



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Revisión de la factibilidad de una segunda vida sostenible para baterías de vehículos
eléctricos**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Autor:

Jorge Gustavo Aguilar Lara

Director:

Ing. Gustavo Álvarez-Coello, Mgtr.

CUENCA, ECUADOR

2025

DEDICATORIA

A mi madre amada, Mary Doroty Lara Carrión, por su amor incondicional, por haber sido un pilar fundamental de mi vida.

A mi pareja amada, Nohemí Da Silva Barrezuela, por acompañarme en todos los momentos y brindarme amor y apoyo incondicional

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este artículo.

A mi madre, por ser mi apoyo incondicional, gracias por siempre estar cuando lo necesitaba y por haberme brindado la oportunidad de realizar esta carrera universitaria.

A mi pareja, por ser guía y apoyo fundamental durante este trayecto.

A mi tutor, Ing. Gustavo Álvarez-Coello, Mgtr., por su guía, compromiso y confianza durante este trayecto.

REVISIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE UNA SEGUNDA VIDA SOSTENIBLE PARA BATERÍAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

El presente artículo examina la factibilidad de otorgar una segunda vida útil a las baterías de ion-litio (Li-ion) provenientes de vehículos eléctricos, enfocándose en su reutilización para aplicaciones estacionarias de almacenamiento energético. A partir de una revisión integral, se abordan aspectos técnicos, económicos y ambientales relacionados con el reacondicionamiento de estas baterías. Desde el punto de vista técnico, se analiza la viabilidad de integrar baterías con una capacidad residual del 70–80 %, considerando los requerimientos de control, seguridad y compatibilidad con sistemas estacionarios. En términos económicos, se destaca que la segunda vida puede resultar costo-efectiva en comparación con nuevas soluciones, siempre que se optimicen los procesos logísticos y de estandarización. Ambientalmente, se identifica un importante potencial de mitigación de residuos y reducción del impacto asociado a la extracción de materias primas críticas. No obstante, en Ecuador, se reconocen barreras como la falta de normativas, la trazabilidad del uso previo y los desafíos tecnológicos relacionados con la heterogeneidad de las baterías. El estudio concluye que, si bien existen retos significativos, la implementación de sistemas de segunda vida representa una oportunidad estratégica para impulsar la economía circular y fortalecer la sostenibilidad del sector energético.

Palabras clave: Segunda vida, baterías de ion-litio, vehículos eléctricos, almacenamiento energético, economía circular

FEASIBILITY REVIEW OF A SUSTAINABLE SECOND LIFE FOR ELECTRIC VEHICLE BATTERIES

This article examines the feasibility of granting a second life to lithium ion batteries (Li-ion) retired from electric vehicles (EV), focusing on their reuse in stationary energy storage applications. Through a comprehensive review, the study addresses technical, economic, and environmental aspects associated with the repurposing process. From a technical perspective, it evaluates the integration of batteries that retain 70 to 80 % of their original capacity, considering the requirements for control, safety, and compatibility with stationary systems. Economically, the second-life approach is shown to be potentially cost-effective when logistics and standardization processes are optimized. Environmentally, significant benefits are identified in terms of waste reduction and decreased demand for critical raw materials. However, in Ecuador, several challenges remain, including regulatory gaps, limited traceability of prior battery use, and technological issues stemming from the heterogeneity of battery systems. The study concludes that, despite existing barriers, battery applications in second life represent a strategic opportunity to promote circular economy practices and improve sustainability in the energy sector.

Keywords: Second life, lithium-ion batteries, electric vehicles, energy storage, circular economy

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Resumen	III
Abstract	IV
Índice de Contenidos	V
Índice de Figuras	VI
Índice de Tablas	VII
1. Introducción	1
2. Metodología	2
2.1. Criterios de inclusión y exclusión	3
2.2. Relación con los objetivos del estudio	3
3. Resultados	4
3.1. Reutilización de baterías	4
3.2. Impactos	5
3.2.1. Impacto ambiental	5
3.2.2. Impacto económico	5
4. Desarrollo nacional	6
5. Conclusiones	7
Referencias	7

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Ventas de EV hasta Febrero de 2025 [9].	2
2.	Comparativa de las capacidades de las baterías de vehículos eléctricos [19]	4
3.	Configuración de alimentación de laboratorio con paquetes de baterías [22].	4
4.	Reutilización de baterías, adaptada de [24].	5
5.	Comparación del precio de venta entre baterías nuevas y SLB [20]	6
6.	Venta de vehículos eléctricos febrero 2025, [34]	6

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Posibles contaminantes liberados por baterías ion-litio y sus rutas de emisiones [13]	3
II.	Criterios de selección de la información	3

Revisión de la factibilidad de una segunda vida sostenible para baterías de vehículos eléctricos.

Jorge Gustavo Aguilar-Lara
Gustavo Álvarez-Coello
Andrés López-Hidalgo
Facultad de Ciencia y Tecnología
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador
jorge.aguilar@es.uazuay.edu.ec

Resumen—El presente artículo examina la factibilidad de otorgar una segunda vida útil a las baterías de ion-litio (Li-ion) provenientes de vehículos eléctricos, enfocándose en su reutilización para aplicaciones estacionarias de almacenamiento energético. A partir de una revisión integral, se abordan aspectos técnicos, económicos y ambientales relacionados con el reacondicionamiento de estas baterías. Desde el punto de vista técnico, se analiza la viabilidad de integrar baterías con una capacidad residual del 70–80 %, considerando los requerimientos de control, seguridad y compatibilidad con sistemas estacionarios. En términos económicos, se destaca que la segunda vida puede resultar costo-efectiva en comparación con nuevas soluciones, siempre que se optimicen los procesos logísticos y de estandarización. Ambientalmente, se identifica un importante potencial de mitigación de residuos y reducción del impacto asociado a la extracción de materias primas críticas. No obstante, en Ecuador, se reconocen barreras como la falta de normativas, la trazabilidad del uso previo y los desafíos tecnológicos relacionados con la heterogeneidad de las baterías. El estudio concluye que, si bien existen retos significativos, la implementación de sistemas de segunda vida representa una oportunidad estratégica para impulsar la economía circular y fortalecer la sostenibilidad del sector energético.

