 성공적으로 운영해 왔으며 최근 많은 재활용 업체 및 배터리 제조업체들이 새로운 재활용 공정을 제안하고 개발하고 있다. 새로운 재활용 공정에서는 리튬 가격의 급격한 상승으로 니켈과 코발트보다 먼저 리튬이 회수되고, 금속 황산염 용액을 최종 제품으로 배터리 제조업체에 공급하는 특징이 있다. 향후 대량으로 발생할 폐전지 처리를 위해 기존 공정이 개선될 필요가 있으며, 폐기된 자동차와 함께 유입되는 성분들과 리튬이온전지의 새로운 첨가제는 향후 리튬이온전지 재활용 공정에서 주요 공정효율 저감 요인이 될 수 있다.

주제어 : 리튬이온전지, 재활용, 니켈, 코발트

Abstract

The objective of this article is to summarize the commercial lithium ion battery (LIB) recycling processes in Korea and to suggest new direction for LIB recycling. A representative LIB recycler, SungEel Hitech Co. has successfully operated the LIB recycling process for over 10 years, and new recycling processes were recently proposed or developed by many recycling companies and battery manufacturers. In the new recycling processes, lithium is recovered before nickel and cobalt due to the rapid rise in lithium prices, and metal sulfate solution as final product of recycling process can be supplied to manufacturers. The main problem that the new recycling process will face is impurities, which will mainly come from end-of-life electric vehicles or new additives in LIB, although the conventional processes must be improved for mass processing.

Key words : lithium ion battery, recycling, nickel, cobalt

1. Introduction

In the 21th United Nations Framework Convention

on Climate Change Conference of the Parties (UNFCCC COP21), the Paris Agreement was adopted on 12 December 2015 and entered into force on 4 November 2016, and its

¹ Received : January 25, 2023 · Revised : February 9, 2023 · Accepted : February 10, 2023

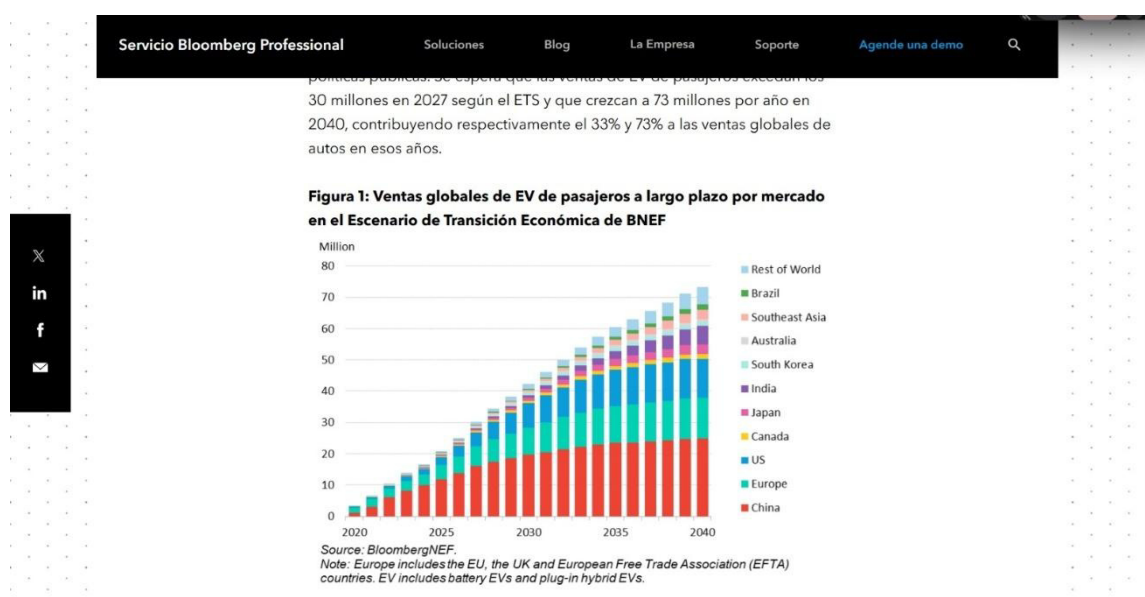
² Corresponding Author : Kyoungkeun Yoo (E-mail : kyoo@kmou.ac.kr)

