



Universidad **César Vallejo**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Estrategias de reutilización y reciclaje de baterías de Ion Litio de
vehículos eléctricos: Una revisión Sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Dávila Tafur, Roberto Carlos (ORCID: 0000-0002-3749-3713)

Villalobos Gomez, Arlene Lorelei (ORCID: 0000-0002-1011-6010)

ASESOR:

M.Sc. Solórzano Acosta, Richard Andi (ORCID: 0000-0003-3248-046X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión de riesgos y adaptación al cambio climático

LIMA— PERÚ

2021

Dedicatoria

A Dios, por habernos guiado y brindado fortaleza, a mis padres y hermano, por su apoyo incondicional y confianza; y a todas las personas que siempre me dieron su soporte para seguir mis sueños.

Dávila Tafur, Roberto Carlos

Dedicatoria

A Dios, por habernos guiado y brindado fortaleza, a mi madre, hermanas, y a mi padre el amigo incondicional que me enseñó a trabajar por mis sueños y quien tuvo fe en mí siempre. Aunque ya no está en este plano, su amor seguirá conmigo todos los días de mi vida.

Villalobos Gomez, Arlene Lorelei

Agradecimiento

Nuestra gratitud a nuestro asesor M.Sc. Solórzano Acosta Richard Andi por sus conocimientos, orientación y empatía con nosotros a lo largo del desarrollo de esta investigación; asimismo, a todos los docentes que nos brindaron sus enseñanzas desde el inicio de nuestra carrera profesional.

Índice de contenidos

| | |
|---|------|
| Carátula..... | i |
| Dedicatoria..... | ii |
| Agradecimiento..... | iii |
| Índice de contenidos..... | iv |
| Índice de tablas..... | v |
| Índice de Abreviaturas..... | vi |
| Resumen..... | vii |
| Abstract..... | viii |
| I.INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II.MARCO TEÓRICO..... | 3 |
| III.METODOLOGÍA..... | 11 |
| 3.1 Tipo y diseño de investigación..... | 11 |
| 3.2 Categorías, Subcategorías y matriz de categorización..... | 12 |
| 3.3 Escenario de Estudios..... | 13 |
| 3.4 Participantes..... | 13 |
| 3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 13 |
| 3.6 Procedimiento..... | 14 |
| 3.7 Rigor científico..... | 15 |
| 3.8 Método de análisis de datos..... | 16 |
| 3.9 Aspectos éticos..... | 17 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 17 |
| V. CONCLUSIONES..... | 40 |
| VI. RECOMENDACIONES..... | 41 |
| REFERENCIAS..... | 42 |
| ANEXOS..... | 55 |

Índice de tablas

| | | |
|---------|--|----|
| Tabla 1 | Matriz de categorización..... | 20 |
| Tabla 2 | Artículos originales seleccionados que identifican las estrategias de reutilización y reciclaje de baterías de los vehículos eléctricos..... | 26 |
| Tabla 3 | Estrategias de reutilización de baterías de vehículos eléctricos..... | 36 |
| Tabla 4 | Estrategias de reciclaje de baterías de vehículos eléctricos..... | 45 |

Índice de Abreviaturas

GEI: Gases de efecto invernadero

EOL: Final de vida útil

LIB: Batería de Ion litio

EVB: Batería de vehículo eléctrico

NCM: Níquel, cobalto, manganeso

SL: Segunda vida

Resumen

El objetivo de la investigación fue identificar cuáles son las estrategias de reutilización y reciclaje de baterías de vehículos eléctricos. Se llevó a cabo una revisión sistemática haciendo uso de la metodología PRISMA, entre los años de 2000 a 2021, de los cuales se escogieron 31 artículos luego de cumplir los criterios de inclusión y exclusión. Obteniendo como resultado que la reutilización se considera preferible al reciclaje debido a que la vida de la batería se podría extender y ser funcional en otros sistemas como el almacenamiento de energía doméstica y comercial, re manufacturación en vehículos eléctricos y reacondicionamiento en paneles solares. Por otra parte, se evidencio que lo más recomendable para la reutilización de baterías es que la salud de la batería al final de su primera vida útil en los vehículos eléctricos se encuentre no menor 70%. Por último, es importante mencionar que se encontró como única estrategia reciclaje la recuperación de metales valiosos, debido a la gran cantidad de extracción de materias primas para la fabricación de nuevas baterías y la no correcta gestión de las baterías al final de su vida útil, es necesario aclarar que la recuperación de metales va a depender directamente de las necesidades, siendo las partes de la batería reciclada, temperatura, tiempo, lixiviantes los factores determinantes para la eficiencia de recuperación de los metales valiosos , para lo cual se han desarrollado técnicas como la hidrometalúrgica, pirometalúrgica y la separación física como alternativas para la recuperación de metales valiosos como son el níquel, cobalto, litio, manganeso .

Palabras clave: Reutilización, reciclaje, vehículos eléctricos.

Abstract

The objective of the research was to identify which are the reuse and recycling strategies for electric vehicle batteries. A systematic review was carried out using the PRISMA methodology, between the years 2000 to 2021, of which 31 articles were chosen after meeting the inclusion and exclusion criteria. Obtaining as a result that reuse is considered preferable to recycling because the life of the battery could be extended and be functional in other systems such as domestic and commercial energy storage, remanufacturing in electric vehicles and reconditioning in solar panels. On the other hand, it was evidenced that the most advisable thing for the reuse of batteries is that the health of the battery at the end of its first useful life in electric vehicles is not less than 70%. Finally, it is important to mention that the only recycling strategy was the recovery of valuable metals, due to the large amount of extraction of raw materials for the manufacture of new batteries and the incorrect management of batteries at the end of their useful life, It is necessary to clarify that the recovery of metals will depend directly on the needs, being the parts of the recycled battery, temperature, time, leachants, the determining factors for the efficiency of recovery of valuable metals, for which techniques such as hydrometallurgical, pyrometallurgical and physical separation as alternatives for the recovery of valuable metals such as nickel, cobalt, lithium, manganese.

Keywords: Reuse, recycling, electric vehicles

I.INTRODUCCIÓN

A nivel global con el rápido aumento de la población, el desarrollo económico y los avances tecnológicos en el mundo, los niveles de consumo de energía son cada vez mayores. La sociedad moderna depende del movimiento de bienes y personas, pero nuestros sistemas de transporte actuales tienen impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente (El Harrouti et al.,2020) siendo el sector transporte considerado como principal generador de emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) debido al uso indiscriminado e inconsciente de vehículos a motor de combustión, los cuales hacen uso de combustibles fósiles (Yooan et al., 2021), por lo que reducir las emisiones de contaminantes del transporte es claramente uno de los principales desafíos del mundo en constante desarrollo. Debido a que los impactos medioambientales del transporte son significativos, es necesario reducir el uso de los combustibles fósiles y recurrir a soluciones más ecológicas, como lo son los vehículos eléctricos. (Polom et al.,2020) así mismo se detalla que las sustancias tóxicas emitidas por los vehículos a combustión representan alrededor del 60% de las emisiones totales de la industria a nivel general, el problema de los motores de combustión interna impulsados por gas debido al uso de combustibles fósiles para el transporte afecta la contaminación global, creando así un sistema de transporte insostenible e ineficiente. (Farhad et al., 2016 citado por Sneha, 2020)

Por ello, bajo la presión de la contaminación ambiental y la crisis energética, los vehículos eléctricos se han convertido en la tendencia de desarrollo futuro y el foco de la competencia y el desarrollo en todo el mundo debido a que estos tienen una alta eficiencia energética y bajas emisiones de contaminantes y gases de efecto invernadero en comparación con los vehículos convencionales con motor de combustión interna (Zhao et al., 2015). De esta misma manera los vehículos eléctricos han cobrado importancia debido a que es considerado un transporte ecológico que no emite emisiones de carbono u otros gases de efecto invernadero (Hu et al., 2020). Sin embargo, es necesario saber que la adopción masiva de

vehículos eléctricos se basa en la disponibilidad y asequibilidad de las materias primas necesarias para facilitar la producción de partes de los vehículos, las cadenas de suministro de cobalto y litio podrían limitar seriamente el despliegue generalizado de vehículos eléctricos debido al aumento en la demanda de ciertos metales básicos como el cobalto y litio en 37 y 18 veces respectivamente en comparación con los niveles de 2015. (Jones et al., 2020).

Ante esta situación, gestionar el flujo de residuos como las baterías de vehículos eléctricos es un desafío emergente ya que se pronostican un flujo de residuos de baterías de 120 mil y 1,8 millones de baterías que se reciclarán en 2030 y 2040, respectivamente además las baterías retiradas pueden contribuir potencialmente a los mercados de almacenamiento de energía estacionaria. (Abdelbaky et al., 2020). El uso generalizado de baterías de vehículos eléctricos para aplicaciones de automoción o de red requerirá, con el tiempo, que los metales como el cobalto y níquel sean parcialmente sustituidos y / o que una recuperación o reciclaje eficaz se adopte el método para baterías (Larcher et al., 2015)

Por lo tanto, la presente investigación planteó como problema general la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las estrategias de reutilización y reciclaje de baterías de vehículos eléctricos?

Esta revisión tiene una importancia social debido a que todas las personas interesadas en encontrar la solución más factible para la correcta gestión de las baterías de vehículos eléctricos al final de su vida útil, debido a que si no son dispuestas correctamente son peligrosos para el medio ambiente y para la salud humana, se conocerán qué estrategias son los más recomendables al final de la primera vida útil de las baterías de vehículos eléctricos.

Finalmente, la justificación radica en que no se cuenta con el detallado de las estrategias de reutilización y reciclaje de baterías de vehículos al final de su primera vida útil otorgando así el aporte de identificar cuáles son las mejores opciones de reutilización o reciclaje. Además, conocer los elementos químicos reciclados luego de pasar por diferentes técnicas de reciclaje. Del mismo modo beneficiará a los

mismos usuarios de vehículos eléctricos, grandes empresas del sector automotriz y personas que quieran ingresar al mercado de reciclaje o reutilización de baterías de vehículos eléctricos. Por ello nos planteamos lo siguiente: Identificar las estrategias de reutilización y reciclaje de baterías de vehículos eléctricos.

II.MARCO TEÓRICO

Kotak et al., (2021) en su investigación aseguran que debido al aumento de vehículos eléctricos, ocasionará el aumento de baterías usadas de vehículos eléctricos de 50.000 en el año 2020 a 150 millones en el año 2035, lo que demuestra la severidad del caso para poder tomar gran importancia a los procesos e infraestructura de reciclaje y reutilización de estas baterías para que puedan hacer frente a la gran cantidad de baterías de los vehículos eléctricos que ya cumplieron su tiempo de vida útil ,por lo que estas se consideran viejas.

Asimismo, Chen et al., (2019) nos dicen que debido a mayor cantidad de vehículos suministrados al parque automotor mayor cantidad de baterías por gestionar, lo cual introducirá una gran cantidad de baterías gastadas en un tiempo de 8 a 10 años al final de su vida útil (EOL). Para lo cual se requiere un manejo apropiado de baterías de vehículos eléctricos, la cual se sustentan en aprovechamiento de los costos fluctuantes de los materiales, la distribución y producción desiguales.

Jung et al., (2020) nos muestran en su investigación que las baterías de ion litio gastadas se están acumulando debido a la revolución de los vehículos eléctricos. En la actualidad, no existe un proceso de reciclaje de baterías de ion litio de vehículos eléctricos respetuoso con el medio ambiente realmente comercializado y que sea económicamente viable. Además, describe una serie de experimentos para avanzar en el conocimiento sobre la recuperación de metales de los materiales del cátodo de la batería gastada y para desarrollar un nuevo proceso hidrometalúrgico de circuito cerrado más amigable con el medio ambiente.

Seguidamente, Bratosin et al. (2021) indican que hoy en día el número de vehículos eléctricos en el mundo ha superado los 4 millones de unidades y las estimaciones futuras se encuentran entre los más optimistas. El reciclaje de las baterías de vehículos eléctricos principalmente tiene gran participación en China y en Corea

debido a que en estos países son donde se elaboran estas baterías y en donde se lleva una intensa investigación en muchos laboratorios para la recuperación y la reutilización de metales valiosos contenidos en estas.

Posteriormente Alfaro et al., (2020) nos presentan un modelo para diseñar el proceso de desmontaje del paquete de baterías de vehículos eléctricos para que pueda ser remanufacturado con el fin de favorecer la recuperación de algunos componentes de este paquete de baterías de vehículos eléctricos considerando una mayor rentabilidad económica y un mínimo impacto ambiental. Basándose en la planificación de la secuencia de desmontaje, proporciona la decisión más adecuada para el uso de los componentes desmontados: reutilización, remanufactura, reciclaje o eliminación.

Así como Babu et al., (2020) indican que dar una segunda vida o un segundo uso a las baterías de los vehículos eléctricos es reutilizar las baterías que ya no puede cumplir con su requisito en el dominio automotriz, pero aún podría ser útil como respaldo de energía por lo que nos evidencian la ventaja económica de darle un segundo uso a las baterías de vehículos eléctricos mediante una comparación del uso convencional de una batería de segundo uso y una batería nueva en el sistema microrred fotovoltaica (paneles solares) a través de un análisis económico.

