



Comparativa de baterías de litio, sodio e hidrógeno en la descarbonización de las economías

Comparison of lithium, sodium and hydrogen batteries in the decarbonization of economies

Comparaçãõ de baterias de lítio, sódio e hidrogênio na descarbonizaçãõ das economias

Isidro Wilfredo Nina-Paco ^I

nina.isidro@usfx.bo

<https://orcid.org/0000-0002-8576-6034>

Aminta Isabel De La Hoz-Suárez ^{II}

adelahozs@unicartagena.edu.co

<https://orcid.org/0000-0001-6230-8869>

Betty Auxiliadora De La Hoz-Suárez ^{III}

bdelahozs@ecotec.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-5800-9775>

Correspondencia: nina.isidro@usfx.bo

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 03 de febrero de 2024 * **Aceptado:** 08 de marzo de 2024 * **Publicado:** 17 de abril de 2024

- I. Doctorando en Gestión Financiera Empresarial, Magíster en Educación Superior y Metodología de la Investigación, Magíster en Administración y Finanzas, Licenciado en Matemáticas, Docente Titular de la Asignatura de Estadística y Matemáticas en la Facultad de Contaduría Pública y Ciencias Financieras de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Ecuador.
- II. Doctora en Ciencias Gerenciales con Postdoctorado en Gerencia de las Organizaciones, Magíster en Gerencia de Empresas, Mención Gerencia de Operaciones, Contador Público, Miembro del Grupo de Investigación Contabilidad y Finanzas (GRICOF) de la Universidad de Cartagena, Colombia.
- III. Magíster en Gerencia de Empresas, Mención Gerencia Financiera, Contador Público, Articulista y Editora en Jefe de la Revista Mundo Financiero, Profesora - Investigadora de la Universidad ECOTEC, Km 13 1/2 Vía Samborondón, Samborondón, Guayas, Ecuador.

Resumen

La reducción de emisiones de carbono a la atmósfera, en particular el dióxido de carbono (CO₂) como el principal gas de efecto invernadero, permitirá conseguir la neutralidad climática deseada mediante la transición energética sostenible, por lo cual, como opción energética se reconoce el mineral litio como un recurso estratégico que se encuentra en salares y roca. Por lo anterior, el aumento de la demanda del litio ha llevado a que su precio incremente a lo largo del tiempo y que se realicen estudios a otros minerales que puedan solventar esta necesidad, por lo cual las baterías de sodio y las de hidrógeno compiten con las de litio. Ante las necesidades de descarbonización de las economías se plantea en el siguiente estudio comparar las baterías de litio, sodio e hidrógeno en función a la descarbonización planteada. Metodológicamente, el estudio se centra en un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental y transeccional, resultando de la comparación de baterías, diferencias en los costos de fabricación, autonomía, tiempo de vida, eficiencia, infraestructura, la salud, tecnología entre otros. Lo interesante de estas alternativas es que aporten a la reducción de la huella de carbono, implicando una transformación en la manera de hacer negocios sustentado en recursos económicos importantes, innovaciones tecnológicas de grande magnitud y el compromiso de sectores económicos y gobiernos. Bajo este enfoque se concluye que, las baterías de litio tienen preferencia en los dispositivos móviles y en vehículos eléctricos, pero sus costos son elevados por la obtención de materia prima, por otro lado, las baterías de sodio son más económicas y las de hidrógeno por su gran cantidad de energía expulsora demuestran mayor eficiencia en vehículos grandes que recorran distancias largas. A modo de reflexión, cada alternativa tiene ventajas para distintas finalidades lo cual servirá para diversificar la economía en la transición energética.

Palabras clave: Baterías; Descarbonización de las economías; Hidrógeno; Litio; Sodio; Transición energética.