Department of Energy and Resources Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727 Taejong-ro, Youngdo-gu, Busan 49112, Korea

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Voltage Classes for Electric Mobility





Review

An Overview of Lithium-Ion Battery Recycling: A Comparison of Brazilian and International Scenarios

Jean Furlanetto , Marcus V. C. de Lara , Murilo Simionato , Vagner do Nascimento and Giovani Dambros Telli * 

Área do Conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul 95070-560, Brazil; jfurlanetto2@ucs.br (J.F.); mvclara1@ucs.br (M.V.C.d.L.); msimionato@ucs.br (M.S.); vnsascimento@ucs.br (V.d.N.)

* Correspondence: gdtelli@ucs.br

Abstract

Purely electric and hybrid vehicles are emerging as the transport sector's response to meet climate goals, aiming to mitigate global warming. As the adoption of transport electrification increases, the importance of recycling components of the electric propulsion system at the end of their life grows, particularly the battery pack, which significantly contributes to the vehicle's final cost and generates environmental impacts and CO₂ during production. This work presents an overview of the recycling processes for lithium-ion automotive batteries, emphasizing the developing Brazilian scenario and more established international scenarios. In Brazil, companies and research centers are investing in recycling and using reused cathode material to manufacture new batteries through the hydrometallurgical process. On the international front, pyrometallurgy and physical recycling are being applied, and other methods, such as direct processes and biohydrometallurgy, are also under study. Regardless of the recycling method, the main challenge is scaling prototype processes to meet current and future battery demand, driven by the growth of electric and hybrid vehicles, pursuing both environmental gains through reduced mining and CO₂ emissions and economic viability to make recycling profitable and support global electrification.

Keywords: electric vehicles; batteries; lithium-ion; recycling



Academic Editor: Grzegorz Sierpiński

Received: 2 June 2025

Revised: 29 June 2025

Accepted: 1 July 2025

Published: 3 July 2025

Citation: Furlanetto, J.; de Lara, M.V.C.; Simionato, M.; Nascimento, V.d.; Telli, G.D. An Overview of Lithium-Ion Battery Recycling: A Comparison of Brazilian and International Scenarios. *World Electr. Veh. J.* **2025**, *16*, 371. <https://doi.org/10.3390/wevj16070371>

Copyright: © 2025 by the authors. Published by MDPI on behalf of the World Electric Vehicle Association. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Global sales of electric vehicles (EVs) powered solely by batteries (battery electric vehicles—BEVs) and plug-in hybrids (PHEVs) grew nearly eightfold from 2018 to 2024. Sales increased by 21% between 2023 and 2024. China, Europe, and the United States lead this market, with approximately 60% of BEVs and PHEVs registered in 2024 located in China. In 2023, the total number of BEVs and PHEVs worldwide surpassed 40 million [1]. With the entry of Chinese brands into Brazil, EV sales surged by 140% from 2023 to 2024, according to the Brazilian Electric Vehicle Association (ABVE). At this initial stage, PHEVs are more widely accepted than BEVs, as they can utilize the existing national infrastructure for biofuels, such as ethanol.

The increasing adoption of vehicle electrification is driven by government incentives [2], aimed at achieving climate goals of reducing greenhouse gas (GHG) emissions and global warming. China has announced that GHG emissions will gradually begin to decline in 2030, the United States plans for 50% of new vehicles sold to be zero-emission models by 2030, and in Europe, all vehicles should achieve zero emissions by 2035 [3].