Ahmadi et al., (2014) mencionan que la dificultad para el ingreso masivo de los vehículos eléctricos es el alto costo de estas baterías para los vehículos eléctricos. Demostraron que reutilizar las baterías de vehículos eléctricos y aplicarlos en un segundo uso puede ampliar su vida útil y ayuda a un caso de negocio mediante la comercialización del alto costo inicial de baterías a otros usuarios y se sugirió el almacenamiento de energía como una posible aplicación de segundo uso de las baterías para vehículos eléctricos

Finalmente, Joris et al., (2021) en su investigación presentan al cobalto como referencia para reducir la dependencia de las materias primas con el fin de favorecer la sostenibilidad y la resiliencia en las cadenas de abastecimiento automotriz y reducir la extracción de recursos primarios, se presenta un escenario y se compara, en el cual se descubrió que las nuevas tecnologías proporcionan las estrategias más prometedoras para reducir la dependencia de cobalto

sustancialmente, pero podría resultar en un desplazamiento de la carga, como un aumento en la demanda de níquel. Para evitar esto último, la tecnología los desarrollos deben combinarse con un sistema de reciclaje eficiente.

Por otro lado, en la presente revisión se tiene en cuenta los siguientes conceptos:

Los vehículos eléctricos se componen de diferentes partes: como son la batería, puerto de carga, convertidor, motor de tracción eléctrica, controlador de electrónica de potencia, un sistema térmico, paquete de batería de tracción. Estos vehículos utilizan un motor eléctrico a diferencia del motor de combustión interna, en este sentido, se espera un paquete de baterías de gran tamaño para controlar el motor eléctrico. (Faraz et al., 2021) es decir los vehículos eléctricos utilizan motores eléctricos para impulsar y utilizar la energía eléctrica depositada en las baterías (Chan, 2002).

Tipos de autos eléctricos

Enyedi (2018), menciona que existen 3 tipos de autos eléctricos. Los tipos de vehículos eléctricos se encuentran en función del nivel de potencia utilizado como fuente vital, por ejemplo, vehículo eléctrico híbrido, vehículo eléctrico híbrido enchufable, vehículos eléctricos de pila de combustible y vehículo eléctrico de batería (Sneha et al., 2020)

El vehículo eléctrico funciona con motor eléctrico y batería. Utilizan una toma de carga eléctrica exterior para recargar la batería. Es ventajoso por su aceleración rápida y suave. Debido a que tiene menos emisiones de CO₂, es un vehículo ecológico. Este tipo de vehículos es posiblemente el tipo de vehículo eléctrico que prevalecerá en el futuro (Mahmoudzadeh et al., 2017).

Un vehículo eléctrico híbrido tiene un motor eléctrico que hace girar las ruedas, pero asimismo cuenta otra fuente de energía a bordo, generalmente es un motor de combustión interna. Este motor genera energía para la batería y el motor eléctrico, que luego hace girar las ruedas (serie híbrida) o este motor gira las ruedas junto con el motor eléctrico (híbrido paralelo). En el tiempo esto da un mejor alcance para

un coche eléctrico, la complicación adicional del motor adicional encarece el sistema de propulsión y es menos confiable que uno eléctrico puro.

Vehículos eléctricos de pila de combustible, que obtienen su electricidad de las celdas de combustible dentro del automóvil, en lugar de baterías, siendo esencialmente híbridos en serie. La mayoría de ellos usan hidrógeno, las pilas de combustible de hidrógeno crean agua como subproducto, por lo que son mucho más limpios que los motores de combustión interna tradicionales.

Tipos de baterías para vehículos eléctricos

La batería es la base de almacenamiento de energía del vehículo y es principalmente una batería recargable. Las baterías se cargan mediante un equipo de carga o una toma de corriente en función del nivel de carga (Iclodean et al.,2017 citado por Sneha, 2020) y el rendimiento de la batería, determina la capacidad de respuesta de los vehículos eléctricos, adicionalmente se menciona que la batería se desarrolla de acuerdo al avance de los vehículos eléctricos. (Yu et al., 2014).

Varias tecnologías de fabricación de baterías son adecuadas para equipar un vehículo eléctrico, tecnologías que hoy en día son ampliamente aceptadas por las empresas de la industria manufacturera (Manzetti et al.,2015)

Las baterías de plomo ácido: las baterías son el tipo de batería más antiguo que se utiliza en todo el mundo. Tienen las principales desventajas asociadas con el manejo de sustancias ácidas, la presencia de plomo en su construcción, una baja relación energía almacenada / peso y una baja relación energía almacenada / volumen. (Manzetti et al.,2015)

Las Baterías Nimh: En comparación con las de iones de litio, las baterías de NiMH tienen una menor capacidad de almacenamiento de energía y también un alto coeficiente de autodescarga. (Manzetti et al.,2015)

Las baterías de iones de litio con la estructura tradicional incluyen ánodo de grafito, cátodo y electrolito de óxido de metal de litio. En la actualidad las baterías de iones de litio de mayor éxito en son las de composición de cátodo de óxido de litio, níquel, manganeso y cobalto, también llamada batería de iones de litio NCM (Zhu et al., 2020). Así mismo las baterías de iones de litio tienen indudables ventajas en

términos de fabricación , el coste, el ciclo de vida prolongado y alta capacidad de específica, por lo que se han convertido en las baterías de vehículos eléctricos más ampliamente utilizadas en el mercado (Yun et al.,2018).Estas baterías se caracterizan por su alta energía, alta eficiencia y larga duración. Estas propiedades únicas han hecho de las baterías de litio las fuentes de energía preferidas para el mercado de la electrónica de consumo con una producción del orden de millones de unidades por año encuentran un rol destacado como sistemas ideales de almacenamiento electroquímico en plantas de energía renovable, así como como sistemas de energía para vehículos sostenibles, como vehículos híbridos y eléctricos (Scrosati et al., 2010)

Las baterías de cloruro de sodio y níquel (Na / NiCl₂, Zebra) se considera seguro y de bajo costo, un tercio del precio de las baterías de ion litio). Sin embargo, a pesar de una energía específica satisfactoria, comparable a la de Li-ion (aproximadamente 120 Wh / kg), su potencia específica es mucho menor, 150W / kg. Debido a esto, no se considera que alimente correctamente a los vehículos eléctricos por sí solo; sin embargo, podría usarse en asociación con fuentes de energía como supercondensadores. (Mahmoudzadeh et al., 2017)

Cabe destacar que la vida útil de la batería en el vehículo eléctrico es alrededor de 6 a 8 años según lo indicado por la garantía de los fabricantes de automóviles, en comparación con la vida útil total del vehículo. Cuando las baterías de los vehículos eléctricos pierden el 20% de su capacidad inicial durante su primera vida en el vehículo, se considera que ya no son adecuadas para la tracción y/o para uso en vehículos eléctricos. (Miao et al., 2019) normalmente, esta pérdida de capacidad se produce después de 8 años o 160.000 km (Ahmadi et al., 2014). Eso significa que cuando la batería alcanza el 70-80% de su capacidad de almacenamiento, debe ser reemplazada. Sin embargo, estas baterías podrían ser consideradas para otras aplicaciones, principalmente para uso estacionario segunda vida donde la capacidad a este nivel no es un factor limitante (Cusenza et al., 2019)

El final de su vida útil de una batería existe diferentes tipos de opciones, incluida la re fabricación, la reutilización para una aplicación diferente y el reciclaje. Tres opciones para el final de vida de los paquetes de baterías que pueden ayudar a amortiguar algunos de los problemas ambientales impactos y acceder a la

reutilización del material en lugar de la eliminación son la remanufactura, el reciclaje y la reutilización (De Rousseau et al., 2017).

Las baterías de iones de litio incluyen un ánodo, cátodo, colectores de corriente, separador, electrolito líquido, contenedor y piezas de sellado. Normalmente, las baterías de iones de litio se componen de metales pesados, productos químicos orgánicos y plásticos, y la composición varía según los diferentes fabricantes. El ánodo está hecho de grafito, carbón conductor y aglutinante de fluoruro de poli vinilideno (Zou et al., 2013). Las baterías de Ion Litio están formadas normalmente por un grafito ánodo adherido a una hoja de cobre y cátodo de óxido de cobalto de litio adherido a una hoja de aluminio, estando uno y otros sólidos pegados a estas láminas por fluoro-poli vinilideno. Los electrodos están separados entre sí por una capa de plástico, y cubiertos por una carcasa metálica envuelta en otro plástico. También son empapados en un electrolito que puede variar según la marca (Xu et al., 2008)

Los siguientes son ejemplos de los tipos de baterías de iones de litio y las tecnologías más destacadas que se utilizan en el mercado actual (Wang et al., 2017)

Óxido de litio, níquel, manganeso y cobalto - LNMC

Óxido de litio, níquel, cobalto y aluminio -LNCAO

Baterías de óxido de cobalto de litio – LCO

Baterías de óxido de manganeso y litio- LMO

Baterías de fosfato de hierro y litio -LFPO

La carga eficiente de las enormes baterías, se requiere una estación de carga disponible, debido a que la autonomía es menor que la de los vehículos con motor de combustión interna, en adelante la expansión de los vehículos a batería eléctricos es una problemática (Faraz et al.2021).

La reutilización de baterías de vehículos eléctricos se estima a una alternativa con mayor viabilidad al reciclado, ya que permite beneficiarse de su capacidad de

energía sobrante para ampliar su vida ya que se puede utilizar en aplicaciones estacionarias, tales como el autoconsumo o soporte de sistemas fuera de la red, son ejemplos de segunda vida para usos de baterías retiradas (Braco et al. 2021).

Las baterías "amortiguadoras" son una opción de reutilización en las estaciones de carga, que se cargan todo el tiempo, cuando están inactivas, luego cuando se conecta un automóvil para cargarlo, la batería transfiere toda su carga almacenada a la batería del automóvil, en un lapso de minutos. En estas aplicaciones de "segunda vida", el rendimiento de la batería no es tan crítico como en el coche, en la carretera, pero la viabilidad de esta solución depende de la "primera vida" de la batería (Enyedi, 2018)

Una red de reciclaje generalmente consta de: centro de recolección, centro de desmontaje, centro de reciclaje de materiales y centro de eliminación de desechos. Debido a que el transporte entre estos centros genera costos y emisiones de carbono, no hay duda de que los beneficios se pueden incrementar también optimizando el diseño de la red de reciclaje. Siendo los principales procesos los de pirometalurgia e hidrometalurgia, además de consideración el proceso, la escoria metalúrgica que contiene litio procedente de la batería de reciclaje se utiliza ahora como aditivo en la industria del hormigón. (Wang et al., 2020)

Diversos modelos de vehículos eléctricos se vienen desarrollando por las empresas de la industria automotriz establecidas, así también como las desconocidas startups, prometen actualizaciones y nuevos modelos en los siguientes años. Según detalla Enyedi (2018), estos son algunos de los coches más exitosos y comerciales la cual propulsión es principalmente eléctrica:

Tesla Model S y Model X son los más conocidos puramente coches eléctricos en la actualidad. Nos ofrecen la mejor gama de cualquier automóvil eléctrico producido en serie.

Nissan hizo que los vehículos eléctricos sean una parte esencial de su negocio, como lo es el Nissan Leaf trae asimismo una autonomía de 284 km y un diseño maduro.

Como Nissan, Renault también diseñó desde cero su Zoe para ser un coche eléctrico y empezaron las entregas en 2012. Actualmente es el coche eléctrico más vendido en Europa, posiblemente debido a su precio accesible y manejo tradicional con un dinámico, pero diseño exterior sobrio. En 2016, introdujeron una mayor capacidad, batería de 41 kWh, lo que le da al coche una autonomía de 300 km rango mundial.

El BMW i3 es otro automóvil eléctrico que es popular en Europa, pero también en Estados Unidos. Una particularidad del i3: también se puede comprar con un "Range Extender" (REx), un pequeño motor y generador de gasolina, lo suficientemente potente como para mantener la carga de la batería, aliviando la ansiedad por la autonomía del conductor.

El Chevrolet Bolt, comercializado como Opel Ampera-e en Europa, es otro vehículo eléctrico muy esperado por el público. El principal atractivo del Bolt es la combinación de precio razonable y rango alto aproximado de 400 km/H.

También Hyundai tiene un coche eléctrico de éxito, el Ioniq. Eso viene en tres variantes: batería eléctrica, híbrida y enchufable híbrido. Tiene un excelente coeficiente de arrastre, 0.24, similar a El Model S de Tesla, junto con el tren motriz, la batería y controlador, da un alcance de 200 km. Esto es bastante bajo, pero por supuesto, Hyundai está preparando actualizaciones, con una mejor batería.

Volkswagen ha puesto sus ojos en coches eléctricos. Su automóvil eléctrico más exitoso hasta la fecha, el eGolf, es elogiado precisamente por su apariencia y sensación tradicionales.

Los paquetes de baterías de iones de litio utilizan grandes volúmenes de materiales relativamente costosos; algunos de estos materiales asimismo tienen importantes impactos ambientales. (Olivetti et al. 2017). La disponibilidad futura de litio depende de la tasa en que el litio se puede producir y comercializar en las próximas décadas por lo que se tiene que explorar: las características geológicas del litio y las rutas a su extracción; estimaciones de reservas existentes y tasa de producción actual; la medida en que se puede reciclar el litio; y pronósticos de futura producción de litio. (Speirs et al., 2014).