Palabras clave—Segunda vida, baterías de ion-litio, vehículos eléctricos, almacenamiento energético, economía circular

1. INTRODUCCIÓN

Durante décadas, los vehículos de combustión interna han dominado el mercado automotriz debido a su elevada autonomía y rendimiento a costos accesibles. Esta situación impulsó una producción masiva, especialmente para el uso privado. Sin embargo, la preocupación creciente por la contaminación ambiental ha generado una transición hacia alternativas más sostenibles, como los vehículos eléctricos (VE). Aunque los primeros automóviles eléctricos surgieron a finales del siglo XIX, su limitada autonomía impidió su consolidación. No fue hasta 1996 que General Motors lanzó el EV1, marcando un hito en el desarrollo de esta tecnología [1].

Inicialmente, ni los gobiernos ni las empresas automotrices brindaron suficiente apoyo a los VE. No obstante, en la actualidad, esta tecnología busca transformar el sistema de transporte bajo un modelo de movilidad sostenible [2]. En España, por ejemplo, se han implementado incentivos económicos para la sustitución de vehículos altamente contaminantes y

la expansión de la infraestructura de carga. Se estima que para 2030 habrá entre 1 y 2.5 millones de VE en circulación, representando el 10 % del parque automotor, con una meta de electrificación total en los siguientes 20 años [1].

El sector transporte es uno de los principales contribuyentes a las emisiones globales de CO₂. Un estudio de 2020 reveló que este sector representa el 21 % del total de emisiones, de las cuales el transporte por carretera contribuye con el 15 %. Dentro de esta categoría, los vehículos privados y autobuses generan el 45.1 % de las emisiones, mientras que los camiones de carga aportan el 29.4 % [3].

Estos datos resaltan la urgencia de adoptar soluciones más ecológicas, dado que el cambio climático está impulsado en gran medida por actividades antropogénicas, con la industria automotriz como uno de sus principales responsables [4], [5].

Los VE operan mediante motores eléctricos alimentados por sistemas de almacenamiento energético, los cuales incluyen baterías de diversas composiciones químicas, celdas de hidrógeno o conexiones directas a la red eléctrica. Particularmente, las baterías constituyen un componente esencial al encargarse de almacenar y suministrar la energía requerida para la propulsión. Estas se conforman por electrodos inmersos en un electrolito, el cual facilita el intercambio iónico necesario para la generación de corriente eléctrica. En la actualidad, el mercado de baterías abarca varias tecnologías relevantes, entre las que se incluyen las baterías de estado sólido, de sulfuro, de ion-litio sin cobalto, de ion-sodio y de aire-hierro [6]. No obstante, las baterías de iones de litio continúan siendo la tecnología dominante debido a su elevada densidad energética, alta eficiencia y prolongada vida útil [7].

El auge de los VE ha sido notable en los últimos años. En 2022, las ventas globales aumentaron un 55 % en comparación con el año anterior, alcanzando 10.5 millones de unidades, incluyendo tanto vehículos eléctricos de batería (BEV) como híbridos enchufables (PHEV) [8].

Hasta la fecha, los VE continúan ganando terreno en los mercados más desarrollados del mundo, como se muestra en la figura 1.

China encabeza el ranking mundial en cuanto a la cantidad de vehículos eléctricos en circulación, con un total estimado de

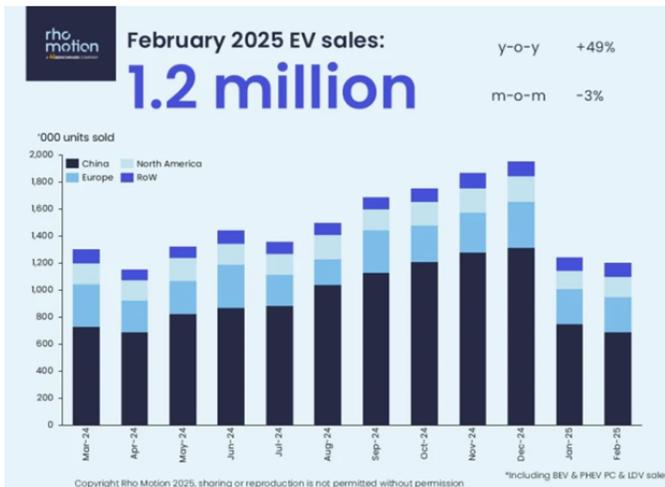


Figura 1. Ventas de EV hasta Febrero de 2025 [9].

7 millones de unidades, tras registrar un incremento superior a los 3 millones durante el último año. En segundo lugar, se encuentra Estados Unidos, con poco más de 2 millones de vehículos electrificados y un crecimiento anual aproximado de 286,000 nuevas unidades. Alemania ocupa la tercera posición a nivel global y la primera dentro del continente europeo, con un parque vehicular eléctrico que asciende a aproximadamente 1.3 millones de unidades [10].

En el primer semestre de 2024, el parque de vehículos eléctricos livianos (PHEV y BEV) en América Latina y el Caribe alcanzó aproximadamente las 249,079 unidades. En los últimos cinco años, esta cifra se ha multiplicado por más de catorce, con un crecimiento de aproximadamente 17 veces en el segmento de PHEV y de 12 veces en el de vehículos totalmente eléctricos. Los países con mayor número de vehículos eléctricos livianos en circulación son Brasil, México, Costa Rica, Colombia y Chile, siendo Brasil el líder regional con 152,493 unidades registradas. No obstante, en términos per cápita, Costa Rica encabeza el ranking con aproximadamente 34.3 vehículos electrificados por cada 10,000 habitantes, seguida por Uruguay con 17.4 y Brasil con 7 por cada 10,000. En cuanto a la movilidad eléctrica en el transporte público, América Latina y el Caribe también presentan avances significativos. Chile se posiciona como el segundo país a nivel mundial con el mayor número de buses eléctricos en operación. Durante los últimos cuatro años, el parque total de autobuses eléctricos en la región —incluidos los trolebuses— ha experimentado un crecimiento del 160 %, destacándose particularmente los autobuses eléctricos a batería, cuyo número se ha incrementado en un 386 % en el mismo período [11].