Review

A Review of Lithium-Ion Battery Recycling: Technologies, Sustainability, and Open Issues

Alessandra Zanoletti ¹, Eleonora Carena ², Chiara Ferrara ^{2,3,*} and Elza Bontempi ^{1,3,*}

¹ INSTM and Chemistry for Technologies Laboratory, University of Brescia, Via Branze 38, 25123 Brescia, Italy; alessandra.zanoletti@unibs.it

² Dipartimento di Scienza dei Materiali, Università di Milano Bicocca, 20125 Milan, Italy; e.carena@campus.unimib.it

³ National Reference Center for Electrochemical Energy Storage (GISEL), Via G. Giusti 9, 50121 Firenze, Italy

* Correspondence: chiara.ferrara@unimib.it (C.F.); elza.bontempi@unibs.it (E.B.)

Abstract: Lithium-ion batteries (LIBs) are a widely used energy storage technology as they possess high energy density and are characterized by the reversible intercalation/deintercalation of Li ions between electrodes. The rapid development of LIBs has led to increased production efficiency and lower costs for manufacturers, resulting in a growing demand for batteries and their application across various industries, particularly in different types of vehicles. In order to meet the demand for LIBs while minimizing climate-impacting emissions, the reuse, recycling, and repurposing of LIBs is a critical step toward achieving a sustainable battery economy. This paper provides a comprehensive review of lithium-ion battery recycling, covering topics such as current recycling technologies, technological advancements, policy gaps, design strategies, funding for pilot projects, and a comprehensive strategy for battery recycling. Additionally, this paper emphasizes the challenges associated with developing LIB recycling and the opportunities arising from these challenges, such as the potential for innovation and the creation of a more sustainable and circular economy. The environmental implications of LIB recycling are also evaluated with methodologies able to provide a sustainability analysis of the selected technology. This paper aims to enhance the comprehension of these trade-offs and encourage discussion on determining the “best” recycling route when targets are in conflict.

Keywords: battery recycling; hydrometallurgy; pyrometallurgy; waste battery management; sustainability analysis (ESCAPE method)



Citation: Zanoletti, A.; Carena, E.; Ferrara, C.; Bontempi, E. A Review of Lithium-Ion Battery Recycling: Technologies, Sustainability, and Open Issues. *Batteries* **2024**, *10*, 38. <https://doi.org/10.3390/batteries10010038>

Academic Editor: Odne S. Burheim

Received: 20 November 2023

Revised: 10 January 2024

Accepted: 16 January 2024

Published: 22 January 2024



Copyright: © 2024 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Lithium-ion batteries (LIBs) have become increasingly significant as an energy storage technology since their introduction to the market in the early 1990s, owing to their high energy density [1]. Today, LIB technology is based on the so-called “intercalation chemistry”, the key to their success, with both the cathode and anode materials characterized by a peculiar structure allowing for the reversible intercalation/deintercalation of Li ions shuffling between the electrodes [2]. As a result, portable electronics like mobile phones, laptops, and tablets have undergone rapid development. Additionally, in the 2010s, the usage of lithium-ion technology extended to electric and hybrid cars, buses, and energy storage systems.

LIBs work through a topochemical cell reaction, where lithium ions migrate between positive and negative electrodes. This migration of lithium ions allows for the storage and release of energy within the battery. LIBs consist of several key components, including the cathode, anode, electrolyte, and separator (see Figure 1). The cathode is typically made of layered oxide materials, such as LiCoO₂, which undergo reversible intercalation and deintercalation of sodium ions during charge and discharge processes. The anode is usually made of graphite or other carbon-based materials, which can intercalate lithium ions during charging [3]. The electrolyte, which is typically a lithium salt dissolved in an organic

All products > Spare parts for electric vehicles > Battery systems > Battery packs