Los principales productores de litio en 2017 fueron Australia, Chile, Argentina y China, sin embargo, se sabe que el litio no es un recurso que tenga disponibilidad factible debido que al 85% de las reservas en el mundo se encuentra en países sudamericanos como Perú, Chile, Bolivia y Argentina, principalmente en Bolivia. Enyedi, S. (2018).

III.METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

El tipo de la investigación es básica, porque busca poner prueba una teoría, con ninguna intención de aplicar sus resultados a problemas prácticos, lo que significa que el investigador claramente está evocado al desarrollo del conocimiento científico, por lo que no se le exige que explique las participación práctica del estudio (Valderrama, 2013, p. 38), por lo tanto, la presente investigación buscará el desarrollo del conocimiento científico, referente a las estrategias de reutilización de baterías de vehículos eléctricos.

Se realizó una revisión sistemática de literatura científica. La pregunta de investigación determinada para dirigir el proceso metodológico fue la siguiente:

¿Cuáles son las estrategias de reutilización y reciclaje de baterías de vehículos eléctricos? y por consiguiente el objetivo de describir las estrategias de reutilización y reciclaje de baterías de vehículos eléctricos. Este es un diseño de investigación no experimental, netamente de tipo descriptivo y como nos menciona Hernández et al. (2003), los estudios de tipo descriptivos lo que se busca es describir cuales son las estrategias más destacables para la reutilización y reciclaje de las baterías de vehículos eléctricos.

3.2 Categorías, Subcategorías y matriz de categorización

Tabla 1: Matriz de categorización

| Objetivo específico | Problema específico | Categoría | Criterio 1 | Criterio 2 | Criterio 3 | Criterio 4 | Criterio 5 | Criterio 6 |
|--|---|---------------|--------------------|------------------|--------------------|-------------|-------------|------------|
| Identificar las estrategias de reutilización de baterías de los vehículos eléctricos | Cuáles son las estrategias de reutilización de baterías de los vehículos eléctricos | Reutilización | Procesos / Técnica | Tipo de Baterías | Capacidad de carga | Importancia | - | - |
| Describir las estrategias de reciclaje de baterías de los vehículos eléctricos | Cuáles son las estrategias de reciclaje de baterías de los vehículos eléctricos | Reciclaje | Procesos / Técnica | Parte Reciclada | Elemento reciclado | Importancia | Temperatura | Tiempo |

3.3 Escenario de Estudios

Hernández et al., (2014) define a un escenario de estudio como el ambiente, espacio o contexto donde se realizan los sucesos de la problemática (p.514). De acuerdo a ello el presente estudio tuvo como escenario de estudio a los diferentes países que hayan realizado investigaciones sobre las estrategias de reutilización y reciclaje de baterías de vehículos eléctricos que sean experimentales, mediante el cual se realizará un listado de las diferentes estrategias para una correcta disposición de las baterías de vehículos eléctricos al final de su vida útil.

3.4 Participantes

La muestra consistió en el proceso cualitativo de donde se recopilaron información ya sea, grupo de personas, sucesos, documentos, eventos, entre otros; no tiene que ser necesariamente representativa de la población que se estudiará; por lo contrario, la muestra se irá formando y definiendo tentativamente según el planteamiento u objetivo del problema que nos interesa, cabe resaltar que la muestra inicial puede variar debido a que en el transcurso del avance se pueden agregar o quitar casos, ampliando así la búsqueda (Hernandez et.al., 2014).

Por lo que, la presente investigación tuvo como participantes a todo documento obtenidos de repositorios digitales como Science Direct, Scielo y Scopus, de todos estos repositorios se extrajo artículos científicos, a través de la búsqueda con palabras claves referidas al tema de investigación.

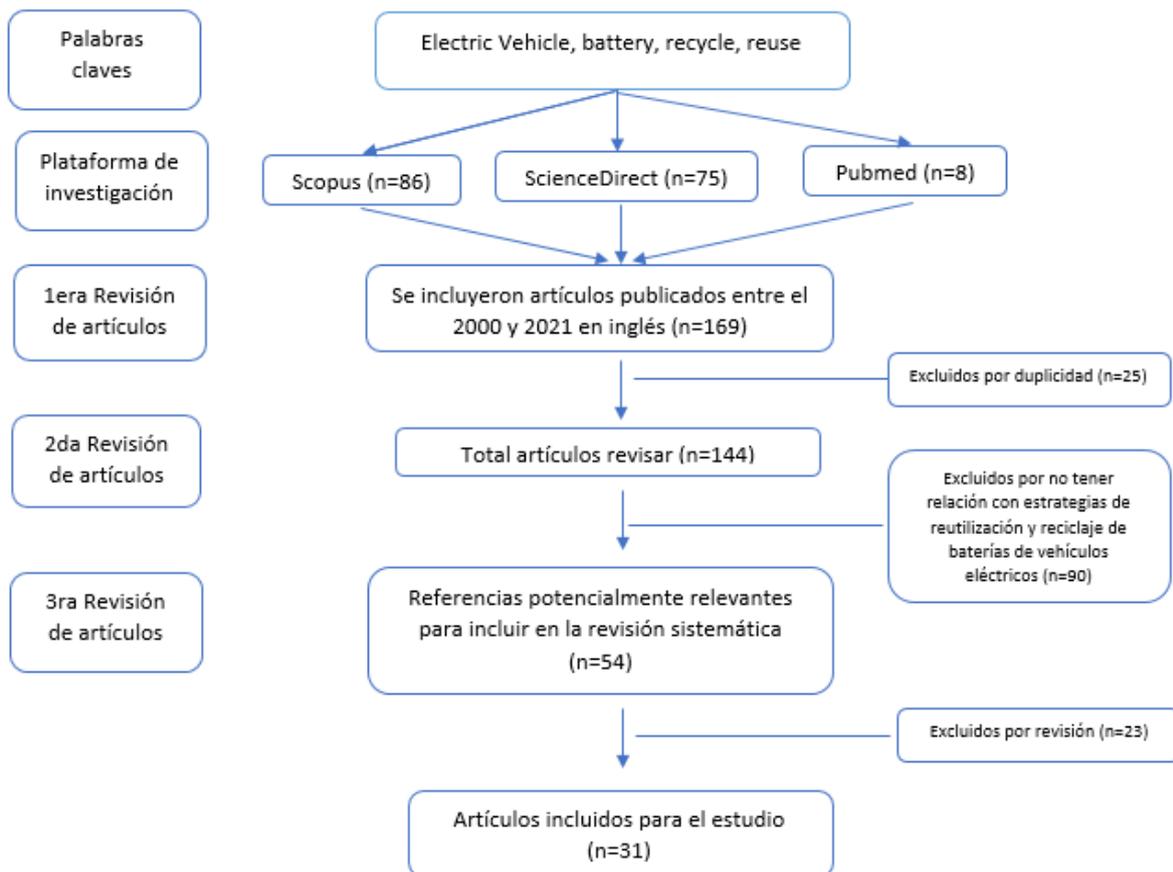
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica empleada en esta revisión sistemática fue el análisis de documentos de manera virtual el cual es un método para examinar, clasificar o codificar elementos de un mensaje, historia, artículos, en diferentes categorías (Carhuancho et.al., 2019) en donde se recogieron los datos por medio de las diferentes consultas bibliográficas y diversos materiales con la ayuda de las palabras claves que se emplean para ejecutar el propósito del estudio clasificándolos o modificándolo en categorías relacionadas a

las estrategias de reutilización y reciclaje de baterías de vehículos eléctricos (Hernández et al., 2014).

El instrumento de recolección de datos para la investigación fue la ficha de recopilación de datos en la cual se registró y organizó la documentación compilada de los documentos más relevantes (Carhuancho, 2019). Las cuales fueron elaboradas tomando en cuenta los objetivos, dimensiones y criterios de la matriz apriorística. Esta ficha estuvo conformada por título del artículo de investigación, nombre de la revista, año de la publicación, lugar, tipo de investigación, código DOI, autores, palabras claves electric vehicle” and “recycle”, “batteries”, “reuse”, resultados y finalmente, conclusiones. (Anexo 1)

3.6 Procedimiento



El procedimiento se hizo empleando las palabras claves “electric vehicle” and “recycle,” “reuse”, “batteries”, se revisaron artículos y revistas de investigación en inglés y español en línea vinculados al propósito de esta revisión. Excluyendo aquellos que no estaban comprendidos entre los 2000 y 2021. Asimismo, estos artículos se destacan debido a que son experimentales más no de opinión; y están vinculados directamente al reciclaje y reutilización. Con respecto a los criterios de exclusión no se consideraron artículos fuera del rango del tiempo de intervalo, artículos que difieran del tema; todo esto con la finalidad de obtener artículos precisos y con información destacada para la elaboración del trabajo de investigación.

3.7 Rigor científico

La finalidad del rigor científico es proporcionar una consistencia lógica y una estructura basada en la investigación, a través de la planificación, desarrollo, análisis y evaluación que proporcionarán al estudio una estimación más veraz (Oliveira, 2015). Está centrado en una matriz de categorización apriorística que proporcionará la coherencia lógica basada en la investigación, comenzando de los conceptos e ideas encontradas en las diferentes fuentes que proporcionaron al estudio una mayor estimación veraz. En tal sentido, la investigación aplicará los criterios de rigor científico mencionados anteriormente para descubrir las estrategias de reutilización de baterías de vehículos eléctricos.

La dependencia refiere que los investigadores tengan la preferencia a compilar datos en línea del tema y que a su vez sea que se está realizando, de esta manera el análisis empleado propague resultados parecidos (Rojas y Osorio, 2017). Para conseguir ello, se tiene que utilizar procedimientos como el cotejo de investigaciones a revisar (Noreña et al., 2012, p. 267). Consiguiendo así un rumbo científico al instante de interpretar la información, es decir, no combinar la percepción, idea y opinión del investigador (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). Entonces, bajo ese criterio se entiende que la información relacionada a las diferentes estrategias de reutilización de baterías de vehículos eléctricos.

La credibilidad: Este criterio define la legitimidad de la investigación (Noreña et al, 2012). Debido a que se fundamenta en la relación de los descubrimientos con la realidad teniendo una alta coherencia, consiguiendo una fiabilidad para los futuros

investigadores, que esto se dará mediante el uso de artículos científicos, documentos (Varela y Vives, 2016). Por consiguiente, la presente investigación científica utilizó fuentes confiables como revistas indexadas como es Scopus y Pubmed, obteniendo así unos documentos con alto nivel de credibilidad, es decir, documentos verídicos y respaldados.

La transferencia: Representa la posibilidad de sustituir los estudios realizados a otra investigación que tenga otro tipo de orientación (Arias y Giraldo, 2011), esto se da mediante una revisión del método, tiempo, recolección de datos, muestra en el trabajo científico (Varela y Vives, 2016) al mismo tiempo a sus autores y con ello, se buscará vincular la semejanza con otros estudios (Noreña et al., 2012).

En este sentido, se procedió a compilar productos científicos con el criterio de estrategias de reutilización y reciclaje de baterías de vehículos eléctricos y asimismo mencionar cuáles serían las mejores.

La confirmación: Este aspecto se fundamenta en la credibilidad y la confianza de los resultados realizados por los investigadores (Forero et al., 2018), ya que a través de esto se demuestra la decisión del método y principios aplicados en el estudio (Ruiz y Vives, 2016) con ello la ética y la moral que tiene el investigador al instante del término a su investigación (Noreña et al, 2012).

Bajo este principio, la presente investigación solo uso documentos que los autores garanticen la acreditación. mediante la publicación de estos en revistas científicas, asimismo en revistas internacionales con relación a las estrategias de reutilización y reciclaje de baterías de vehículos eléctricos.

3.8 Método de análisis de datos

Para cumplir con el análisis de los datos obtenidos en la presente revisión se analizó con las siguientes categorías i) Reutilización, ii) Reciclaje (Tabla 1).

Para la primera categoría, reutilización, se realizó un análisis del contenido de los artículos con el propósito de entender de mejor manera la categoría anteriormente

mencionada, en el cual es una actividad cuya finalidad es disminuir el número de baterías que son eliminadas que terminan como residuo sólido.

La categoría de reciclaje, se estableció bajo la recolección de información de los artículos usados, de la cual se establecieron los criterios de técnicas, parte de la batería reciclada, concentración de lixiviantes, temperatura, tiempo, elemento reciclado, usos de material reciclado y la importancia.

3.9 Aspectos éticos

Esta revisión en todo su proceso de redacción e indagación científica tuvo como pilares a la honestidad y la ética, por ello, toda la información plasmada en su totalidad es verídica, es decir, el contenido es confiable, tal como lo pide la Resolución de consejo universitario N° 0262-2020/UCV promulgado el 28 de agosto del 2020. Además, se respeta la autoría de los artículos científicos usados mediante el correcto citado usando la norma internacional APA 7ma edición.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la revisión sistemática en las bases de datos ScienceDirect, Scopus, basada en la metodología PRISMA, en el periodo de búsqueda de 2000 al 2021 se seleccionaron 31 artículos originales en los que se identificaron las estrategias de reutilización y reciclaje de baterías de vehículos eléctricos. A continuación, se muestran los resultados generales obtenidos producto de la revisión sistemática de la literatura científica con el fin de poder responder la pregunta ¿cuáles son las estrategias de reutilización y reciclaje de baterías de los vehículos eléctricos? Los artículos originales seleccionados se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 2.