En consecuencia, actualmente existen aproximadamente 26 millones de VE en circulación, y se proyecta que esta cifra aumentará a 100 millones para 2030 [12].

No obstante, las baterías contienen compuestos químicos y metales pesados tal como se observa en la tabla I, que en caso de incendio o degradación, pueden contaminar suelos y cuerpos de agua [13].

La producción y disposición de baterías plantea desafíos ambientales significativos. La extracción de litio, esencial para su fabricación, conlleva un alto consumo de agua: en Chile, la producción de este material requiere 21 millones de litros de agua al día, y la obtención de una sola tonelada de litio consume 2.2 millones de litros [14]. Estos riesgos ambientales se incrementan con el crecimiento de la demanda de VE.

Adicionalmente, las baterías de iones de litio presentan riesgos de incendios, generando emisiones de gases tóxicos y explosivos conocidos como “vapor blanco”. Estos eventos pueden ocurrir durante el transporte, almacenamiento, reciclaje o eliminación de las baterías, con la posibilidad de que las sustancias liberadas se dispersen en el ambiente y generen impactos adversos en ecosistemas naturales [13].

Si no se implementan medidas sostenibles para la gestión de baterías, el impacto ambiental del parque automotor seguirá en aumento. Se estima que, sin estrategias adecuadas, la contaminación generada por los vehículos podría incrementarse hasta un 40 % en 2030 y un 60 % en 2050 [15], [16].

Por ello, es fundamental explorar soluciones que permitan extender la vida útil de las baterías de VE, evaluando su factibilidad y aplicaciones en una segunda vida. Este estudio recopila información relevante hasta junio de 2025 para analizar el potencial de reutilización de estas baterías en distintos sectores y su impacto en la sostenibilidad ambiental.

2. METODOLOGÍA

Este estudio se llevó a cabo mediante una revisión bibliográfica sistemática con el objetivo de analizar la reutilización de baterías de VE en su segunda vida, centrándose en sus aplicaciones, impactos clave y el desarrollo a nivel nacional. Para ello, se empleó la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), que proporciona un marco estructurado para garantizar la transparencia y rigurosidad en la selección y análisis de la literatura científica [17]. Esencialmente, la metodología PRISMA, es una lista de comprobación, en donde se enlistan los requisitos que debe cumplir una revisión sistemática para presentar la información.

La metodología PRISMA se implementó siguiendo cuatro fases:

1. Identificación: Se empleó palabras clave y operadores booleanos para optimizar la obtención de información relevante.

2. Selección: Se aplicaron criterios de inclusión y exclusión para filtrar los estudios más pertinentes.

3. Elegibilidad: Se llevó a cabo una revisión crítica de los documentos preseleccionados, evaluando su calidad metodológica y relevancia para los objetivos del estudio.

4. Inclusión: Finalmente, se seleccionaron 36 fuentes que cumplían con los criterios establecidos y que aportaban información clave sobre los usos, impactos y desarrollo de la reutilización de baterías de VE.

TABLA I
POSIBLES CONTAMINANTES LIBERADOS POR BATERÍAS ION-LITIO Y SUS RUTAS DE EMISIONES [13]

Componente de la batería	Fuente del contaminante	Contaminante específico	Vía	Ambiente afectado	Peligro
Carcasa del paquete	Acero	i.e Fe, Al, Ni, Cr otro	Lixiviación	Tierra Fuentes hídricas	Tóxico en exceso para la vida silvestre Acumulación en plantas y cultivos
Carcasa del módulo	Acero Aluminio	Fe, Ni, Cr u otros Al	Lixiviación	Tierra Fuentes hídricas	Tóxico para la vida silvestre en exceso Acumulación en plantas y cultivos
Embalaje de celdas	Aluminio Lámina de aluminio Polímeros	Al Al, Ni, PP PET, PP	Lixiviación Incendio	Fuentes hídricas Aire	Tóxico para la vida silvestre en exceso Acumulación en plantas y cultivos
Cátodo	Al LMO = Li/Mn/O LFP = Li/Fe/PO NMC = Li/Ni/Mn/Co/O LCO = Li/Co/O NCA = Li/Ni/Co/Al/O	Al LMO LFP NMC LCO NCA	Lixiviación Polvo	Tierra aire	Tóxico para varios organismos Tóxico para humanos si se inhala Tóxico para la vida silvestre en exceso
Ánodo	Cobre Grafito	Cu C(nanomaterial) LTO= Li/Ti/O	Lixiviación Incendio	Tierra Fuentes hídricas Aire	Tóxico para la vida silvestre en exceso Acumulación en plantas y cultivos Tóxico para humanos si se inhala
Separador	Polímeros	Poliétileno(PE) Polipropileno(PP)	Lixiviación Incendio Polvo	Tierra Fuentes hídricas Aire	Acumulación de microplásticos
Aglutinante	PVDF	HF	Incendio	Aire	Tóxico para humanos si se inhala Tóxico para humanos por contacto
Electrolito	Carbonato de etileno Carbonato de propileno Carbonato de dimetilo Carbonato de dietilo Sales:LiPF ₆ Aditivos	HF SO ₂ HCN H ₂ CO NO _x COS HCL Líquidos iónicos Aditivos desconocidos productos de degradación	Fuego Vapores Gases Lixiviación	Aire Fuentes hídricas Suelos	Tóxico para humanos si se inhala Tóxico para humanos por contacto Tóxico para la vida silvestre Acumulación en suelos

2.1. Criterios de inclusión y exclusión

Para garantizar la pertinencia de los artículos analizados en función de los objetivos del estudio, se aplicaron los siguientes criterios:

Rango temporal: Se consideraron publicaciones entre 2007 y 2024, permitiendo una visión amplia de la evolución del tema.

Palabras clave: Se emplearon términos como *Second-life*, *EV battery*, *environmental impacts*, *economic impacts*.

Idioma: Se seleccionaron artículos en español, inglés y portugués.

Accesibilidad: Se incluyeron únicamente estudios disponibles en texto completo de manera online.

Relevancia temática: Se excluyeron artículos que trataban exclusivamente sobre baterías de vehículos de combustión interna, así como aquellos que no abordaban alguno de los tres ejes del estudio: aplicaciones, impactos y desarrollo nacional.