Abstract

The reduction of carbon emissions into the atmosphere, particularly carbon dioxide (CO₂) as the main greenhouse gas, will allow achieving the desired climate neutrality through the sustainable energy transition, which is why the mineral is recognized as an energy option. Lithium as a strategic resource found in salt flats and rock. Due to the above, the increase in demand for lithium has led

to its price increasing over time and studies being carried out on other minerals that can solve this need, which is why sodium and hydrogen batteries compete with lithium ones. Given the decarbonization needs of the economies, the following study proposes comparing lithium, sodium and hydrogen batteries based on the proposed decarbonization. Methodologically, the study focuses on a quantitative approach, with a non-experimental and transectional design, resulting from the comparison of batteries, differences in manufacturing costs, autonomy, life time, efficiency, infrastructure, health, technology among others. The interesting thing about these alternatives is that they contribute to the reduction of the carbon footprint, implying a transformation in the way of doing business supported by important economic resources, technological innovations of great magnitude and the commitment of economic sectors and governments. Under this approach, it is concluded that lithium batteries have preference in mobile devices and electric vehicles, but their costs are high due to obtaining raw materials. On the other hand, sodium batteries are cheaper and hydrogen batteries are cheaper. Its large amount of ejector energy demonstrates greater efficiency in large vehicles that travel long distances. As a reflection, each alternative has advantages for different purposes which will serve to diversify the economy in the energy transition.

Keywords: Batteries; Decarbonization of economies; Hydrogen; Lithium; Sodium; Energy transition.

Resumo

A redução das emissões de carbono para a atmosfera, nomeadamente do dióxido de carbono (CO₂) como principal gás com efeito de estufa, permitirá alcançar a desejada neutralidade climática através da transição energética sustentável, razão pela qual o mineral é reconhecido como uma opção energética estratégica. recurso encontrado em salinas e rochas. Pelo exposto, o aumento da demanda pelo lítio fez com que seu preço aumentasse ao longo do tempo e fossem realizados estudos sobre outros minerais que possam atender a essa necessidade, razão pela qual as baterias de sódio e hidrogênio competem com as de lítio. Dadas as necessidades de descarbonização das economias, o seguinte estudo propõe comparar baterias de lítio, sódio e hidrogênio com base na descarbonização proposta. Metodologicamente, o estudo centra-se numa abordagem quantitativa, com um desenho não experimental e transecional, resultante da comparação de baterias, diferenças de custos de fabricação, autonomia, tempo de vida, eficiência, infraestrutura, saúde, tecnologia

entre outros. O interessante destas alternativas é que contribuem para a redução da pegada de carbono, implicando uma transformação na forma de fazer negócios apoiada em importantes recursos económicos, inovações tecnológicas de grande magnitude e no compromisso dos sectores económicos e dos governos. Sob esta abordagem, conclui-se que as baterias de lítio têm preferência em dispositivos móveis e veículos elétricos, mas seus custos são elevados devido à obtenção de matérias-primas. Por outro lado, as baterias de sódio são mais baratas e as baterias de hidrogênio são mais baratas. a energia demonstra maior eficiência em veículos de grande porte que percorrem longas distâncias. A título de reflexão, cada alternativa apresenta vantagens para diferentes fins que servirão para diversificar a economia na transição energética.

Palavras-chave: Baterias; Descarbonização das economias; Hidrogênio; Lítio; Sódio; Transição energética.