Kia EV Soul 400V 30kWh Battery Pack

Condition: New

€ 5000 EUR

Price excluding VAT

us USD eu EUR gb GBP ua UAH Other currencies

Quantity

Add to cart

Description and characteristics

Full EV battery system from OEM manufacturer

Anexo R. Global EV Outlook 2021

Global EV Outlook 2021
Accelerating ambitions despite the pandemic

iea ELECTRIC VEHICLES INITIATIVE CLEAN ENERGY MINISTERIAL

Anexo S. Safety Requirements for Transportation of Lithium Batteries

Review

Safety Requirements for Transportation of Lithium Batteries

Haibo Huo ^{1,2}, Yinjiao Xing ^{2,*}, Michael Pecht ², Benno J. Züger ³, Neeta Khare ³ and Andrea Vezzini ³

¹ College of Engineering Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; hbhao@shou.edu.cn

² Center for Advanced Life Cycle Engineering (CALCE), University of Maryland, College Park, MD 20742, USA; pecht@umd.edu

³ Bern Universities of Applied Sciences, BFH-CSEM Energy Storage Research Centre, Aarbergstrasse 5, 2560 Nidau, Switzerland; benno.zueger@bfh.ch (B.J.Z.); neeta.khare@bfh.ch (N.K.); andrea.vezzini@bfh.ch (A.V.)

* Correspondence: yxing3@umd.edu; Tel: +1-301-405-5316

Academic Editor: Peter J. S. Foot

Received: 24 January 2017; Accepted: 23 May 2017; Published: 9 June 2017

Abstract: The demand for battery-powered products, ranging from consumer goods to electric vehicles, keeps increasing. As a result, batteries are manufactured and shipped globally, and the safe and reliable transport of batteries from production sites to suppliers and consumers, as well as for disposal, must be guaranteed at all times. This is especially true of lithium batteries, which have been identified as dangerous goods when they are transported. This paper reviews the international and key national (U.S., Europe, China, South Korea, and Japan) air, road, rail, and sea transportation requirements for lithium batteries. This review is needed because transportation regulations are not consistent across countries and national regulations are not consistent with international regulations. Comparisons are thus provided to enable proper and cost-effective transportation; to aid in the testing, packaging, marking, labelling, and documentation required for safe and reliable lithium cell/battery transport; and to help in developing national and internal policies.

Keywords: regulations; transport; safety; lithium-ion batteries; lithium-metal batteries

1. Introduction

When transporting goods by any mode (air, sea, train, truck), an item is considered hazardous if it is explosive, corrosive, flammable, toxic, or radioactive [1]. Batteries, and in particular, lithium batteries (the term “lithium batteries” includes the family of batteries having lithium-based chemistries and various types of cathodes and electrolytes.) present corrosive, flammable, toxic and explosive characteristics. In fact, the improper care of batteries in transportation, including preconditioning, packaging, and handling, has already resulted in fires, explosions, and the release of hazardous chemicals into the environment [2].

Batteries are classified into primary and secondary forms. A primary (non-rechargeable) cell or battery cannot be recharged and is discarded after the charge is spent. Common examples of their use are in watches, calculators, cameras, smoke detectors and defibrillators. A rechargeable battery is an energy storage device that can be recharged and reused. The most common rechargeable batteries are lead-acid, nickel-cadmium (NiCd), nickel-metal hydride (NiMH), and lithium-ion (Li-ion) batteries.

For the purposes of the regulations concerning dangerous goods, lithium batteries are categorized into lithium-metal (Li-metal) and Li-ion batteries. Li-metal batteries are typically non-rechargeable batteries that have Li-metal and lithium compounds as an anode and cathode, respectively. Li-ion

EN MÉXICO



MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

GUÍA PARA LA IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN DE RESIDUOS EN MÉXICO



15 de abril de 2021

Anexo U. Economía Circular de Baterías de Litio para Vehículos Eléctricos

ARTÍCULOS

Economía Circular de Baterías de Litio para Vehículos Eléctricos

Circular Economy of Lithium Batteries for Electric Vehicles



Franklin Baño-Sallos¹, Kathy Card-Carillo²



fvbano@uce.edu.ec

¹ Universidad Central del Ecuador,
Quito, Ecuador;



kathy_card@halmal.com

² Universidad Internacional SEK,
Quito, Ecuador;