La información empleada es principalmente extraída de artículos científicos, videos documentales y datos de empresas automotrices. En el cuadro II se da a conocer sobre las fuentes consultadas.

TABLA II
CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Artículo	Criterio de selección
Idioma	Español, inglés y portugués
Fuentes	<i>Science Direct</i> , <i>Google Scholar</i> y <i>Researchgate</i>
Año de publicación	2007-2024
Cadena de búsqueda	" <i>Second life EV batteries</i> " AND " <i>Environmental impacts</i> " AND " <i>Economic impacts</i> "

2.2. Relación con los objetivos del estudio

Para cumplir con los objetivos del estudio, se diseñó un proceso de selección y análisis de información que permitiera abordar cada uno de los aspectos clave relacionados con la reutilización de baterías de vehículos eléctricos en su segunda vida. A continuación, se detalla cómo se llevó a cabo la recopilación y análisis de la información en función de los tres objetivos planteados:

Identificación de los principales usos y aplicaciones de las baterías de VE en una segunda vida

Uno de los enfoques centrales del estudio fue determinar las aplicaciones más relevantes de las baterías de vehículos eléctricos una vez que su rendimiento ha disminuido para su uso en automóviles, pero aún conservan una capacidad significativa de almacenamiento energético. Para ello:

Se recopilieron estudios que documentan casos de aplicación real de baterías de segunda vida en diferentes sectores. Como ejemplo, en China, se han realizado aplicaciones en edificios. [18]

Se establecieron comparaciones entre tecnologías para evaluar qué tipos de baterías (por ejemplo, de iones de litio) presentan mejor rendimiento en cada aplicación, tal como se observa en la figura 2.

Determinación de los impactos clave de la reutilización de baterías de VE

Para evaluar los impactos de la reutilización de baterías, se realizó un análisis detallado de dos áreas principales: ambiental y económica.

- **Impacto ambiental:**

Se analizaron investigaciones sobre la huella de carbono de las baterías de segunda vida en comparación con las baterías nuevas [20].

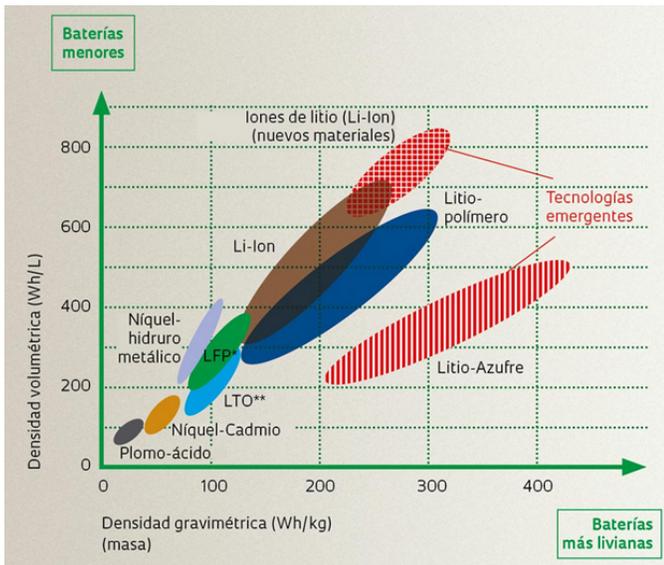


Figura 2. Comparativa de las capacidades de las baterías de vehículos eléctricos [19]

Se evaluó el impacto en la gestión de desechos peligrosos, considerando la disminución de la contaminación generada por baterías descartadas.

- Impacto económico:

Se estudiaron los beneficios económicos de las baterías reutilizadas en comparación con las nuevas.

Se analizaron modelos de negocio emergentes relacionados con la comercialización de baterías de segunda vida. Las baterías readequadas para aplicaciones de segunda vida pueden llegar a costar la mitad del valor de una batería nueva [20].

Análisis del desarrollo nacional de la reutilización de baterías de VE

Para comprender el estado actual y las perspectivas de la reutilización de baterías de VE en el contexto nacional, se llevó a cabo una revisión de estudios, reportes gubernamentales y proyectos en curso.

- Regulaciones y normativas:

Se identificaron las leyes y políticas vigentes que regulan el manejo y la reutilización de baterías en el país.

Se analizaron iniciativas gubernamentales y acuerdos internacionales sobre economía circular y sostenibilidad energética.

- Proyectos piloto y desarrollos industriales:

Se estudiaron casos de éxito en la implementación de baterías de segunda vida dentro del territorio nacional.

3. RESULTADOS

3.1. Reutilización de baterías

La reutilización de baterías de VE se centra principalmente en aquellas de iones de litio, debido a su alta densidad de energía y capacidad para operar en temperaturas extremas por períodos prolongados [21].

Según lo propuesto en [22], el proceso a seguir para la readequación de las baterías, es el siguiente:

1. Recolección de las baterías: Las baterías deben ser recolectadas mediante un vínculo cliente–empresa, ofreciendo al cliente un reemplazo por la batería retirada.
2. Desarmar los paquetes de celdas de las baterías: Las baterías son desarmadas siguiendo procedimientos específicos y cumpliendo estrictamente con las normas de seguridad aplicables.
3. Evaluación de las celdas: Se realizan pruebas de carga y descarga para clasificar las celdas en tres categorías según su estado: buena condición, condición media y mala condición.
4. Reconfiguración de nuevos paquetes: Se ensamblan nuevos paquetes de baterías utilizando las celdas en buen estado. Además, se reconfigura el sistema de gestión de baterías (BMS), se determina el método de carga adecuado y se definen los rangos de operación óptimos..

Los sistemas de almacenamiento estacionarios que funcionan con este tipo de baterías, seguirían una configuración similar a la mostrada en la figura 3.