Introducción

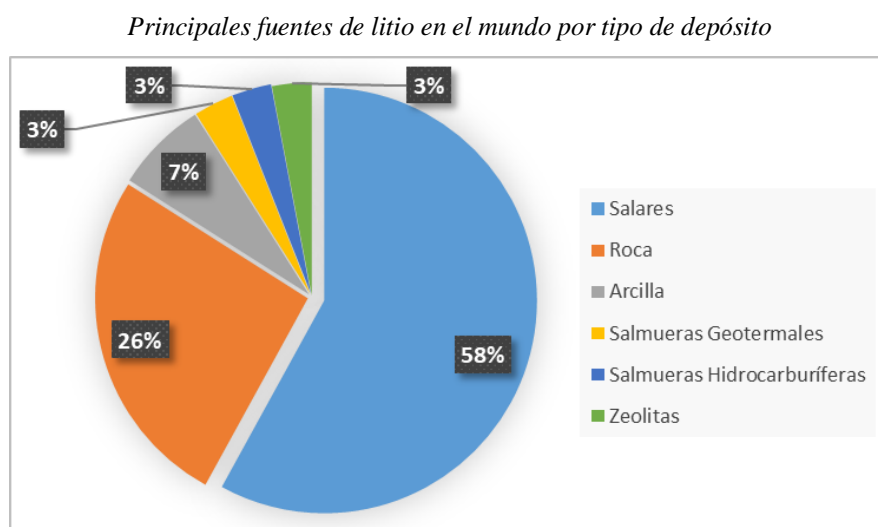
En la actualidad, con la búsqueda de un desarrollo sostenible a nivel mundial, el litio ha despertado un especial interés por su estrecho vínculo con la transformación energética y las políticas de cambio climático. Esto ha provocado que la demanda aumente, estos últimos años, permitiendo que los países que cuentan con estos yacimientos lo consideren un recurso estratégico. El litio es un metal alcalino ligero, de baja densidad, que presenta una elevada conductividad eléctrica, baja viscosidad y un bajo coeficiente de expansión térmica; sus características le otorgan una elevada densidad de energía, lo que le permite almacenar una gran carga eléctrica por kilogramo (Aquist, 2022).

Con base a esa búsqueda de desarrollo sostenible, la Organización de Naciones Unidas (ONU) para la agenda 2030 definió como Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 7 lo concerniente a la Energía asequible y no contaminante, que tiene el propósito de garantizar el acceso a una energía limpia y asequible, clave para el desarrollo de las empresas, la educación, la sanidad, la agricultura y el transporte. El diario vivir de la población depende de una energía segura y asequible, no obstante, el consumo de energía continúa siendo la principal causa del cambio climático que representa el 60% de las emisiones mundiales de los Gases de Efecto Invernadero (GEI). Así que, es preciso mejorar el acceso a los combustibles, tecnologías limpias y seguras.

De tal modo que, en vista de la realidad actual se hace necesario hacer una retrospectiva que apunta al uso de combustibles fósiles como el carbón, petróleo y/o el gas, como una de las principales

fuentes de energía eléctrica, pero su quema produce grandes cantidades de GEI, que son los causantes del cambio climático, son perjudiciales para el bienestar humano y del medioambiente que afecta a todo el mundo. Por lo cual, se debe acelerar la electrificación, aumentar las inversiones en energía renovable y en mejorar la eficiencia energética (Naciones Unidas, 2024).

El hecho de que, se haya generado el problema del cambio climático y con ello la necesidad de descarbonizar las economías para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, ha llevado a una transición energética en los últimos años, lo que ha provocado e impulsado las fuentes de energía renovable y la incorporación de vehículos eléctricos (EV, por sus siglas en inglés) en muchos países, por consiguiente se tiene una creciente demanda de los principales metales entre ellos el litio como se aprecia en la ilustración 1, como materia prima para la fabricación de estas tecnologías renovables y EV.



Nota. Fuente: Aquist (2022)

En la ilustración 1, se muestran las principales fuentes donde se encuentra este mineral, que en su mayoría son los salares en cuencas cerradas (58%), pegmatitas y granitos (26%), arcillas enriquecidas en litio (7%), salmueras de yacimientos petroleros (3%), salmueras geotermiales (3%) y zeolitas enriquecidas con litio (3%). Detallándose que las mayores fuentes donde se encuentra este mineral son en los salares, por ejemplo, un estudio realizado por el Servicio Geológico de Estados Unidos del 2023 ha certificado que el 53% de los recursos mundiales de este mineral, se encuentra en el triángulo del litio, es decir, en los países de Argentina, Bolivia y Chile (Sánchez et

al, 2023). Este elemento presenta propiedades físicas y químicas particulares, que lo ha convertido en un elemento clave, en especial para el desarrollo tecnológico, de los cuales se tiene: las baterías de ion de litio, para electromovilidad (41%), artículos electrónicos (16%) y almacenamiento energético (8%); para la fabricación de vidrios y cerámicas (15%), para grasas y lubricantes (8%), tratamiento de aire (3%), metalurgia (3%), industria farmacéutica (2%) y otros (4%). (Aquist, 2022)