Artículos seleccionados que identifican las estrategias de reutilización y reciclaje de baterías de los vehículos eléctricos.

| N° | Artículo | País | Base de datos | Referencia |
|----|---|----------|---------------|---------------------|
| 1 | Un método novedoso para reciclar materiales de cátodos mixtos para baterías de iones de litio | USA | Scopus | Zou et al.2013 |
| 2 | Viabilidad medioambiental de la reutilización de baterías de vehículos eléctricos. Tecnologías y evaluaciones de energía sostenible | CANADA | Scopus | Ahmadi et al.2014 |
| 3 | Análisis económico de baterías de vehículos eléctricos de segundo uso para almacenamiento de energía residencial y nivelación de carga | CANADA | Scopus | Heymans et al.2014 |
| 4 | Evaluación técnica y económica del uso secundario de baterías de vehículos eléctricos reutilizadas en el sector residencial para respaldar la energía solar | PORTUGAL | Scopus | Assunção et al.2016 |
| 5 | Una revisión sobre la gestión de la batería al final de su vida útil: desafíos, modelos y métodos de solución | USA | Scopus | Jin et al.2016 |
| 6 | Demostración de la reutilización de la batería de un vehículo eléctrico para el almacenamiento de energía solar y la gestión del lado de la demanda | USA | ScienceDirect | Shijie et al. 2017 |

| | | | | |
|----|---|---------|---------------|---------------------|
| 7 | Reutilización y reciclaje de baterías de iones de litio | CHINA | Scopus | Zhao et al.2017 |
| 8 | Proceso abreviado y de alta eficiencia para reciclar el cobre de la batería de iones de litio gastada | CHINA | Scopus | Juldez N.et al.2018 |
| 9 | Tecnologías actuales de baterías de iones de litio en vehículos eléctricos y oportunidades de avances | USA | Scopus | Miao et al.2019 |
| 10 | Análisis de viabilidad de aplicaciones de segunda vida para celdas de iones de litio utilizadas en sistemas de propulsión eléctricos utilizando indicadores ambientales | ITALIA | Scopus | Cusenza et al.2019 |
| 11 | Reutilización de baterías de vehículos eléctricos en edificios: un enfoque integrado de análisis de coincidencia de carga y evaluación del ciclo de vida. | USA | ScienceDirect | Ai et al.2019 |
| 12 | Pruebas de campo de baterías de vehículos eléctricos reutilizadas para el equilibrio de la red basado en el precio | AUSTRIA | ScienceDirect | Faessler et al.2019 |

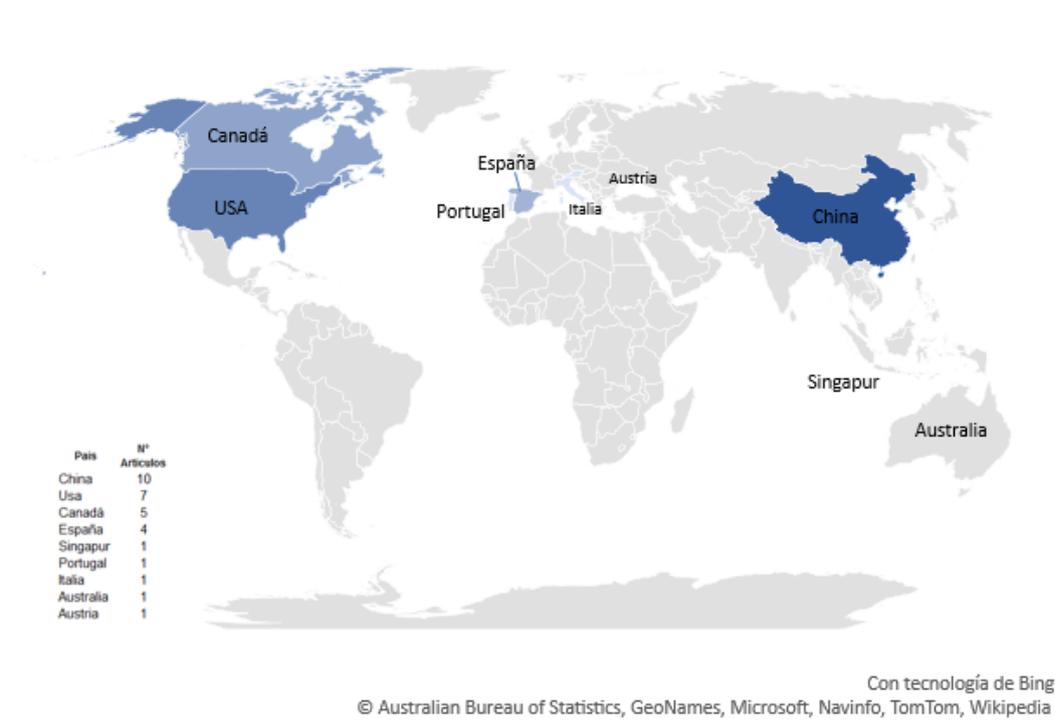
| | | | | |
|----|--|--------|---------------|--------------------|
| 13 | Recuperación de óxido de litio, níquel, cobalto y manganeso mediante pirólisis por aspersión directamente del lixiviado de restos de cátodos gastados | CHINA | Scopus | Zheng Y.et al.2019 |
| 14 | Rendimiento reutilizado de la batería del vehículo eléctrico en el servicio de regulación de frecuencia de la red eléctrica de segunda vida | CANADA | ScienceDirect | White et al.2020 |
| 15 | Evaluación experimental del envejecimiento cíclico de las baterías de iones de litio de segunda vida de los vehículos eléctricos | ESPAÑA | ScienceDirect | Braco et al.2020 |
| 16 | Diseño óptimo de la red de reciclaje de baterías de vehículos eléctricos: desde la perspectiva de los fabricantes de vehículos eléctricos | CHINA | Scopus | Wang et al.2020 |
| 17 | Planificación del desmontaje tecnoeconómico y medioambiental de paquetes de baterías de vehículos eléctricos de iones de litio para su reacondicionamiento | ESPAÑA | Scopus | Algaba et al.2020 |
| 18 | Evaluación del costo y la huella de carbono de las baterías de vehículos eléctricos de segunda vida en aplicaciones residenciales y de servicios públicos. | USA | ScienceDirect | Dipti et al. 2020 |

| | | | | |
|----|--|------------|---------------|---------------------|
| 19 | Recuperación de metales valiosos del licor de lixiviación del material de cátodo mezclado de la batería de iones de litio gastada | CHINA | Scopus | Yang Y.et al.2020 |
| 20 | Reciclaje de baterías de iones de litio al final de su vida útil de vehículos eléctricos | CANADA | Scopus | Chan K.H.et al.2020 |
| 21 | Lixiviación de litio mediante tostación de cloruro de calcio a partir de escoria pirometalúrgica simulada de una batería de iones de litio gastada | CHINA | ScienceDirect | Zhidong et al.2020 |
| 22 | Recuperación y regeneración de óxido de cobalto de litio de baterías de iones de litio gastadas mediante un método de tostado con sulfato de amonio a baja temperatura | CHINA | ScienceDirect | Tang et al. 2020 |
| 23 | Reciclaje de cátodos de baterías de fosfato de hierro y litio gastadas | SINGAPOR E | ScienceDirect | Yadav et al.2020 |
| 24 | Cambios en el estado de la batería del vehículo eléctrico y consideraciones de logística inversa | CANADA | Scopus | Akram et al.2021 |

| | | | | |
|----|---|----------|---------------|---------------------|
| 25 | Investigación sobre el modo de recuperación de baterías de energía de vehículos eléctricos de nueva energía en China bajo economía circular | CHINA | Scopus | Hu et al.2021 |
| 26 | Un método de asignación física para la evaluación comparativa del ciclo de vida: un estudio de caso de reutilización de baterías de vehículos eléctricos australianos | AUTRALIA | ScienceDirect | Nicholas et al.2021 |
| 27 | Uso secundario de baterías de vehículos eléctricos bajo subsidio gubernamental: una perspectiva de cadena de suministro de circuito cerrado | CHINA | ScienceDirect | Xiaoyu et al. 2021 |
| 28 | Evaluación experimental de baterías de vehículos eléctricos de primera y segunda vida: rendimiento, dispersión de capacidad y envejecimiento | ESPAÑA | Scopus | Braco et al.2021 |
| 29 | Desarrollo y demostración de un sistema de microrred que utiliza baterías de vehículos eléctricos de segunda vida | USA | ScienceDirect | Lacap et al. 2021 |
| 30 | Reciclaje de materiales de electrodos de baterías de energía de iones de litio gastadas mediante tratamientos térmicos y mecánicos | CHINA | Scopus | Wu Z.et al.2021 |

Es preciso destacar según la Tabla 2, respecto a los países en donde se han llevado a cabo más investigaciones, resaltan China y Estados Unidos teniendo en cuenta que estos son los principales países en la producción de baterías para vehículos eléctricos (Figura 1).

Figura 1: País de procedencia de las fuentes de investigación sobre reciclaje y reutilización de baterías de vehículos eléctricos.



4.1 Estrategias de reutilización de baterías de los vehículos eléctricos

En primer lugar, se identificó que la estrategia con mayor incidencia es el almacenamiento de energía doméstica y comercial (White,2020; Braco,2020; Miao ,2019; Assunção ,2016; Zhao ,2017; Cusenza ,2019; Nicholas ,2021; Braco ,2021; Lacap,2021; Algaba,2020; Ai,2019; Ahmadiet,2014; Faessler,2019; Dipti,2020; Heymans,2014) , ya que el almacenamiento de energía es quizás el mejor recurso para integrar mayores cantidades de energía renovable en la red de servicios domésticos o comerciales, del mismo modo se encontró que los paquetes de baterías reutilizados son ventajosos para los consumidores, ya que reducen las emisiones y proporcionan una fuente de energía renovable y de igual manera ayudan debido a que el costo del almacenamiento de energía en el mundo se convierte en un problema cada vez más urgente y mayor, una posible solución a este problema es el desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías de segunda vida. Según lo corrobora Lacap et al. (2021) en su análisis revelaron que la microrred logró una reducción promedio en la demanda máxima en horas pico del 60% y el uso de energía en horas pico del 39%. Los resultados apoyan el caso de que las baterías de segunda vida son adecuadas para el almacenamiento de energía a escala comercial. Del mismo modo lo confirma Babu et al. (2020), quienes mencionan que la industria de las microrredes enfrenta una barrera de costos cuando se trata de energía de respaldo y la reutilización de las baterías de iones de litio podría ser la solución para aumentar el valor de los servicios proporcionados por las baterías.

En segundo lugar, se encuentra la estrategia de remanufactura en vehículos eléctricos (Hu, 2021; Jin, 2016; Xiaoyu, 2021; Akram, 2021), debido al rápido aumento del número de estos en la carretera; la industria automotriz de la próxima generación puede optimizar la fabricación sostenible, mejorar la eficiencia del ciclo de vida, y reducir el impacto ambiental de las baterías de vehículos eléctricos, ya que hemos identificado que al momento de reutilizar una batería nuevamente en un vehículo eléctrico genera impactos ambientales y económicos positivos que ayudan tanto al fabricante , consumidor y al ambiente, el cual se basa en la idea que el costo original de las nuevas baterías en vehículos eléctricos es excepcionalmente alto. Del mismo modo Kampker et al. (2021) mencionan que, la remanufactura tradicional se caracteriza por el desmontaje de un núcleo hasta una profundidad óptima y por la

sustitución de algunas piezas para lograr las especificaciones y fiabilidad del producto original. Debido a la arquitectura de la batería y las características de confiabilidad de baterías de vehículos eléctricos, este enfoque no recupera el valor residual total de batería, solo las celdas. Para las baterías, es necesaria una profundidad de desmontaje hasta el nivel de la celda, lo que hace un poco complejo el poder utilizar esta estrategia de reutilización.

En tercer lugar, se ubicó la estrategia de reacondicionamiento en paneles solares (Shijie, 2017; Miao, 2019; Ahmadi, 2014; Heymans, 2014), las cuales se ha revisado que tiene una gran importancia ya que los consumidores, antes de desechar las baterías usadas de sus vehículos les pueden dar una nueva vida, es decir ser adaptadas para otras tareas dentro de casa y aprovechar para contar con una fuente de energía renovable y limpia, sin embargo los autores mencionan que esto a pesar de ser una buena opción ambiental, no es económicamente viable por los altos costos que esto conlleva. Según nos menciona Tanja et al. (2018) la energía solar continúa siendo descuidada en las políticas nacionales y los esquemas de apoyo, el consumo o instalación de paneles solares solo podrían usarse como una forma de manifestar la identidad a un segmento limitado de la población debido a lo costoso del mismo. Con el creciente mercado de vehículos eléctricos de Noruega, más hogares pueden considerar la energía fotovoltaica (paneles solares) como el siguiente paso natural para administrar su propia electricidad, las baterías se pueden usar en combinación con la energía fotovoltaica para evitar la compra de poder en los picos de carga, períodos con precios altos y por lo tanto, conducen a una reducción de los costos de consumo de energía; es posible que el uso de los paneles solares aumente su atractivo general al señalar también la racionalidad económica además de un estilo de vida moderno, cómodo, técnicamente interesante y respetuoso con el ambiente. Al respecto Vermeer et al. (2020), profundiza y aclara que los costos de degradación de las baterías de vehículos eléctricos, así como los costos de inversión / instalación fotovoltaica son costos no despreciables frente al objetivo que intenta minimizar que sería el costo total de energía ahorrada.