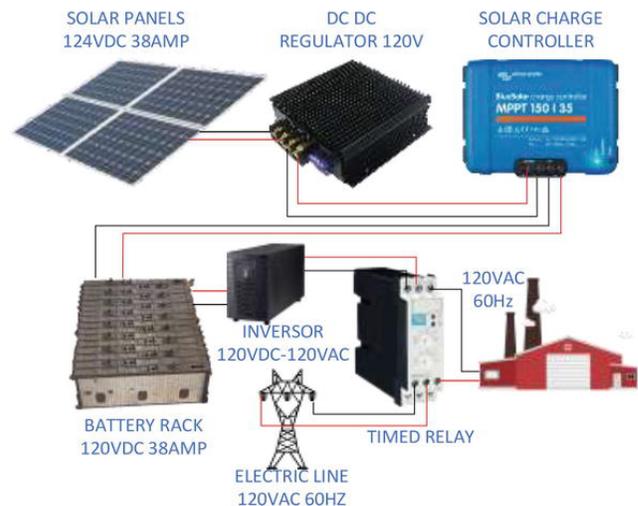


Figura 3. Configuración de alimentación de laboratorio con paquetes de baterías [22].

Para ser consideradas en proyectos de reutilización, las baterías deben conservar entre el 70 % y 80 % de su vida útil, lo que permite su aplicación en almacenamiento de energía proveniente de fuentes renovables, tal como se observa en la figura 4. Además, pueden utilizarse como sistemas de alimentación en hogares y edificios, especialmente en horas pico o ante interrupciones del suministro eléctrico, lo que representa una oportunidad de negocio tanto para la industria como para emprendedores [20], [23].

La selección de la tecnología de almacenamiento es un aspecto clave en la reutilización de baterías, ya sea para aplicaciones estacionarias o móviles. En este sentido, diversos actores han mostrado interés en esta práctica: fabricantes de vehículos eléctricos, que pueden reducir costos de producción; propietarios de VE con conciencia ecológica, que buscan garantizar el manejo adecuado de residuos peligrosos; empresas

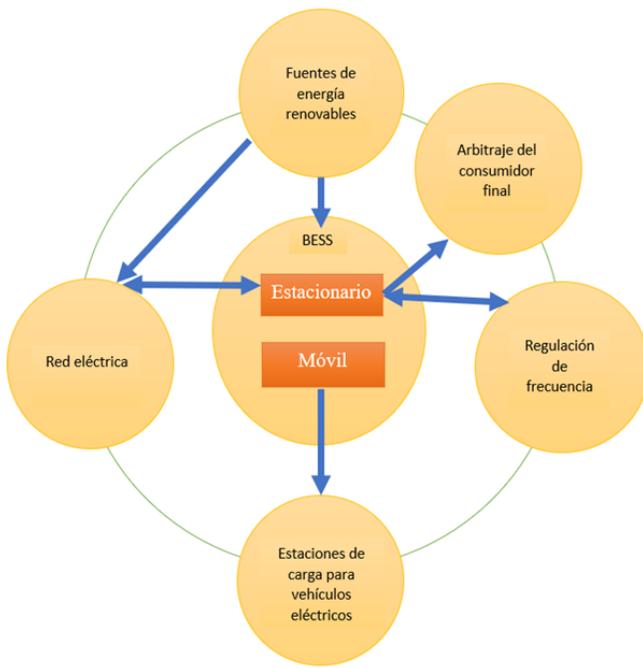


Figura 4. Reutilización de baterías, adaptada de [24].

de reciclaje, interesadas en la creciente demanda de estos dispositivos y el aumento en los precios de las materias primas; y Gobiernos, que promueven la reutilización de baterías como parte de la transición hacia una economía circular [24].

Las *Second-Life Batteries* (SLB) han demostrado ser viables para aplicaciones estacionarias menos exigentes en términos de espacio y peso en comparación con su uso en vehículos eléctricos. Existen proyectos comerciales y demostrativos que exploran su uso en almacenamiento fuera del vehículo, respaldo para la carga de VE desde la red eléctrica y sistemas domésticos que optimizan el consumo de energía solar fotovoltaica [25].

Ejemplos concretos de implementación de estas baterías en segunda vida se observan en Kenia, donde han sido utilizadas en comunidades rurales para almacenar energía proveniente de fuentes limpias como la solar y la eólica. Además, se proyecta que para el año 2028, entre 120 y 549 GWh de baterías retiradas estarán disponibles para reutilización en países en desarrollo [26].

A nivel global, se estima que para 2025 alrededor del 75 % de las baterías de los VE serán reutilizadas en diversas aplicaciones como las anteriormente mencionadas, antes de ser recicladas para recuperar sus materiales valiosos [27].

3.2. Impactos

La reutilización de baterías de vehículos eléctricos conlleva múltiples beneficios, destacando principalmente su impacto económico y medioambiental.

3.2.1. Impacto ambiental: El beneficio ambiental más relevante es la reducción de gases de efecto invernadero y

de la huella de carbono [28]. Actualmente, empresas como Tesla, con su producto Powerwall, ofrecen soluciones comerciales para el almacenamiento de energía y la alimentación de hogares mediante baterías nuevas de iones de litio. Sin embargo, el uso de baterías de segunda vida permite una disminución de 4 kg de CO₂ equivalente, debido a que, la implementación de estas baterías de menor capacidad, evitaría la fabricación de baterías con capacidades similares. En términos de impacto ambiental, al reutilizar las baterías en racks para almacenamiento estacionario, reduce el Potencial de Calentamiento Global (GWP, por sus siglas en inglés) en un 32 %, mientras que el uso de baterías nuevas lo incrementa en un 30 % [20].

En la práctica, la implementación de sistemas de almacenamiento de energía en baterías de segunda vida (SLBES) en una granja de energía eólica en Tenerife podría, desde una perspectiva ambiental, evitar para el año 2031 la acumulación de aproximadamente entre 0,7 y 1,2 kilotoneladas de residuos, lo que equivale a 150-260 Wh/kg de baterías nuevas con tecnologías y químicas similares. Además, la integración de estos sistemas permitiría reducir entre 28 y 90 kilotoneladas de emisiones de CO₂, al almacenar e inyectar en la red eléctrica energía renovable generada por los parques eólicos. De esta manera, se sustituiría el uso de tecnologías convencionales de generación, como las turbinas de ciclo abierto alimentadas con diésel [29].

Los SLBES se pueden implementar en varios campos, tal como en China, donde la aplicación de baterías reutilizadas en edificios ha reducido las emisiones de carbono entre un 20 % y un 42 %. Además, dado que el período de uso se acorta en aplicaciones estacionarias de almacenamiento, las emisiones anuales de carbono se han reducido entre un 2.8 % y un 18.5 % [18].