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

ISSN-e: 2602-8484

Periodicidad: Semestral

vol. 19, núm. 1, 2025

revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 03 septiembre 2024

Aprobación: 19 noviembre 2024

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v19i1.7152>

Autor de correspondencia:

fvbano@uce.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional [CC BY 4.0]

Agradecimientos

A la Universidad Central del Ecuador por las facilidades para desarrollar el presente artículo.

Nota del autor

Este trabajo fue presentado como póster científico en el Foro Regional de Divulgación Científica: Transición y Sostenibilidad Energética de 26 de julio de 2024.

Cómo citar:

Baño-Sallos, F. & Card-Carillo, K. (2025). Economía Circular de Baterías de Litio para Vehículos Eléctricos. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, 19(1), e7152. <https://doi.org/10.29166/revfig.v19i1.7152>

RESUMEN

La economía circular es un nuevo modelo de producción y consumo que garantiza sostenibilidad en el tiempo, en el sector automotriz existe una acelerada transición hacia el parque automotor eléctrico, el cual se sirve de las baterías como fuente de propulsión, estas baterías contienen metales valiosos como el litio (Li), el fosfato de hierro (FePO₄), cobalto (Co), níquel (Ni) entre otros, que luego de ser usadas en los vehículos eléctricos suponen una grave amenaza social y ambiental. La presente investigación, describe las posibilidades técnicas que tienen las baterías de litio usadas en los vehículos eléctricos cuando estas han alcanzado el final de su vida útil en el marco de un modelo de economía circular, a fin de recomendar una técnica de reciclaje acorde a la composición de las baterías más utilizadas en los vehículos eléctricos en Ecuador. La metodología adoptada fue del tipo descriptiva cualitativa, consistiendo en la búsqueda, evaluación y análisis de los hechos. Se concluye que existen cuatro posibilidades técnicas para las baterías usadas de los vehículos eléctricos, estas son: su reutilización para emplearlas en nuevas aplicaciones tanto residenciales como industriales; su reciclaje con tratamientos mecánicos para la recuperación de metales y materiales; el reciclaje con tratamientos químicos que se centra en metales como níquel - cobalto, y el reciclaje directo para su reutilización en baterías usadas. En Ecuador los vehículos eléctricos equipan en su gran mayoría baterías de litio con la tecnología LFP (Óxido de litio ferro fosfato), por lo que se pudo recomendar una técnica de reciclaje efectiva con tratamientos mecánicos para recuperar metales y materiales de este tipo de baterías.

Palabras claves: economía circular; baterías de litio; electromovilidad; reciclaje; sostenibilidad.

ABSTRACT

The circular economy represents a modern production and consumption paradigm aimed at ensuring long-term sustainability. In the automotive sector, there is a rapid shift towards electric vehicles powered by batteries. These batteries, containing valuable metals such as lithium (Li), iron phosphate (FePO₄), cobalt (Co), nickel (Ni), and others, become a significant social and environmental concern after their use in electric vehicles. This study explores the technical options for end-of-life lithium batteries from electric vehicles within a circular economy framework. It aims to recommend appropriate recycling techniques based on the compositions typically found in electric vehicle batteries in Ecuador. The methodology employed was qualitative descriptive, involving the search, evaluation, and analysis of factual information. After reaching the end of their useful life, the technical options for these batteries include reuse and recycling. Reuse involves assessing their condition for potential applications in residential and industrial sectors. Recycling aims to recover metals and materials through techniques such as mechanical and chemical treatments, including direct recycling. It is concluded that there are four technical possibilities for used electric vehicle batteries. In Ecuador, most electric vehicles are equipped with lithium batteries using LFP (lithium iron phosphate) technology, thus enabling the recommendation of an effective recycling technique to recover these high-value metals.