Como resultado se encontró que el potencial de las baterías de segunda vida reside en su estado de salud (SoH). Para habilitar este mercado de baterías de segundo uso, es necesario demostrar la capacidad de dichas baterías en escenarios del mundo real

y es fundamental validar la longevidad de estas baterías. Según muestra el cuadro hay un rango entre 66% y 94.4% de capacidad de las baterías antes de ser reutilizadas en alguna estrategia (White,2020; Braco,2020; Shijie,2017; Akram,2021; Wang,2020; Miao,2019; Assunção,2016; Hu,2021; Zhao,2017; Jin,2016; Cusenza,2019; Nicholas,2021; Xiaoyu,2021; Braco,2021; Lacap,2021; Algaba,2020; Ahmadiet,2014; Faessler,2019; Dipti,2020; Heymans,2014). Igualmente lo confirman, Haram et al. (2021), cuando indica que una vez que las baterías de los vehículos eléctricos se degradaron al 70-80% de su capacidad, los propietarios de vehículos eléctricos tendrán que reemplazar las baterías del vehículo eléctrico como residuos. Estas baterías podrían reutilizarse en otras aplicaciones, donde se conocen como baterías de vehículos eléctricos de segunda vida (SLB). Sin embargo, el autor Ai et al. (2019), menciona que el rango de capacidad y/o potencial de la batería podría ser considerado desde el 50% a 100%, debido a la intervención del estado mediante un subsidio como apoyo para la recuperación de las baterías. Yong et al. (2020) confirma que en Corea todos los consumidores que compran vehículos eléctricos con subsidio en Corea tienen que devolver la batería al final de su vida útil a los gobiernos locales en virtud de la Ley de Conservación del Aire Limpio, es decir la política de reciclaje para la batería al final de su vida útil de los vehículos eléctricos en Corea utilizará el sistema responsabilidad ampliada del productor para la recolección y el reciclaje de las baterías al final de la vida útil de los vehículos eléctricos y todas las demás partes de los vehículos eléctricos serán gestionadas por el sistema Eco-Assurance sin distinción.

A pesar de que se identificó diversos tipos de baterías las de ion litio son las más utilizadas actualmente en el mercado y aunque tengan diferente composición química se consideran las mejores entre todos los tipos y celdas de batería, debido a sus características y rendimiento superiores. Encontramos que la batería más estudiada es la mezcla de LMO/NMC, (LMO) Óxido de manganeso y Litio, (NMC) níquel, cobalto y manganeso, (Wang,2020; Miao,2019; Hu,2021; Zhao,2017; Jin,2016; Cusenza,2019; Nicholas,2021; Xiaoyu,2021; Braco,2021; Lacap,2021; Ai,2019; Ahmadi,2014; Heymans,2014) para el caso de las baterías Fosfato de hierro y litio (LFP) las cuales fueron las segundas más estudiadas, (Shijie,2017; Akram,2021; Miao,2019; Hu,2021;Ahmadi,2014), que según lo corrobora Raugai et al. (2019), las baterías LMO y LFP generalmente pueden considerarse las menos críticas para el

ambiente, ya que no contienen metales particularmente tóxicos o raros. También son tecnologías relativamente maduras, que han estado disponibles comercialmente desde mediados de la década de 1990. Sin embargo, se encontró que el autor Faessler et al. (2019), menciona una batería con tipo de composición química diferente el cual es NaAlCl₄ (ZEBRA), así entendemos que solo ha sido analizado por un autor como recuperación. Gross et al.(2021) menciona que esta batería es un sistema seguro y confiable para el almacenamiento de energía eléctrica a escala de la red, a pesar que el despliegue tradicional de baterías de sodio fundido (Na) sigue estando limitado por la operación de alta temperatura que aumenta los costos.

Respecto a la importancia de las estrategias de reutilización se encontró que los autores tienen una gran inclinación y preocupación por sobre la correcta gestión que se lleva con las baterías al final de su primera vida útil (White, 2020; Braco, 2020; Shijie, 2017; Assunção, 2016; Hu, 2021; Jin, 2016; Cusenza, 2019; Ai, 2019; Faessler, 2019; Dipti, 2020; Heymans, 2014) en su mayoría debido al pronto desarrollo en el mercado de vehículos eléctricos es necesario cumplir los objetivos globales de disminución de emisiones de gases de efecto invernadero, mejorar la calidad del aire en los centros urbanos y compensar las necesidades de los consumidores (Akram, 2021; Wang, 2020; Miao, 2019; Zhao, 2017; Nicholas, 2021; Xiaoyu, 2021; Lacap, 2021; Algaba, 2020; Ahmadi, 2014) es por esto que los vehículos eléctricos son cada vez más populares. Sin embargo, un número progresivo de vehículos eléctricos presenta un serio desafío de gestión de residuos para los recicladores al final de su vida útil.

Tabla 3: Estrategias de reutilización de baterías de vehículos eléctricos

| Técnica de reutilización | Estrategia de reutilización | Tipo de vehículo de procedencia de la batería | Tipo de batería | Capacidad de la batería antes de ser reciclada (%) | Importancia | Referencia |
|-------------------------------|--|--|---|--|--|--------------------|
| Reacondicionar Y Reconfigurar | -Almacenamiento de energía doméstica y comercial | Chevrolet VoltGeneration1 EnerDel HybridBus Tesla ModelS85 Nissan LeafGenerati Lishen -LFP | - LMO–NMC -NMC -NCA -LMO -LFP | 94.4% 92.7% 95.8% 90.6% 93.3% | La reutilización de las baterías de vehículos eléctricos (EV) para una "segunda vida" en aplicaciones de cuadrícula de electricidad es potencial solución para extender el valor de estas baterías de alta calidad más allá del servicio de los vehículos eléctricos | White et al.2020 |
| Reacondicionar Y Reconfigurar | -Almacenamiento de energía doméstica y comercial | Nissan Leaf | LMO | 71,2% | Permite aprovechar su capacidad energética restante y aumentar su vida útil. | Braco et al.2020 |
| Reacondicionar | Paneles solares | - | LFP | 80% | Sistema de almacenamiento de energía de la batería puede mitigar con éxito la intermitencia solar y la fluctuación de la demanda de energía mediante la carga del exceso de energía solar y la descarga durante el período de máxima demanda. | Shijie et al. 2017 |

| | | | | | | |
|-----------------------------------|--|-------------|------------------------------|----------------------------------|---|---------------------|
| Remanufacturado | -Vehículos eléctricos - Paneles solares | - | LFP | >88% 87% hasta 75% <75% | Apoya el medio ambiente, pero dada la creciente demanda y el suministro finito de materias primas, existe la oportunidad de capturar el beneficio económico | Akram et al.2021 |
| Remanufacturado Reacondicionar | -Vehículos eléctricos - Paneles solares | - | LMO–NMC NMC | >80% 70% hasta 80% | las baterías pronto llegarán al final de su vida útil; cómo reciclarlos para reducir la contaminación ambiental y promover el desarrollo sostenible del mercado de vehículos eléctricos | Wang et al.2020 |
| Reacondicionar | -Paneles solares -Almacenamiento de energía doméstica y comercial | - | LMO–NMC NMC LMO LFP | 70 - 80% | Oportunidades para reutilizar y reciclar las baterías, debido a los impactos ambientales. | Miao et al.2019 |
| Reacondicionar Y Reconfigurar | Almacenamiento de energía doméstica y comercial | Nissan Leaf | LMO | 70% | Empresas que buscan implementar tecnologías de almacenamiento de energía residencial, así como para los consumidores que quieran instalar estos sistemas en sus hogares | Assunção et al.2016 |

| | | | | | | |
|-------------------------------|--|---|-------------------------------------|---------|--|--------------------|
| Remanufacturado | Vehículos eléctricos | - | LMO-NMC NMC NCA LMO LFP | 80% | El fin de establecer una red de recuperación verde completa y promover la logística inversa activa del reciclaje de baterías de energía. | Hu et al.2021 |
| Reacondicionar Y Reconfigurar | -Almacenamiento de energía doméstica y comercial | - | LMO-NMC | 80% | la reutilización de Baterías de Ion Litio puede reducir efectivamente el costo de los vehículos eléctricos (EV) al extender la vida útil de las baterías. | Zhao et al.2017 |
| Remanufacturado | Vehículos eléctricos | - | LMO-NMC/GR | 75- 80% | El final de vida util óptimas de la batería que maximizan el ahorro de costos o minimizan el costo del ciclo de vida. | Jin et al.2016 |
| Reacondicionar Y Reconfigurar | Almacenamiento de energía doméstica y comercial | - | LMO-NMC | 80% | Los sistemas de almacenamiento de energía para edificios, térmicos y eléctricos son útiles para aumentar la flexibilidad energética y optimizar las interacciones entre los usuarios y las redes energéticas | Cusenza et al.2019 |

| | | | | | | |
|-------------------------------|---|-------------|---|----------|---|---------------------|
| Reacondicionar Y Reconfigurar | Almacenamiento de energía doméstica y comercial | - | LMO–NMC | 66% -75% | El mundo pasa a una economía verde, guiado por las fuerzas del mercado y la jerarquía de gestión de residuos | Nicholas et al.2021 |
| Remanufacturado | Vehículos eléctricos | - | LMO–NMC NMC/HC NCA/GR LMO/GR LFP/GR | 70%- 80% | promover el uso secundario de baterías de vehículos eléctricos, desarrollo sostenible de la industria de baterías de vehículos eléctricos. | Xiaoyu et al. 2021 |
| Reacondicionar Y Reconfigurar | Almacenamiento de energía doméstica y comercial | Nissan Leaf | LMO–NMC | 70- 80% | potencial técnico debe ser acompañado de costos significativamente más bajos que las baterías nuevas, para que su integración en aplicaciones estacionarias se convierta en una realidad. | Braco et al.2021 |
| Reacondicionar Y Reconfigurar | Almacenamiento de energía doméstica y comercial | Nissan Leaf | LMO–NMC | 71% | Un sistema de baterías de segunda vida reduce simultáneamente el desperdicio de baterías difíciles de reciclar y compensa la demanda de producir más | Lacap et al. 2021 |

| | | | | | | |
|-------------------------------|--|-------------------|--|-----------|---|-------------------|
| Reacondicionar Y Reconfigurar | Almacenamiento de energía doméstica y comercial | Audi A3 Sportback | - | 80% | Esta solución reduce impactos ambientales | Algaba et al.2020 |
| Reacondicionar Y Reconfigurar | Almacenamiento de energía doméstica y comercial | - | LMO–NMC | 50% -100% | El manejo inadecuado de las baterías de vehículos eléctricos al final de su vida útil (EOL), como la práctica actual, compromete los beneficios de la adopción de EV | Ai et al.2019 |
| Reacondicionar | -Paneles solares -Almacenamiento de energía doméstica y comercial | - | LMO–NMC NMC NCA LMO LFP *Dependiendo requerimientos | 80% | . La magnitud de la mitigación de CO2 asociada con la reutilización de la batería es similar a la de cambiar el uso de un vehículo convencional a un vehículo eléctrico, lo que significa que los beneficios de los gases de efecto invernadero (GEI) de la electrificación del vehículo podrían duplicarse al extender la vida útil de las baterías de los vehículos eléctricos. | Ahmadi et al.2014 |

| | | | | | | |
|-------------------------------|--|----------------|-----------------------------|----------|---|---------------------|
| Reacondicionar Y Reconfigurar | -Almacenamiento de energía doméstica y comercial | Think city | NaAlCl ₄ (ZEBRA) | 70% -80% | A medida que los coches eléctricos se generalicen, la eliminación y el reciclaje de baterías usadas se convertirá en un desafío importante | Faessler et al.2019 |
| Reacondicionar | -Almacenamiento de energía doméstica y comercial | - | LMO/GR | 70 - 80% | Oportunidad de utilizar un producto al final de su vida útil para aplicaciones de almacenamiento de energía | Dipti et al. 2020 |
| Reacondicionar | -Paneles solares -Almacenamiento de energía doméstica y comercial | Chevrolet Volt | LMO–NMC | 80% | El uso de un batería de vehículos eléctricos de segundo uso aumenta el uso de energía en los hogares, pero potencialmente mejora la eficacia económica y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero. | Heymans et al.2014 |

4.2 Estrategias de reciclaje de baterías de los vehículos eléctricos

La estrategia planteada por los autores es la recuperación de metales valiosos “elementos químicos” mediante diversas técnicas, (Yang, 2020; Chan, 2020; Zheng,2019; Juldez,2018; Wu,2021; Zou,2013; Vieceli,2021; Zhidong,2020; Tang, 2020; Yadav,2020) esta estrategia tiene como base la importancia de tener una correcta gestión de los recursos naturales que se utilizan para la fabricación de las baterías para los vehículos eléctricos, debido al suministro limitado, el aumento constante del costo y los métodos de extracción ambientalmente cuestionables de los metales valiosos como níquel, cobalto, litio, manganeso.

De lo anteriormente expuesto, en aras de lograr la estrategia mencionada que es recuperar los metales valiosos se identificó 3 tipos de procesos para poder gestionar esta estrategia, las cuales son: Hidrometalúrgica, Pirometalúrgica y Separación física.