3.2.2. Impacto económico: En términos económicos, las baterías de segunda vida representan una alternativa más asequible en comparación con las nuevas. No obstante, es fundamental evaluar la viabilidad económica del proceso de reacondicionamiento para garantizar su rentabilidad [28].

El precio de una batería de segunda vida para vehículos eléctricos varía según su capacidad restante, estado de salud y demanda en el mercado, el costo de reutilizar baterías para aplicaciones que no requieren un alto rendimiento ronda los 49 USD por kilovatio-hora (kWh), mientras que una batería nueva puede costar alrededor de 300 USD por kWh, tal como se observa en la figura 5 [30].

Es importante señalar que estos precios pueden cambiar según la región y el proveedor. En Ecuador, el mercado de baterías de segunda vida aún está en desarrollo, por lo que se recomienda contactar a distribuidores locales o explorar plataformas de comercio electrónico para obtener cotizaciones más precisas y evaluar las opciones disponibles.

Además, los usuarios que adquieran sistemas de almacenamiento basados en baterías reutilizadas pueden reducir significativamente sus facturas de electricidad. La implementación de estos packs en hogares ha demostrado una disminución del

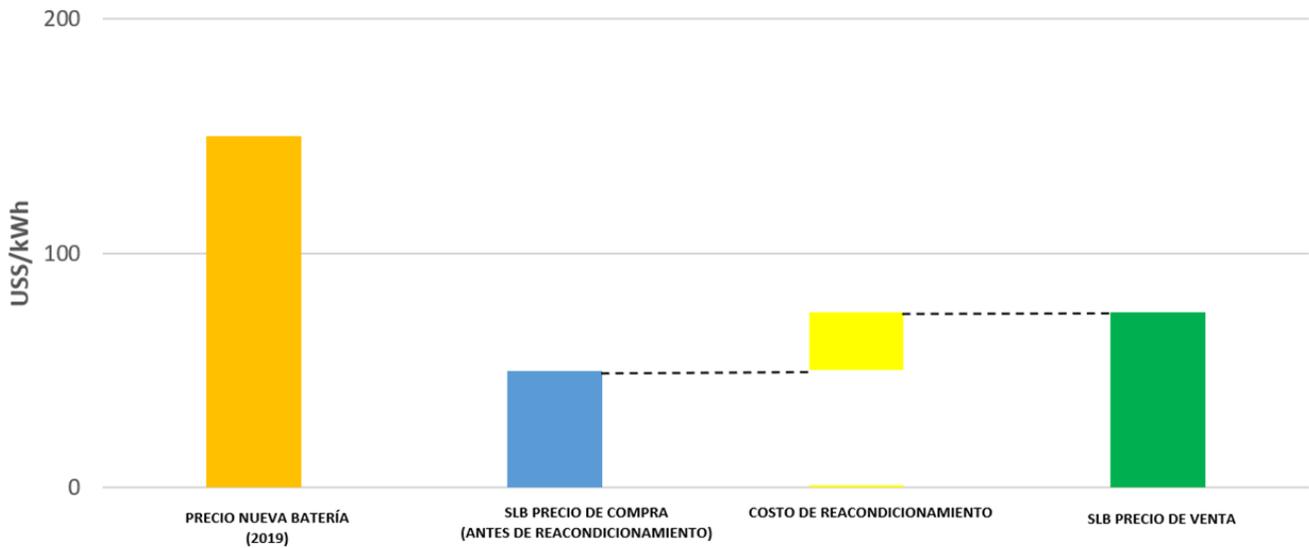


Figura 5. Comparación del precio de venta entre baterías nuevas y SLB [20]

costo eléctrico en un 14.25 % según el mercado actual y hasta un 39.75 % en escenarios donde se triplica la tarifa en horas punta. Además, se estima que, para el año 2050, la reutilización de baterías de iones de litio en California permitirá suplir aproximadamente 15 TWh de electricidad. Adicionalmente, la implementación de baterías de Nissan Leaf en horas pico ha demostrado una reducción del 50 % en el costo de la factura eléctrica [31].

4. DESARROLLO NACIONAL

En Ecuador, la transición hacia la movilidad eléctrica avanza a un ritmo lento debido a múltiples limitaciones. Entre los principales obstáculos se encuentran la limitada infraestructura de carga, actualmente compuesta por aproximadamente 260 estaciones, de las cuales el 90 % corresponde a cargadores de tipo lento [32]. Los altos costos de los vehículos eléctricos, especialmente en el caso de los autobuses. Mientras un bus a diésel tiene un costo estimado de entre 80.000 y 120.000 USD, uno eléctrico puede alcanzar precios que oscilan entre 250.000 y 300.000 USD [33]. Además, en gran parte del país persiste una percepción negativa hacia los vehículos eléctricos, motivada por mitos y temores relacionados con su autonomía y la tecnología que emplean. Esta combinación de factores ha dificultado la formulación e implementación de leyes y procedimientos certificados para el manejo adecuado de las baterías y sus componentes al final de su vida útil.

No obstante, la creciente popularidad de los vehículos eléctricos e híbridos ha impulsado un aumento sostenido en sus ventas, como se muestra en la figura 6. En consecuencia, también se incrementará la cantidad de baterías que alcanzan el final de su vida útil, lo que podría convertirse en un grave problema ambiental si no se establece una regulación adecuada a tiempo. [22].