Keywords: circular economy; lithium batteries; electromobility; recycling; sustainability

Reutilización de baterías de litio: un estudio integral sobre oportunidades, regulaciones y perspectivas en Alemania y Costa Rica

Reuse of Lithium Batteries: A Comprehensive Study on Opportunities, Regulations, and Perspectives In Germany and Costa Rica

Emily Denz¹, Sergio Morales-Hernández²

Fecha de recepción: 18 de enero, 2024
Fecha de aprobación: 7 de mayo, 2024

Denz, E; Morales-Hernández, S. Reutilización de baterías de litio: un estudio integral sobre oportunidades, regulaciones y perspectivas en Alemania y Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, Nº 1. Enero-Marzo, 2025. Pág. 19-32.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i1.7003>

1. Estudiante de Maestría en Energías Renovables. HTW Berlin – University of Applied Sciences, Alemania.
 emilydenz@aol.com
 <https://orcid.org/0009-0004-0790-0024>
2. Escuela de Ingeniería en Electrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.
 smorales@itcc.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0003-2136-0392>

VNIVERSIDAD D SALAMANCA

**FACULTAD D CIENCIAS QVÍMICAS
GRADº EN INGENIERÍA QVÍMICA**



PLANTA DE RECICLAJE DE BATERÍAS DE ION LITIO

JUAN GONZÁLEZ MARTÍN

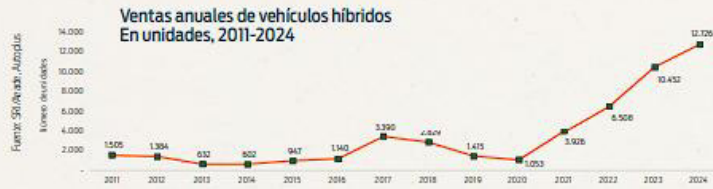
Anexo X. Cámara Marítima del Ecuador





Anexo z. Anuario AEADE venta de vehículos híbridos 2011 - 2024

Ventas anuales de vehículos híbridos



- En 2024 se vendieron 12.726 vehículos híbridos, lo que representa un crecimiento del 21,8 % con respecto al 2023.
- El segmento con mayores ventas fue el SUV, con una participación del 78,0 %.

Ventas de vehículos híbridos según su tecnología. En unidades / % de participación 2019-2024

TECNOLOGÍA	HEV	% Participación	PHEV	% Participación	EREV	% Participación	Total
2019	1.389	98,2%	26	1,8%	-	0,0%	1.415
2020	1.010	95,9%	43	4,1%	-	0,0%	1.053
2021	3.885	99,0%	41	1,0%	-	0,0%	3.926
2022	6.350	97,6%	158	2,4%	-	0,0%	6.508
2023	10.090	96,5%	362	3,5%	-	0,0%	10.452
2024	11.834	93,0%	460	3,6%	432	3,4%	12.726

Fuente: SIO/Anuario Autóviles

Ventas de vehículos híbridos en principales provincias. En unidades / % de participación 2019-2024

AÑO	PICHINCHA	% participación	GUAYAS	% participación	AZUAY	% participación	TUNGURAHUA	% participación	MANABI	% participación	OTRAS PROVINCIAS	% participación	TOTAL
2019	670	48,0%	435	30,7%	62	4,4%	62	4,4%	30	2,1%	147	10,4%	1.415
2020	486	46,2%	341	32,4%	74	7,0%	44	4,2%	27	2,6%	81	7,7%	1.053
2021	1.892	48,2%	923	23,5%	355	9,0%	187	4,8%	132	3,4%	437	11,1%	3.926
2022	2.826	43,4%	1.898	29,2%	720	11,1%	331	5,1%	234	3,6%	499	7,7%	6.508
2023	5.396	51,6%	2.655	25,4%	1.069	10,2%	535	5,1%	394	3,0%	483	4,6%	10.452
2024	6.772	53,2%	3.500	27,5%	1.012	8,0%	538	4,2%	366	2,9%	538	4,2%	12.726