En primer lugar, la técnica Hidrometalúrgica, según nos refieren Wang et al. (2021) este proceso incluye la lixiviación de metales en forma de iones en soluciones y la posterior recuperación de estos metales mediante separación selectiva para la fabricación de nuevos materiales, además según los diferentes agentes de lixiviación, esta se puede clasificar en lixiviación de ácidos inorgánicos, lixiviación de ácidos orgánicos, lixiviación de amoníaco y biolixiviación. La lixiviación debe evaluarse en aspectos integrales, incluidas la velocidad de reacción del proceso de lixiviación, la eficiencia de la lixiviación, respeto al ambiente, precio y capacidad de reciclaje. Para este estudio los resultados muestran que solo uno de los artículos utilizó ácidos orgánicos como lixivante el cual fue, ácido metilsulfónico (MSA) (Yadav,2020), el resto fueron ácidos inorgánicos como ácido fosfórico, ácido sulfúrico (Yang et al.2020; Chan,2020; Vieceli,2021). Sin embargo es necesario resaltar que Meshram et al., (2015) aseguran que para disminuir el impacto negativo de los ácidos inorgánicos, reducir la contaminación ambiental y encontrar un tratamiento amigable con el medio ambiente, recomienda utilizar herramientas de reciclaje verde como ácidos orgánicos como lixivante para el proceso hidrometalúrgico.

Así mismo se identificó que para este tipo de proceso la parte de las baterías que es más reciclada son los cátodos gastados (Yang, 2020; Chan et al.2020; Vieceli, 2021;

Yadav, 2020). Esto es sustentado por Zou et al., (2013) cuando indica que el material del cátodo es la parte más costosa de una batería, sin embargo, el desafío es reciclar baterías de los vehículos eléctricos con diferentes químicas de cátodo, ya que es difícil separar hierro, níquel, cobalto y manganeso debido a sus propiedades similares.

Respecto a la eficiencia de recuperación se identificó que en el proceso hidrometalúrgico se ha llegado a obtener desde 70% hasta 98.6% de eficiencia para el Níquel (Yang ,2020; Chan ,2020) para el caso de Cobalto desde 98.4% hasta 100% (Yang ,2020; Chan ,2020) para el Manganeso desde 70% hasta 99% (Vieceli,2021; Yang ,2020; Chan ,2020), y por último el Litio con una eficiencia de recuperación desde 40% hasta 100% (Vieceli,2021; Yang ,2020; Chan ,2020; Yadav et al.2020). Lo cual es confirmado por Ministerio de Industria y Tecnología de la Información , China (2016) , cuando indica que las tasas de recuperación integral deben ser de hasta el 98% para Co y Ni bajo el proceso de hidrometalurgia.

En segundo lugar, la técnica Pirometalúrgica, Gaines (2014) nos refiere que es un proceso de fundición a alta temperatura, que generalmente implica la quema y posterior separación de los metales. Asimismo, Meshram et al. (2015) afirman que se queman otros productos químicos nocivos como: solventes, plásticos que sirven como un papel importante para proporcionar una gran cantidad de energía de proceso.

Se muestra que el rango de temperatura que se utilizaron fue entre 400 a 800 C° (Zheng, 2019; Zou, 2013; Zhidong, 2020; Tang, 2020) y el rango de tiempo de procesamiento mínimo que se encontró fue de 1 hora (Zhidong, 2020) y el máximo de 15 horas (Zou, 2013). Al respecto se afirma que las técnicas pirometalúrgicas dependen de varios factores, siendo los más destacados la temperatura y el tiempo de procesamiento (Makuza et al., 2021) estos resultados muestran en el tiempo que hay mejoras en el proceso.

De igual manera se muestra la recuperación de metales como el níquel en un rango 98% al 100% (Zheng ,2019; Zou,2013) para el caso del Cobalto de 98% al 100% (Tang, 2020; Zheng ,2019; Zou,2013) estos metales, en particular el cobalto y el níquel, son los principales objetivos del reciclaje, y la recuperación pirometalúrgica ya que es un proceso de uso frecuente para extraer metales de alto valor como el níquel (Sean, 2021) sin embargo, se asegura que el litio y el manganeso no se pueden

reciclar porque están atrapados en la escoria de materiales complejos (Zhen et al., 2019). No obstante, se encontró en los artículos estudiados que, si se puede recuperar el litio y manganeso, mediante el proceso pirometalúrgico en base a la “escoria-masa negra” lográndose obtener entre 90.58% a 98% de Litio (Zhidong,2020; Tang,2020) y el Manganeso 98% al 100% (Zheng ,2019; Zou,2013) pero se debe considerar y evaluar los costos, tiempo e impactos ambientales, debido a que toma un mayor tiempo y dinero.

Por último, es necesario resaltar sobre la importancia que les dan los autores a las técnicas de reciclaje tenemos 2 posiciones como son la recuperación de metales valiosos y la correcta disposición para permitir una cadena de suministro cerrado (Yang, 2020; Chan, 2020; Zheng, 2019; Juldez, 2018) y sobre el tema de los recursos limitados, y evitar problemas ambientales y de salud. (Wu, 2021; Zou, 2013; Vieceli, 2021; Tang, 2020; Yadav, 2020). Al respecto Ortego et al., (2020) mencionan que debido a que los elementos más requeridos para la fabricación de baterías de vehículos eléctricos son níquel, litio y cobalto, es importante el aumento de la reciclabilidad de estos metales los cuales deben ser fuertemente incentivados en el sector automotriz u otra alternativa sería la búsqueda de sustitutos de estos metales. Del mismo modo, Mayyas et al., (2019) nos confirman que los impactos ambientales de la extracción de estos materiales también han llamado la atención a medida que aumenta la producción de baterías para satisfacer la mayor demanda de vehículos eléctricos. Por otra parte, Xiaoyu et al. (2018) afirman que, si bien el reciclaje tendría beneficios ambientales como la reducción de la extracción y consumo de materias primas en comparación con la fabricación de una nueva batería, es muy probable que no se obtengan beneficios económicos debido a la complejidad de los procesos de reciclaje. Sin embargo, Lander et al. (2021) afirman que se podría garantizar un proceso rentable en los primeros años de funcionamiento de las plantas de reciclaje siempre y cuando haya intervención del estado en forma de subvenciones y otros medios financieros hasta que se pueda alcanzar las economías de escala o los materiales de alto valor ya no se incluyan en la química de las baterías futuras y así se pueda evitar que las baterías actualmente terminen en los vertederos según lo aclara (Xiaoyu et al. 2018).

Tabla 4: Estrategias de reciclaje de baterías de vehículos eléctricos

| Técnica de reciclaje | Estrategia de reciclaje | Parte de la batería reciclada | Concentración de lixiviante % | Temperatura C° | Tiempo | Elemento reciclado % eficiencia recuperación | Usos material reciclado | Importancia | Referencia |
|----------------------|----------------------------------|---------------------------------|---|----------------|---------|--|---|--|------------------|
| Hidrometalúrgico | Recuperación de metales valiosos | Lixiviación Cátodos gastados | 1. sulfato de amonio 2. 40% D2EHPA (Ácido fosfórico) | 60°C | 300 min | 95% níquel 100% cobalto 99% Manganeseo 40% Litio | Nuevas baterías con el material reciclado | Todo el proceso de recuperación es fácil y puede ayudar a reciclar de manera efectiva el litio, el níquel, el cobalto y el manganeso de los materiales de cátodo. El énfasis en el desarrollo y optimización de procesos hidrometalúrgicos eficientes para reciclar una batería de iones de litio de un vehículo eléctrico, para evitar la no correcta disposición | Yang et al.2020 |
| Hidrometalúrgico | Recuperación de metales valiosos | Cátodos gastados | H2SO4 (Ácido sulfúrico) + H2O2 (Peróxido de Hidrogeno) | 50 ° C | 60 min | 98.6% níquel 98.4% de cobalto 98,6% manganeso 100% de litio | Regenerar un nuevo material de cátodo | cantidad de baterías gastadas, incluidos metales valiosos como litio, cobalto, manganeso, níquel, cobre, aluminio, etc. | Chan et al.2020 |
| Pirometalúrgico | Recuperación de metales valiosos | Polvo de cátodo gastado | ácido acético orgánico y peróxido de hidrógeno, | 800 °C | 6 h | Superior al 98%, Níquel, Cobalto, Manganeseo Aluminio y Cobre | Nuevas baterías con el material reciclado | | Zheng et al.2019 |

| | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------|---|---------------|------------|---|---|---|---------------------|
| Separación física de materiales | Recuperación de metales valiosos | Lamina de cobre / Ánodo | Líquido iónico | 180° C | 30 min | - | Nuevas baterías con el material reciclado | Suavizará la alta tasa de reciclaje del cobre y el aluminio y permitirá la cadena de suministro de circuito cerrado para la batería de iones de litio gastada. | Juldez et al.2018 |
| Separación física de materiales | Recuperación de metales valiosos | Electrodos | - | 210-330 ° C | 30-180 min | - | Nuevas catodos | Evitar a contaminación ambiental y el desperdicio de recursos para lograr el desarrollo sostenible | Wu et al.2021 |
| Pirometalúrgico | Recuperación de metales valiosos | Cátodos gastados | Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) | 900 ° C | 15 h | 100% Níquel, Cobalto, Manganeso | Regenerar un nuevo material activo de cátodo Utilizarlo como parte de nueva batería | Teniendo en cuenta nuestros recursos limitados, el impacto medioambiental y la seguridad nacional, las baterías de iones de litio deben reciclarse. Materiales impuros tienen menos valor en el sector comercial. | Zou et al.2013 |
| Hidrometalúrgico | Recuperación de metales valiosos | Cátodos gastados | Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) | 600 - 700 ° C | 60 min | >70% para Níquel, Cobalto, Manganeso, Litio | - | La creciente demanda de baterías de iones de litio dará como resultado un flujo creciente de baterías gastadas, que deben reciclarse para prevenir problemas ambientales y de salud | Vieceli et al. 2021 |

| | | | | | | | | | |
|------------------|----------------------------------|------------------------|--|----------|-----------|---------------------|--|---|--------------------|
| Pirometalúrgico | Recuperación de metales valiosos | "Masa negra - escoria" | Cloruro de calcio (CaCl ₂) | 800 ° C | 60 minut | Litio 90.58% | Almacenamiento de litio y el desarrollo de baterías de iones de litio. | Beneficioso para litio almacenamiento y desarrollo de baterías de iones Litio | Zhidong et al.2020 |
| Pirometalúrgico | Recuperación de metales valiosos | "Masa negra - escoria" | Sulfato de amonio fundido ((NH ₄) ₂ SO ₄) | 400 ° C. | 120 minut | 98% Litio y Cobalto | Recuperar y regenerar Oxido de Litio de baterías de iones de litio | Que deben reciclarse para prevenir problemas ambientales y de salud, al tiempo que ayuda a mitigar la dependencia de las materias primas | Tang et al. 2020 |
| Hidrometalúrgico | Recuperación de metales valiosos | Cátodos gastados | Ácido metilsulfónico (MSA) y el ácido p - toluenosulfónico (TSA) - ORGANICOS | 96°C | 30 min | >95% Litio, Hierro | Reutilizamos estos elementos para sintetizar material de cátodo de LFP activo utilizado para hacer un nuevo LIB de LFP | Todo el proceso de reciclaje es ecológico y respetuoso con el medio ambiente, ya que evitamos el uso de ácidos minerales fuertes en nuestro proceso | Yadav et al.2020 |

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los estudios revisados, podemos concluir que:

Se concluyó que las tres estrategias de reutilización son el almacenamiento de energía doméstica y comercial, remanufactura en vehículos eléctricos y reacondicionamiento en paneles solares, esto debido a que existe una gran necesidad de lograr un mercado de segundo uso para las baterías de vehículos eléctricos y así extender su ciclo de vida. Además, cabe resaltar que, en la jerarquía de gestión de residuos, la reutilización se considera preferible al reciclaje. Sin embargo, es necesario que la industria automotriz, los gobiernos y la sociedad estén preparados para las importantes oportunidades económicas y ambientales que generaría la reutilización de baterías de vehículos eléctricos al final de su vida útil.

Se concluyó que la única estrategia de reciclaje de baterías de vehículos eléctricos utilizada es la recuperación de metales valiosos el cual dependerá del tipo y tiempo de proceso que se aplique utilizando las siguientes técnicas de recuperación como son el proceso hidrometalúrgico, pirometalúrgico y separación física. Cuando las baterías de vehículos eléctricos ya no cumplen con los requisitos mínimos para la reutilización, estos ingresan directamente al reciclaje. Es necesario encontrar un punto de equilibrio ambiental y económico entre estas técnicas de reciclaje para poder lograr una economía circular por cual es necesario desarrollar políticas ambientales que apoyen y favorezcan el reciclaje.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda diseñar y aplicar políticas y regulaciones de estado que favorezcan la reutilización y reciclaje de las baterías de vehículos eléctricos, el apoyo de los gobiernos es de vital importancia.

Definir áreas específicas con condiciones y características adecuadas para la reutilización y reciclaje de las baterías de vehículos eléctricos y así se pueda lograr la estandarización de procesos.

Investigar a profundidad la viabilidad económica y ambiental real de reutilización en almacenamiento de energía doméstica y comercial.