Como consecuencia de lo anteriormente expuesto, han surgido varios proyectos que emplean este tipo de tecnología. Por

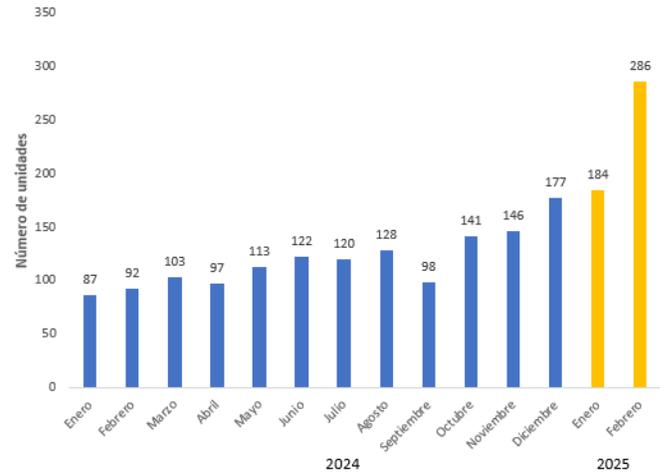


Figura 6. Venta de vehículos eléctricos febrero 2025, [34]

ejemplo, se han propuesto iniciativas para el almacenamiento de energía en las Islas Galápagos, utilizando baterías provenientes de vehículos híbridos y eléctricos. Un caso destacado es el proyecto "Vehicle to Grid"(V2G), que plantea el uso de baterías de vehículos eléctricos para permitir un intercambio bidireccional de energía. Es decir, las baterías no solo se cargarían desde la red, sino que también podrían devolver energía a esta durante períodos de alta demanda. Este enfoque contribuiría a estabilizar el sistema eléctrico y a reducir la dependencia de generadores diésel, los cuales son costosos y altamente contaminantes [22], [35].

Es importante destacar que diversas instituciones educativas han comenzado a aprovechar el potencial de las SLB. Un ejemplo de ello es la Universidad del Azuay, que estableció un acuerdo con Kia Ecuador para reutilizar las baterías de

vehículos eléctricos como sistemas de almacenamiento de energía solar. Esta iniciativa busca contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular al de garantizar una educación de calidad [36].

5. CONCLUSIONES

A partir de la revisión teórica sobre la reutilización de baterías de vehículos eléctricos, se concluye que estas, especialmente las de iones de litio, representan una opción técnica y económicamente viable para diversas aplicaciones en su segunda vida. Estas baterías, que conservan entre un 70 % y 80 % de su capacidad original, están siendo utilizadas exitosamente en sistemas de almacenamiento de energía renovable, como respaldo energético para hogares y edificios, y en estaciones de carga para vehículos eléctricos. Además, se ha identificado un creciente interés por parte de diversos actores incluidos fabricantes, recicladores, gobiernos y usuarios comprometidos con el medio ambiente lo que refuerza su potencial dentro del modelo de economía circular.

La reutilización de baterías genera un impacto significativo tanto en lo ambiental como en lo económico. Desde la perspectiva del ambiente, su implementación contribuye a una notable reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, disminuye la huella de carbono y previene la acumulación de residuos peligrosos. Se ha estimado que estas soluciones pueden reducir hasta en un 32 % el potencial de calentamiento global en comparación con el uso de baterías nuevas. En el plano económico, las baterías de segunda vida representan una alternativa de bajo costo que puede reducir considerablemente los gastos en electricidad, tanto en aplicaciones residenciales como comerciales. En algunos casos, se han registrado disminuciones de hasta un 50 % en los costos energéticos durante las horas pico, lo que evidencia su alto potencial de ahorro y eficiencia.

El análisis del desarrollo nacional de la reutilización de baterías provenientes de vehículos eléctricos en Ecuador evidencia una transición aún incipiente hacia la movilidad eléctrica. Esta situación ha limitado el establecimiento de normativas claras y procedimientos certificados para el manejo adecuado de las baterías al final de su vida útil. No obstante, el crecimiento sostenido en la adopción de vehículos eléctricos e híbridos genera un incremento previsible en la disponibilidad de estas baterías, lo que plantea tanto un reto ambiental como una oportunidad tecnológica.

A pesar de la falta de regulación formal, han comenzado a surgir iniciativas innovadoras que buscan dar una segunda vida útil a estas baterías. Un ejemplo destacado es el proyecto V2G, el cual propone un modelo de intercambio bidireccional de energía entre las baterías de los vehículos eléctricos y la red eléctrica. Este tipo de soluciones no solo permitiría una mayor eficiencia energética, sino que también contribuiría a reducir la dependencia de fuentes fósiles como los generadores diésel, especialmente en zonas aisladas como las Islas Galápagos.

Asimismo, instituciones educativas como la Universidad del Azuay están impulsando alianzas con el sector automotriz para reutilizar baterías en sistemas de almacenamiento de energía

renovable, promoviendo una gestión ambientalmente responsable y alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Ecuador aún enfrenta desafíos normativos y logísticos, el creciente interés por la reutilización de baterías y las experiencias piloto exitosas demuestran un potencial significativo para avanzar hacia una economía circular en el sector de la electromovilidad.

Ante el acelerado ritmo de adopción de vehículos eléctricos y la creciente acumulación de baterías que alcanzan el fin de su vida útil primaria, se prevé un aumento exponencial en la disponibilidad de baterías aptas para su reutilización en los próximos años. Esta tendencia representa una oportunidad estratégica para países en desarrollo, donde dichas baterías pueden contribuir significativamente al acceso a energía limpia y asequible, especialmente en comunidades rurales. Para consolidar este camino hacia un desarrollo sostenible, es fundamental respaldar estas iniciativas con políticas públicas coherentes, inversión en infraestructura y programas de formación técnica. Como trabajo futuro, sería pertinente investigar las políticas implementadas por los países líderes en reutilización de baterías, con el fin de proponer una estrategia adecuada al contexto nacional.