Fuente: SIO/Anuario Autóviles

Ventas de vehículos híbridos por marca. En unidades, 2019 - 2024

MARCA	2019	% participación	2020	% participación	2021	% participación	2022	% participación	2023	% participación	2024	% participación
SUZUKI	-	0,0%	-	0,0%	1	0,0%	5	0,0%	2.492	23,8%	3.442	27,0%
CHERY	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	3	0,0%	1.459	14,0%	2.023	15,9%
TOYOTA	336	23,7%	505	48,0%	1.362	34,7%	2.098	32,2%	1.977	18,9%	1.722	13,5%
MAZDA	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	603	9,3%	774	7,4%	804	6,3%
DONGFENG	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	5	0,0%	591	4,6%
KIA	484	34,2%	342	32,5%	2.140	54,5%	2.288	35,2%	1.062	10,2%	554	4,4%
GMW	-	0,0%	-	0,0%	1	0,0%	47	0,7%	539	5,2%	550	4,3%
NISSAN	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	3	0,0%	431	3,4%
GEELY	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	1	0,0%	283	2,7%	380	3,0%
CITROEN	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	61	0,6%	341	2,7%
RAM	9	0,6%	17	1,6%	18	0,5%	497	7,6%	436	4,1%	287	2,3%
MERCEDES BENZ	-	0,0%	8	0,8%	80	2,0%	184	2,8%	265	2,5%	270	2,2%
SUBARU	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	258	2,0%
BMW	7	0,5%	39	3,7%	35	0,9%	107	1,6%	109	1,0%	200	1,6%
FORD	-	0,0%	-	0,0%	1	0,0%	2	0,0%	229	2,2%	195	1,5%
BYD	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	2	0,0%	-	0,0%	169	1,3%
DFSK	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	3	0,0%	134	1,0%
HYUNDAI	537	38,0%	93	8,8%	709	17,9%	463	7,1%	373	3,6%	109	0,9%
LAND ROVER	-	0,0%	-	0,0%	22	0,6%	26	0,4%	68	0,7%	80	0,6%
AUDI	23	1,6%	44	4,2%	48	1,2%	83	1,3%	111	1,1%	70	0,6%
OTRAS	70	1,3%	5	0,5%	70	1,8%	89	1,4%	123	1,2%	107	0,8%
TOTAL	1.415	100,0%	1.053	100,0%	3.026	100,0%	6.508	100,0%	10.452	100,0%	12.726	100,0%

Fuente: SIO/Anuario Autóviles

Nota: A partir de 2024, los vehículos eléctricos de rango extendido (EREV) se clasifican como vehículos híbridos, de acuerdo con la definición adoptada en la Ley Llérente de Competitividad Energética.

Anexo AA. Anuario AEADE venta de vehículos eléctricos 2015 - 2024



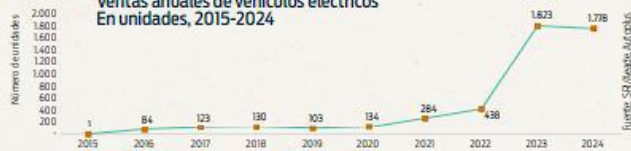
Ventas anuales de vehículos eléctricos

Ventas de vehículos eléctricos según su tecnología.
En unidades / % de participación 2019-2024

AÑO	BEV	% participación	EREV	% participación	TOTAL
2019	103	100,0%	-	0,0%	103
2020	134	100,0%	-	0,0%	134
2021	284	100,0%	-	0,0%	284
2022	438	99,5%	2	0,5%	438
2023	768	42,1%	1.055	57,9%	1.823
2024	1.424	80,7%	354	19,3%	1.778

Fuente: SRI/Aeade, Autoplus

Ventas anuales de vehículos eléctricos
En unidades, 2015-2024



- La venta de vehículos eléctricos en 2024 alcanzó las 1.778 unidades, lo que representa un decremento del 2,5 % con respecto al 2023.
- El segmento más vendido fue el de SUV, con una participación del 74,9 %.