REFERENCIAS

1. Abdelbaky, M., Peeters, J. R., Duflou, J. R., & Dewulf, W. (2020). Forecasting the EU recycling potential for batteries from electric vehicles. Paper presented at the Procedia CIRP, 90 432-436. doi:10.1016/j.procir.2020.01.109 Retrieved from www.scopus.com
2. Ahmadi, L., Yip, A., Fowler, M., Young, S. B., & Fraser, R. A. (2014). Environmental feasibility of re-use of electric vehicle batteries. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 6, 64-74. doi:10.1016/j.seta.2014.01.006
3. Ai, N., Zheng, J., & Chen, W. -. (2019). U.S. end-of-life electric vehicle batteries: Dynamic inventory modeling and spatial analysis for regional solutions. Resources, Conservation and Recycling, 145, 208-219. doi:10.1016/j.resconrec.2019.01.021
4. Akram, M. N., & Abdul-Kader, W. (2021). Electric vehicle battery state changes and reverse logistics considerations. International Journal of Sustainable Engineering, 14(3), 390-403. doi:10.1080/19397038.2020.1856968
5. Alfaro-Algaba, M., & Ramirez, F. J. (2020). Techno-economic and environmental disassembly planning of lithium-ion electric vehicle battery packs for remanufacturing. Resources, Conservation and Recycling, 154 doi:10.1016/j.resconrec.2019.104461
6. Algaba Alfaro, M., & Ramirez, F. J. (2020). Techno-economic and environmental disassembly planning of lithium-ion electric vehicle battery packs for remanufacturing. Resources, Conservation and Recycling, 154 doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104461
7. ARIAS, María y GIRALDO, Clara. El rigor científico en la investigación cualitativa. Investigación y Educación en Enfermería [en línea]. 2011, n° 3, vol. 29. [Fecha de consulta: 19 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=105222406020> ISSN: 0120-5307
8. Assunção Andre , Pedro S. Moura, Aníbal T. de Almeida, Technical and economic assessment of the secondary use of repurposed electric vehicle

- batteries in the residential sector to support solar energy, *Applied Energy*, Volume 181, (2016) Pages 120-131, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.056>.
9. Babu, L., Donta, P., Gupta, A., & Ranjit, M. (2020). Economic analysis of second use batteries for energy storage in microgrids. Paper presented at the ASEM 41st International Annual Conference Proceedings "Leading Organizations through Uncertain Times", Retrieved from www.scopus.com
 10. Bobba, S., Mathieux, F., & Blengini, G. A. (2019). How will second-use of batteries affect stocks and flows in the EU? A model for traction li-ion batteries. *Resources, Conservation and Recycling*, 145, 279-291. doi:10.1016/j.resconrec.2019.02.022
 11. Braco Elisa, Idoia San Martín, Alberto Berrueta, Pablo Sanchis, Alfredo Ursúa, Experimental assessment of cycling ageing of lithium-ion second-life batteries from electric vehicles, *Journal of Energy Storage*, Volume 32 (2020) 101695, ISSN 2352-152X <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101695>.
 12. Braco, E., San Martín, I., Berrueta, A., Sanchis, P., & Ursua, A. (2021). Experimental assessment of first- and second-life electric vehicle batteries: Performance, capacity dispersion and aging. *IEEE Transactions on Industry Applications*, doi:10.1109/TIA.2021.3075180
 13. Bratosin, I., Ghica, V. G., Petrescu, M. I., Buzatu, M., Iacob, G., & Necşulescu, A. D. (2021). Researches on the recovery of useful metals from spent li-ion batteries. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, , 1037(1) doi:10.1088/1757-899X/1037/1/012039 Retrieved from www.scopus.com
 14. C. McKerracher , "Electric vehicle outlook 2017," Bloomberg New Energy Finance, July 2017
 15. Carhuancho Mendoza, I. M., Sicheri Monteverde, L., Nolazco Labajos, F. A., Guerrero Bejarano, M. A., Casana Jara, K. M. (2019). Metodología de la investigación holística. UIDE. Guayaquil. Recuperado de: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/3893>

Cell Reports Physical Science, Volume 2, Issue 7, 100489, ISSN 2666-3864, <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2021.100489>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666386421001892>)

16. Chan, C. C. (2002). The state of the art of electric and hybrid vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 90(2), 247-275. doi:10.1109/5.989873
17. Chan, K. H., Malik, M., Anawati, J., & Azimi, G. (2020). Recycling of end-of-life lithium-ion battery of electric vehicles doi:10.1007/978-3-030-36758-9_3 Retrieved from www.scopus.com
18. Chen, M., Ma, X., Chen, B., Arsenault, R., Karlson, P., Simon, N., & Wang, Y. (2019). Recycling end-of-life electric vehicle lithium-ion batteries. *Joule*, 3(11), 2622-2646. doi:10.1016/j.joule.2019.09.014
19. Cusenza Maria , Francesco Guarino, Sonia Longo, Marina Mistretta, Maurizio Cellura, Reuse of electric vehicle batteries in buildings: An integrated load match analysis and life cycle assessment approach, *Energy and Buildings*, Volume 186(2019) Pages 339-354, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.032>.
20. De Rousseau, M., Gully, B., Taylor, C., Apelian, D., & Wang, Y. (2017). Repurposing used electric car batteries: A review of options. *JOM*, 69(9), 1575-1582. doi:10.1007/s11837-017-2368-9
21. Dipti Kamath, Siddharth Shukla, Renata Arsenault, Hyung Chul Kim, Annick Anctil, Evaluating the cost and carbon footprint of second-life electric vehicle batteries in residential and utility-level applications, *Waste Management*, Volume 113(2020) Pages 497-507, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.05.034>.
22. El Harrouti, T., Abouabdellah, A., & Serrou, D. (2020). Impact of electric mobility on the sustainable development of the country, case study in morocco. Paper presented at the 2020 13th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management, LOGISTIQUA 2020, doi:10.1109/LOGISTIQUA49782.2020.9353727 Retrieved from www.scopus.com
23. Enyedi, S. (2018). Electric cars - challenges and trends. Paper presented at the 2018 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing,

- Robotics, AQTR 2018 - THETA 21st Edition, Proceedings, 1-8. doi:10.1109/AQTR.2018.8402776 Retrieved from www.scopus.com
24. Faessler B., P. Kepplinger, J. Petrasch, Field testing of repurposed electric vehicle batteries for price-driven grid balancing, *Journal of Energy Storage*, Volume (2019) Pages 40-47, ISSN 2352-152X, <https://doi.org/10.1016/j.est.2018.10.010>.
25. Faraz, A., Ambikapathy, A., Thangavel, S., Logavani, K., & Arun Prasad, G. (2021). Battery electric vehicles (BEVs) doi:10.1007/978-981-15-9251-5_8 Retrieved from www.scopus.com
26. Gaines, L. (2014). The future of automotive lithium-ion battery recycling: Charting a sustainable course. *Sustainable Materials and Technologies*, 1, 2-7. doi:10.1016/j.susmat.2014.10.001
27. Gao, Y., Li, Y., Li, J., Xie, H., & Chen, Y. (2020). Direct recovery of LiCoO₂ from the recycled lithium-ion batteries via structure restoration. *Journal of Alloys and Compounds*, 845 doi:10.1016/j.jallcom.2020.156234
28. Garrido Arilla, María Rosa. Fundamentos del análisis documental. En: *Manual de Ciencias de la Documentación*. Madrid : Pirámide, 2002
29. Gross Martha M. , Stephen J. Percival, Rose Y. Lee, Amanda S. Peretti, Erik D. Spoerke, Leo J. Small. (2021) A high-voltage, low-temperature molten sodium battery enabled by metal halide catholyte chemistry,
30. Gu, X., Ieromonachou, P., Zhou, L., & Tseng, M. -. (2018). Developing pricing strategy to optimise total profits in an electric vehicle battery closed loop supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 203, 376-385. doi:10.1016/j.jclepro.2018.08.209
31. Haram, M. H. S. M., Lee, J. W., Ramasamy, G., Ngu, E. E., Thiagarajah, S. P., & Lee, Y. H. (2021). Feasibility of utilising second life EV batteries: Applications, lifespan, economics, environmental impact, assessment, and challenges. *Alexandria Engineering Journal*, 60(5), 4517-4536. doi:10.1016/j.aej.2021.03.021
32. Hernandez (2003) Z, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María. *Metodología de la investigación*. 6.a ed. México: McGRAW-HILL, (2014). 600 pp. [Fecha de consulta: 14 de Junio de 2021]. Disponible en <https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/file>

s/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf ISBN: 9781456223960

33. Heymans, C., Walker, S. B., Young, S. B., & Fowler, M. (2014). Economic analysis of second use electric vehicle batteries for residential energy storage and load-levelling. *Energy Policy*, 71, 22-30.
34. Hu Yi, Ziyi Wang, Xuerong Li.(2020). Impact of policies on electric vehicle diffusion: An evolutionary game of small world network analysis, *Journal of Cleaner Production*, Volume 265,121703,ISSN 0959-6526,https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121703.(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620317509>)
35. Hu, L., Wei, X., & Ma, J. (2021). Research on power battery recovery mode of new energy electric vehicles in china under circular economy. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, , 651(4) doi:10.1088/1755-1315/651/4/042029 Retrieved from www.scopus.com
36. Hurd, A. J., Kelley, R. L., Eggert, R. G., & Lee, M. -. (2012). Energy-critical elements for sustainable development. *MRS Bulletin*, 37(4), 405-410. doi:10.1557/mrs.2012.54
37. Iclodean, C, B. Varga, N. Burnete, D. Cimerdean, B. Jurchiș, Comparison of different battery types for electric vehicles, in: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Oct 2017.
38. Ilies, A. I., Pitica, D., Chindris, G., & Fodor, A. (2019). Test bench for electrical and performance evaluation of lithium-ion batteries. Paper presented at the SIITME 2019 - 2019 IEEE 25th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging, Proceedings, 413-418. doi:10.1109/SIITME47687.2019.8990874 Retrieved from www.scopus.com
39. Jin, X. (2016). A review on end-of-life battery management: Challenges, modeling, and solution methods. *Advances in battery manufacturing, services, and management systems* (pp. 79-98) doi:10.1002/9781119060741.ch4 Retrieved from www.scopus.com
40. Jones, B., Elliott, R. J. R., & Nguyen-Tien, V. (2020). The EV revolution: The road ahead for critical raw materials demand. *Applied Energy*, 280 doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115072

41. Joris, B., Domenech, T., Bleischwitz, R. et al. Circular economy strategies for electric vehicle batteries reduce reliance on raw materials. *Nat Sustain* 4, 71–79 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00607-0>
42. Juldez, N., Li, J., & Zeng, X. (2018). Short-cut and high-efficiency process to recycle copper from spent lithium-ion battery. [短程高效回收废锂离子电池铜金属的技术及机理研究] *Zhongguo Kexue Jishu Kexue/Scientia Sinica Technologica*, 48(9), 991-998. doi:10.1360/N092017-00385
43. Jung Ji-Won , Su-Ho Cho, Jong Seok Nam, Il-Doo Kim.(2020).Current and future cathode materials for non-aqueous Li-air (O₂) battery technology – A focused review,*Energy Storage Materials*,Volume 24,Pages 512-528,ISSN 24058297,<https://doi.org/10.1016/j.ensm.2019.07.006>.(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405829719308669>)
44. Kampker, A., Wessel, S., Fiedler, F., & Maltoni, F. (2021). Battery pack remanufacturing process up to cell level with sorting and repurposing of battery cells. *Journal of Remanufacturing*, 11(1) doi:10.1007/s13243-020-00088-6
45. Kotak, Y., Fernández, C. M., Casals, L. C., Kotak, B. S., Koch, D., Geisbauer, C., . . . Schweiger, H. -. (2021). End of electric vehicle batteries: Reuse vs. recycle. *Energies*, 14(8) doi:10.3390/en14082217
46. Lacap, J., Park, J. W., & Beslow, L. (2021). Development and demonstration of microgrid system utilizing second-life electric vehicle batteries. *Journal of Energy Storage*, 41 doi:10.1016/j.est.2021.102837
47. Larcher , D. y Tarascon, J.-M. (2015). Hacia baterías más ecológicas y sostenibles para el almacenamiento de energía eléctrica. *Nature Chemistry*, 7 (1), 19-29. doi: 10.1038 / nchem.2085 Retrieved from www.scopus.com
48. Lincoln YS, Guba EG. *Naturalistic inquiri*. Beverly Hills: Sage Publications; 1985.
49. Mahmoudzadeh Amin Andwari, Apostolos Pesiridis, Srithar Rajoo, Ricardo Martinez-Botas, Vahid Esfahanian(2017).A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels,*Renewable and Sustainable Energy Reviews*,Volume 78,Pages 414-430,ISSN 1364-0321,<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.138>.(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117306251>)