REFERENCIAS

- [1] F. Pablo and R. Jaime, "Vehículo eléctrico: Situación actual y perspectivas futuras," tech. rep., Instituto de Investigación Tecnológica IIT-ICAI Universidad Pontificia Comillas, 3 2019.
- [2] C. A. Correa, D. P. Patiño, J. D. C. Toro, and B. M. V. Valencia, "Impacto de los vehículos eléctricos en los concesionarios del poblado en Medellín en el 2019," *Revista CIES Escolme*, vol. 11, pp. 129–142, 2020.
- [3] H. Ritchie, "Cars, planes, trains: where do co emissions from transport come from?," *Our World in Data*, 2020. <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport>.
- [4] ipcc, *Cambio climático 2014*. IPCC, 2014.
- [5] J. M. Velepucha-Sánchez and L. F. Sabando-Piguabe, "Emisiones de gases contaminantes en vehículos livianos a gasolina," *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, vol. 4, pp. 78–95, 7 2021.
- [6] KPMG, "Us automotive monthly health monitor," tech. rep., KPMG, 2024.
- [7] C. Pagani, "Análisis del proceso químico de recuperación de metales de baterías de vehículos eléctricos," tech. rep., UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 6 2021.
- [8] W. E. Forum, "Las ventas de vehículos eléctricos subieron un 55 % en 2022. aquí es donde más han crecido." Sitio Web, 2023.
- [9] Rhomotion, "Global ev sales up 50 % in february 2025." Sitio Web, 2025.
- [10] J. González, "Conoce los 10 países con más vehículos eléctricos en circulación." Sitio Web.
- [11] F. Cantero, G. Lucero, F. Ramos, and S. K. S. González, "Movilidad eléctrica en América Latina y el Caribe," tech. rep., Olade, 9 2024.
- [12] KPMG, "Autos eléctricos en México y el mundo." Sitio Web, 2023.
- [13] W. Mrozik, M. A. Rajaeifar, O. Heidrich, and P. Christensen, "Environmental impacts, pollution sources and pathways of spent lithium-ion batteries," 10 2021.
- [14] D. Español, "Dw verifica si los autos eléctricos ayudan en la lucha contra el cambio climático." Video en Youtube, 2023.
- [15] W. Bank, "Panorama general." Sitio Web, 2024.
- [16] I. T. Forum, "Decarbonising transport initiative." Sitio Web, 2021.

- [17] M. J. Page, J. E. McKenzie, P. M. Bossuyt, I. Boutron, T. C. Hoffmann, C. D. Mulrow, L. Shamseer, J. M. Tetzlaff, E. A. Akl, S. E. Brennan, R. Chou, J. Glanville, J. M. Grimshaw, A. Hróbjartsson, M. M. Lalu, T. Li, E. W. Loder, E. Mayo-Wilson, S. McDonald, L. A. McGuinness, L. A. Stewart, J. Thomas, A. C. Tricco, V. A. Welch, P. Whiting, D. Moher, J. J. Yepes-Nuñez, G. Urrútia, M. Romero-García, and S. Alonso-Fernández, “Declaración prisma 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas,” *Revista Española de Cardiología*, vol. 74, pp. 790–799, 9 2021.
- [18] H. Kang, S. Jung, H. Kim, J. An, J. Hong, S. Yeom, and T. Hong, “Life-cycle environmental impacts of reused batteries of electric vehicles in buildings considering battery uncertainty,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 207, 1 2025.
- [19] Y. Vasconcelos, “Las baterías de los coches eléctricos evolucionan, pero aún exhiben una menor densidad energética que los combustibles tradicionales.” Sitio Web, 2017.
- [20] M. H. S. M. Haram, J. W. Lee, G. Ramasamy, E. E. Ngu, S. P. Thiagarajah, and Y. H. Lee, “Feasibility of utilising second life ev batteries: Applications, lifespan, economics, environmental impact, assessment, and challenges,” *Alexandria Engineering Journal*, vol. 60, no. 5, pp. 4517–4536, 2021.
- [21] T. Montes, M. Etxandi-Santolaya, J. Eichman, V. J. Ferreira, L. Trilla, and C. Corchero, “Procedure for assessing the suitability of battery second life applications after ev first life,” *Batteries*, vol. 8, 9 2022.
- [22] E. Fernández, D. R. Hiedra, D. Cordero, and M. Espinoza, “The second life of hybrid electric vehicles batteries methodology of implementation in Ecuador,” tech. rep., ERGON, 2021.
- [23] V. A. Martins, A. C. Vieira, A. F. da Silveira, A. L. da Costa, D. Silva, F. J. das Neves Júnior, L. G. de Rezende, and R. Rios, “Desafios e oportunidades no uso do armazenamento de energia por baterias na transição energética brasileira,” *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, vol. 22, p. e5777, 7 2024.
- [24] H. S. Hayajneh, M. Herrera, and X. Zhang, “Design of combined stationary and mobile battery energy storage systems,” *PLoS ONE*, vol. 16, 12 2021.
- [25] L. Colarullo and J. Thakur, “Second-life ev batteries for stationary storage applications in local energy communities,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 169, 11 2022.
- [26] N. Kebir, A. Leonard, M. Downey, B. Jones, K. Rabie, S. M. Bhagavathy, and S. A. Hirmer, “Second-life battery systems for affordable energy access in kenyan primary schools,” *Scientific Reports*, vol. 13, 12 2023.
- [27] M. Pagliaro and F. Meneguzzo, “Lithium battery reusing and recycling: A circular economy insight,” 6 2019.
- [28] J. Campoverde-Pillco, D. Ochoa-Correa, E. Villa-ávila, and P. Astudillo-Salinas, “Reuse of electrical vehicle batteries for second life applications in power systems with a high penetration of renewable energy: A systematic literature review,” *Ingenius*, vol. 2024, pp. 95–105, 1 2024.
- [29] A. I. López, A. Ramírez-Díaz, I. Castilla-Rodríguez, J. Gurriarán, and J. A. Mendez-Perez, “Wind farm energy surplus storage solution with second-life vehicle batteries in isolated grids,” *Energy Policy*, vol. 173, 2 2022.
- [30] G. Solar, “Batería de litio de segunda vida: El grupo de valor más nuevo en almacenamiento de energía 2024.” Sitio Web, 2024.
- [31] M. M. Omrani and H. Jannesari, “Economic and environmental assessment of reusing electric vehicle lithium-ion batteries for load leveling in the residential, industrial and photovoltaic power plants sectors,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 116, 2019.
- [32] Expreso, “En ruta: Puntos de carga para autos eléctricos en Ecuador crecen a paso lento.” Sitio Web, 2025.
- [33] Ekos, “Movilidad eléctrica: ¿Está Ecuador listo para el cambio?.” Sitio Web, 2024.
- [34] AEADE, “Boletín de ventas,” tech. rep., AEADE, 2025.
- [35] D. Ochoa-Correa, “Aprovechamiento de las baterías de los vehículos eléctricos para flexibilizar la integración de generación renovable en sistemas eléctricos insulares: el caso de las islas Galápagos,” tech. rep., Universidad de Cuenca, 7 2024.
- [36] A. V. M., “Firma de convenio entre la Universidad del Azuay y Kia Ecuador.” Sitio Web, 2024.