Ventas de vehículos eléctricos en principales provincias. En unidades / % de participación 2019-2024

AÑO	PICHINCHA	% participación	GUAYAS	% participación	AZUAY	% participación	MANABÍ	% participación	TUNGURAHUA	% participación	OTRAS PROVINCIAS	% participación	TOTAL
2019	12	11,7%	74	71,8%	1	1,0%	0	0,0%	5	4,9%	11	10,7%	103
2020	28	20,9%	40	29,9%	47	35,1%	1	0,7%	4	3,0%	5	3,7%	134
2021	170	59,9%	81	28,5%	22	7,7%	3	1,1%	6	2,1%	2	0,7%	284
2022	216	49,3%	174	39,7%	31	7,1%	6	1,4%	3	0,7%	8	1,8%	438
2023	104	5,7%	452	24,8%	89	4,9%	42	2,3%	41	2,2%	75	4,1%	1.823
2024	1.242	69,9%	343	19,3%	84	4,7%	38	2,1%	33	1,9%	38	2,1%	1.778

Fuente: SRI/Aeade, Autoplus

Ventas de vehículos eléctricos. En unidades, 2019-2024

MARCA	2019	% participación	2020	% participación	2021	% participación	2022	% participación	2023	% participación	2024	% participación
BYD	21	20,4%	41	30,6%	49	17,3%	45	10,3%	237	13,0%	688	38,3%
NISSAN	-	0,0%	0	0,0%	15	5,3%	3	0,7%	1.056	57,9%	352	19,8%
WIA	23	22,3%	3	2,2%	64	22,5%	8	1,8%	60	3,3%	185	10,4%
LEAPMOTOR	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	24	1,3%	109	6,1%
DONGFENG	-	0,0%	5	3,7%	28	9,9%	83	18,9%	69	3,8%	46	2,6%
MERCEDES BENZ	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	19	4,3%	40	2,2%	46	2,6%
NETA	-	0,0%	-	0,0%	2	0,7%	1	0,2%	4	0,2%	43	2,4%
ALDI	-	0,0%	-	0,0%	20	7,0%	61	13,9%	69	3,8%	39	2,2%
BMW	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	30	7,3%	32	1,8%	37	2,1%
CHEVROLET	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	1	0,2%	26	1,4%	30	1,7%
DFSK	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	3	0,7%	24	1,3%	29	1,6%
SKYWELL	-	0,0%	-	0,0%	7	2,5%	81	18,5%	56	3,1%	27	1,5%
MG	-	0,0%	1	0,7%	4	1,4%	4	0,9%	44	2,4%	24	1,3%
KEYTON	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	3	0,2%	18	1,0%
CHERY	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	1	0,1%	13	0,7%
JAC	-	0,0%	-	0,0%	3	1,1%	12	2,7%	26	1,4%	12	0,7%
RIDDARA	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	2	0,1%	9	0,5%
URVANE MOBILITY	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	9	0,5%
SHINERAY	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	2	0,1%	8	0,4%
AVANTIER	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	8	0,4%
OTRAS	99	57,3%	75	56,0%	92	32,4%	107	24,4%	48	2,6%	53	3,0%
TOTAL	103	100,0%	134	100,0%	284	100,0%	438	100,0%	1.823	100,0%	1.778	100,0%

Fuente: SRI/Aeade, Autoplus

Nota: A partir de abril de 2024, los vehículos eléctricos de rango extendido (EREV) deben clasificarse como vehículos híbridos de acuerdo a la definición adoptada en la Ley Urgente de Competitividad Energética.