50. Makuza, B., Tian, Q., Guo, X., Chattopadhyay, K., & Yu, D. (2021). Pyrometallurgical options for recycling spent lithium-ion batteries: A comprehensive review. *Journal of Power Sources*, 491 doi:10.1016/j.jpowsour.2021.229622
51. Manzetti Sergio, Florin Mariasiu, (2015) Electric vehicle battery technologies: From present state to future systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 51, Pages 1004-1012, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.010>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115006577>)
52. Mathur, D., Kanwar, N., & Goyal, S. K. (2020). Impact of electric vehicles on community microgrid. Paper presented at the AIP Conference Proceedings, , 2294 doi:10.1063/5.0031793 Retrieved from www.scopus.com
53. Meshram, P., Pandey, B. D., & Mankhand, T. R. (2015). Recovery of valuable metals from cathodic active material of spent lithium ion batteries: Leaching and kinetic aspects. *Waste Management*, 45, 306-313. doi:10.1016/j.wasman.2015.05.027
54. Miao, Y., Hynan, P., Von Jouanne, A., & Yokochi, A. (2019). Current li-ion battery technologies in electric vehicles and opportunities for advancements. *Energies*, 12(6) doi:10.3390/en12061074.
55. Ministerio de Industria y Tecnología de la Información, Requisitos estándar para la utilización integral de baterías NEV Power fuera de servicio. Ministerio de Industria y Tecnología de la Información, China (2016)
56. Nicholas Wilson, Ella Meiklejohn, Brodrick Overton, Finlay Robinson, Shahjadi Hisan Farjana, Wen Li, Jo Staines, A physical allocation method for comparative life cycle assessment: A case study of repurposing Australian electric vehicle batteries, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 174(2021) 105759, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105759>.
57. NOREÑA (2012), A. [et.al]. Aplicabilidad de los criterios de rigor y éticos en la investigación cualitativa. Dialnet, [en línea], 2012. [Fecha de consulta: 02 de junio de 2021] Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4322420>

58. Oliveira Figueiredo, G. (2015). Investigación Acción Participativa: una alternativa para la epistemología social en Latinoamérica. *Revista de investigación*, 39(86), 271-290.
59. Olivetti, E. A., Ceder, G., Gaustad, G. G., & Fu, X. (2017). Lithium-ion battery supply chain considerations: Analysis of potential bottlenecks in critical metals. *Joule*, 1(2), 229-243. doi:10.1016/j.joule.2017.08.019
60. Ortego Abel, Guiomar Calvo, Alicia Valero, Marta Iglesias-Émbil, Antonio Valero, Mar Villacampa. (2020). Assessment of strategic raw materials in the automobile sector, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 161, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104968>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092134492030286X>)
61. Połom, M., Tarkowski, M., Puzdrakiewicz, K., & Dopierała, Ł. (2020). Is it possible to develop electromobility in urban passenger shipping in post-communist countries? evidence from gdańsk, poland. *Energies*, 13(23) doi:10.3390/en13236362
62. Rallo H., G. Benveniste, I. Gestoso, B. Amante. (2020) Economic analysis of the disassembling activities to the reuse of electric vehicles Li-ion batteries, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 159, 104785, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104785>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344920301063>)
63. Raugei Marco, Patricia Winfield, (2019). Prospective LCA of the production and EoL recycling of a novel type of Li-ion battery for electric vehicles, *Journal of Cleaner Production*, Volume 213, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.237>.
64. RUIZ, Margarita y VIVES, Tania. Autenticidad y calidad en la investigación educativa cualitativa: multivocalidad. *Revista investigación en educación médica* [en línea]. 29 de Abril del 2016, vol. 5, n° 19. [Fecha de consulta: 8 de junio de 2021]. Disponible en <http://riem.facmed.unam.mx/node/542> ISSN: 2007-5057

65. Scrosati, B., & Garche, J. (2010). Lithium batteries: Status, prospects and future. *Journal of Power Sources*, 195(9), 2419-2430. doi:10.1016/j.jpowsour.2009.11.048
66. Sean O'Neill (2021). Battery Recycling Challenge Looms as Electric Vehicle Business Booms, *Engineering*, ISSN 2095-8099, <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.11.009>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809921005105>)
67. Seung-Whee Rhee, Yong-Chul Jang, Jae Young Kim. (2021). Editorial: Challenges on end-of-life battery recycling of electric vehicles, *Waste Management*, Volume 135, Pages 327-328, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.09.006>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X21004955>)
68. Shijie Tong, Tsz Fung, Matthew P. Klein, David A. Weisbach, Jae Wan Park, Demonstration of reusing electric vehicle battery for solar energy storage and demand side management, *Journal of Energy Storage*, Volume 11, (2017) Pages 200-210, ISSN 2352-152X, <https://doi.org/10.1016/j.est.2017.03.003>.
69. Sneha P.M. Angeline, M. Newlin Rajkumar. Evolution of electric vehicle and its future scope. (2020) *Materials Today: Proceedings*, Volume 33, Part 7, Pages 3930-3936, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.266>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320347349>)
70. Speirs, J., Contestabile, M., Houari, Y., & Gross, R. (2014). The future of lithium availability for electric vehicle batteries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 183-193. doi:10.1016/j.rser.2014.04.018
71. Tang Yiqi, Beilei Zhang, Hongwei Xie, Xin Qu, Pengfei Xing, Huayi Yin, Recovery and regeneration of lithium cobalt oxide from spent lithium-ion batteries through a low-temperature ammonium sulfate roasting approach, *Journal of Power Sources*, Volume 474(2020) 228596, ISSN 0378-7753, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228596>.
72. Tanja Winther, Hege Westskog, Hanne Sæle (2018). Like having an electric car on the roof: Domesticating PV solar panels in Norway, *Energy for Sustainable Development*, Volume 47, Pages 84-93, ISSN 0973-

- 0826,<https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.09.006>.(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082618304976>)
73. Varela, Margarita y VIVES, Tania, Autenticidad y calidad en la investigación educativa cualitativa: multivocalidad. *Investigación en Educación Médica*, [en línea], 2016. [Fecha de consulta: 02 de junio de 2021] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2007505716300072>
74. Vermeer, W., Mouli, G. R. C., & Bauer, P. (2020). Real-time building smart charging system based on PV forecast and li-ion battery degradation. *Energies*, 13(13) doi:10.3390/en13133415
75. Vieceli Nathália, Raquel Casasola, Gabriele Lombardo, Burçak Ebin, Martina Petranikova, Hydrometallurgical recycling of EV lithium-ion batteries: Effects of incineration on the leaching efficiency of metals using sulfuric acid, *Waste Management*, Volume 125, (2021) Pages 192-203, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.039>.
76. Wang Lei , Wang Xiang, Yang Wenxian (2020). Optimal design of electric vehicle battery recycling network – From the perspective of electric vehicle manufacturers, *Applied Energy*, Volume 275, 115328, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115328>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920308400>)
77. Wang Yuqing, Ning An, Wen Lei, Lei Wang, Xiaotong Jiang, Feng Hou, Yuxin Yin, Ji Liang. (2021). Recent progress on the recycling technology of Li-ion batteries, *Journal of Energy Chemistry*, Volume 55, Pages 391-419, ISSN 2095-4956, <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2020.05.008>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095495620303296>)
78. Wang, W., & Wu, Y. (2017). An overview of recycling and treatment of spent LiFePO₄ batteries in china. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 233-243. doi:10.1016/j.resconrec.2017.08.019
79. White Chris, Ben Thompson, Lukas G. Swan, Repurposed electric vehicle battery performance in second-life electricity grid frequency regulation service *Journal of Energy Storage*, Volume 28, (2020) 101278, ISSN 2352-152X, <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101278>.
80. Wu, Z., Zhu, H., Bi, H., He, P., & Gao, S. (2021). Recycling of electrode materials from spent lithium-ion power batteries via thermal and mechanical

- treatments. *Waste Management and Research*, 39(4), 607-619. doi:10.1177/0734242X20969803
81. Xiaoyu Gu, Li Zhou, Hongfu Huang, Xiutian Shi, Petros Ieromonachou, Electric vehicle battery secondary use under government subsidy: A closed-loop supply chain perspective, *International Journal of Production Economics*, Volume 234, 2021, 108035, ISSN 0925-5273, <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108035>.
 82. Xiaoyu Gu, Petros Ieromonachou, Li Zhou, Ming-Lang Tseng. (2018). Developing pricing strategy to optimise total profits in an electric vehicle battery closed loop supply chain, *Journal of Cleaner Production*, Volume 203, Pages 376-385, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.209>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618325587>)
 83. Xu, L. -, Hua, J. -, Li, X. -, Meng, Q. -, Li, J. -, & Ouyang, M. -. (2008). Control strategy optimization of a hybrid fuel cell vehicle with braking energy regeneration. Paper presented at the IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC 2008, doi:10.1109/VPPC.2008.4677674 Retrieved from www.scopus.com
 84. Xu, X., Sun, X., Zhou, Q., Jiang, X., Hu, D., & He, R. (2018). Design and research on the function of lithium-ion batteries emergency traction system for rail vehicles. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(12) doi:10.1177/1687814018812296
 85. Yadav Prasad, Chan Jun Jie, Shermaine Tan, Madhavi Srinivasan, Recycling of cathode from spent lithium iron phosphate batteries, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 399, (2020) 123068, ISSN 0304-3894, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123068>.
 86. Yang, Y., Liu, F., Song, S., Tang, H., Ding, S., Sun, W., . . . Xu, S. (2020). Recovering valuable metals from the leaching liquor of blended cathode material of spent lithium-ion battery. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5) doi:10.1016/j.jece.2020.104358
 87. Yong Choi, Seung-Whee Rhee. (2020). Current status and perspectives on recycling of end-of-life battery of electric vehicle in Korea (Republic of), *Waste Management*, Volume 106, 2020, Pages 261-270, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.015>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X20301173>)

88. Yooan Kim, Hakkwan Kim, Kyo Suh, Environmental performance of electric vehicles on regional effective factors using system dynamics. (2021) *Journal of Cleaner Production*, Volume 320, 128892, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128892>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621030869>)
89. Yu, H. C., & Lu, C. G. (2014). Recent development of electric vehicles doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.490-491.968 Retrieved from www.scopus.com
90. Yun Liu , Duy Linh, Li Shui, Xiongbin Peng, Akhil Garg, My Loan Phung LE, Saeed Asghari, Jayne Sandoval. (2018). Metallurgical and mechanical methods for recycling of lithium-ion battery pack for electric vehicles,
91. Zhao Xin, Otto C. Doering, Wallace E. Tyner (2015). The economic competitiveness and emissions of battery electric vehicles in China, *Applied Energy*, Volume 156, Pages 666-675, ISSN 03062619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.07.063>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915009034>)
92. Zhao, G. (2017). Reuse and recycling of lithium-ion power batteries. Reuse and recycling of lithium-ion power batteries (pp. 1-414) doi:10.1002/9781119321866 Retrieved from www.scopus.com
93. Zheng, Y., Wang, S., Gao, Y., Yang, T., Zhou, Q., Song, W., . . . Liu, J. (2019). Lithium nickel cobalt manganese oxide recovery via spray pyrolysis directly from the leachate of spent cathode scraps. *ACS Applied Energy Materials*, 2(9), 6952- 6959. doi:10.1021/acsaem.9b01647
94. Zhidong Chang Hui Dang, Na Li, Benfeng Wang, Yifei Zhan, Xue Wu, Wenbo Liu, Shujaat Ali, Hongda Li, Jiahui Guo, Wenjun Li, Hualei Zhou, Changyan Sun, Lithium leaching via calcium chloride roasting from simulated pyrometallurgical slag of spent lithium ion battery, *Separation and Purification Technology*, Volume 233, (2020) 116025, ISSN 1383-5866, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116025>.
95. Zhou, L. -, Yang, D., Du, T., Gong, H., & Luo, W. -. (2020). The current process for the recycling of spent lithium ion batteries. *Frontiers in Chemistry*, 8 doi:10.3389/fchem.2020.578044

96. Zhu, X., Zhu, J., Wang, J., Gan, Z., Li, G., & Meng, C. (2020). Experimental study on long cycling performance of NCM523 lithium-ion batteries and optimization of charge-discharge strategy. *Journal of Thermal Science*, 29(5), 1180-1192. doi:10.1007/s11630-020-1174-9
97. Zou, H., Gratz, E., Apelian, D., & Wang, Y. (2013). A novel method to recycle mixed cathode materials for lithium-ion batteries. *Green Chemistry*, 15(5), 1183-1191. doi:10.1039/c3gc40182k

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de Recolección de Datos

| Datos de Artículo | | | | |
|---|------------------|--------------------|--|----------------------------|
| Título: Estrategias de reutilización de baterías de Ion litio de vehículos eléctricos. Revisión sistemática | | | | |
| Año de publicación: | | Revista: | | ISSN: Vol. (Nro.), Paginas |
| Autores | | | Tipo de Investigación: Experimental | |
| Análisis del Artículo | | | | |
| Palabras clave | | | | |
| Problema | | | | |
| Objetivos | | | | |
| Tipo de estrategia | | | | |
| Reutilización y reciclaje de baterías | | | | |
| Tipo batería | Tipo de vehículo | Capacidad batería | Importancia | Técnica de reutilización |
| | | | | |
| Parte de la batería | Lixiviantes | Elemento reciclado | Técnica de reciclaje | |
| | | | | |
| Resultados y Conclusiones | | | | |
| Resultados | | | | |
| Conclusiones | | | | |
| Observaciones | | | | |



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SOLORZANO ACOSTA RICHARD ANDI, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis Completa titulada: "Estrategias de reutilización y reciclaje de baterías de Ion Litio de vehículos eléctricos: Una revisión sistemática", cuyos autores son DAVILA TAFUR ROBERTO CARLOS, VILLALOBOS GOMEZ ARLENE LORELEI, constato que la investigación cumple con el índice de similitud establecido, y verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis Completa cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 31 de Enero del 2022

| Apellidos y Nombres del Asesor: | Firma |
|---|--|
| SOLORZANO ACOSTA RICHARD ANDI DNI: 45283270 ORCID 0000-0003-3248-046X | Firmado digitalmente por: RSOLORZANOAC el 31- 01-2022 14:15:20 |

Código documento Trilce: TRI - 0287326