En los últimos años, la región asiste a una suerte de relanzamiento ampliado del modelo derivado del ciclo de alza de los precios internacionales de los commodities, ocurrido el primer decenio del Siglo XXI y ahora, replicado por la recuperación económica asociada por el fin de las restricciones de la pandemia, el estallido de la guerra ruso-ucraniana y la transición energética hacia fuentes de energía limpia. En este contexto, el litio se ha convertido en un recurso indispensable para la fabricación de baterías de ion de litio recargables (Baterías Li-ion), que son muy utilizados en el campo de la electrónica de consumo, vehículos eléctricos y las energías renovables. Este recurso es estratégico para asegurar la transición energética, en el desarrollo de la economía “verde”.

Históricamente, el mercado del litio estaba dominado por la demanda de aplicaciones industriales, como son: la fabricación de vidrio, cerámica, plásticos, etc., estas aplicaciones estaban relacionadas con la construcción, producción industrial, fabricación de aluminio y acero. No obstante, la demanda del litio para las aplicaciones industriales está perdiendo participación de mercado, debido al aumento significativo de EV y otras aplicaciones de litio para baterías, pese a esto la demanda de litio ha aumentado un 2,5% anual durante los últimos años por el crecimiento proveniente de China.

De manera que, el aumento de la demanda del litio ha experimentado un crecimiento a lo largo de los años, la cotización del carbonato de litio grado batería – carbonato de litio equivalente (LCE) al 99.1% de pureza o más, que en 1990 tenía un valor de US\$ 1.770 por tonelada, y en 2016 – 2018, se registró que el precio de la tonelada fue de US\$ 17.000, y por ultimo su record histórico ocurrido en noviembre de 2022, donde su valor por tonelada llegó a los US\$ 88.000 (Gómez Lende, 2023).

Cabe destacar que, las baterías de iones de litio (Baterías Li-ion), que son una de las baterías recargables más avanzadas, en la actualidad son las fuentes de energía móviles dominantes que se pueden observar en varios dispositivos portables como: celulares, tablets, portátiles, entre otros. Otro mercado que tienen las baterías de ion de litio, son los vehículos eléctricos e híbridos, que

requieren baterías Li-ion de nueva generación, con alta potencia, rendimiento de seguridad mejorado y bajos costos (Zarza-Díaz, 2024).

Asimismo, varios países de Latinoamérica y el Caribe (LAC) impulsan la transición energética, la RELAC (Renovables en Latinoamérica y el Caribe), agrupa a 16 países de la región, donde para el 2030 se comprometieron a reducir sus GEI y acelerar la transición a fuentes de energía renovables, impulsando el desarrollo de tecnologías emergentes, como: el almacenamiento de energía y el hidrógeno verde, brindando apoyo a los gobiernos a desarrollar marcos regulatorios que faciliten la adopción de EV, además se pretende realizar una integración energética en América Latina, con el objetivo de fomentar grandes proyectos energéticos y mejorar el acceso a energía más barata, compartiendo las reservas y aumentando la oferta eléctrica, lo cual desplazará a las energías más costosas y contaminantes (BID, 2024).

Bolivia uno de los países del triángulo del litio, utiliza la tecnología EDL (Extracción Directa de Litio) en salares, además realiza incentivos para la electromovilidad, instalando estaciones de servicio que brinden energía eléctrica gratuita por un año a todos los motorizados eléctricos; dio inicio al programa de hidrógeno verde, teniendo un gran avance hacia la transición energética y la industria del litio. Además, se realizan múltiples inversiones para brindar el servicio de electricidad a zonas rurales y alejadas de los departamentos de Beni, La Paz, Cochabamba, Chuquisaca, Oruro y Tarija. Dentro de los incentivos se encuentran: La Tarifa Dignidad, que beneficia aproximadamente a 1,14 millones de usuarios con un ahorro del 25% y la Integración energética, con relación al proyecto “Línea de Transmisión Juana Azurduy de Padilla 132 kV Bolivia – Argentina”, donde próximamente Bolivia podrá exportar energía eléctrica con el país vecino (Ministerio de Hidrocarburos y Energías, 2023).

En cuanto a las perspectivas del mercado de litio y las baterías, la demanda de productos de litio, expresado en Carbonato de Litio Equivalente (LCE), para el 2019 fue de 312.000 toneladas (t), teniendo una tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) del 13,6% desde el 2015, el país con mayor consumo es China que representa el 55% de la demanda global de litio en 2019, esta participación aumentará hasta el 66% en la próxima década. La demanda de productos de litio entre 2019 y 2030, crecerá en más de 1,3 millones de toneladas con un TCAC extraordinario del 18,5% impulsado por el crecimiento de las ventas de EV. Para el 2019 la oferta total de litio extraído de roca y salmuera alcanzó las 358.500 t LCE, esto es un crecimiento del 239% a comparación del 2015 (Jones y otros, 2021).

En la ilustración 1, se muestran las ventajas, desventajas más comunes de las principales tecnologías de baterías, como son: Óxido de Litio y Cobalto (LCO), Óxido de Litio y Manganeso (LMO), Fosfato de Hierro y Litio (LFP), Óxido de Níquel, Manganeso y Cobalto de Litio (NMC), Óxido de Níquel, Cobalto y Aluminio de Litio (NCA), Níquel - Cadmio (NiCd) y Níquel – Metal Hidruro (NiMH)

Tabla 1 Ventajas y desventajas en tecnología de Baterías Li-ion

Tipo de Batería	Ventajas	Desventajas	Observaciones
LCO	<ul style="list-style-type: none"> • Alta densidad de energía, adecuado para dispositivos que requieran mucha potencia en un espacio reducido. • Su estabilidad química, contribuye a su fiabilidad y seguridad en el funcionamiento. • Seguridad mejorada, reduce el riesgo de fugas terminas y posibles problemas de seguridad. • Adecuadas para la miniaturización de dispositivos electrónicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costo en la materia prima. • Vida útil relativamente corta en comparación con otras baterías Li-Ion. • Puede requerir reemplazos más frecuentes. 	<p>Uso en computadoras portátiles, dispositivos móviles y otros dispositivos electrónicos portátiles.</p> <p>Aunque las baterías LCO, se utilizaron ampliamente en el pasado, ahora han sido reemplazadas por tecnologías más modernas como NMC y NCA.</p>
LMO	<ul style="list-style-type: none"> • Carga rápida y descarga de alta corriente. • Uso en herramientas eléctricas y aplicaciones médicas. • Uso en vehículos híbridos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja densidad de energía, lo que significa que puede almacenar menos energía por unidad de volumen o peso. 	<p>Uso en Herramientas eléctricas, aplicaciones médicas, vehículos híbridos.</p> <p>Aunque ha sido reemplazado en varias ocasiones, aun se utilizan en vehículos</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Comparativamente más cara que otras baterías. • Puede limitar su viabilidad económica en ciertas aplicaciones. 	<p>híbridos y en modelos antiguos fabricados por BMW.</p>
LFP	<ul style="list-style-type: none"> • Alternativa más barata disponible para vehículos y buses eléctricos. • Larga vida útil, puede tolerar condiciones de carga completa durante periodos prolongados. • Estabilidad térmica. • Considerada una de las baterías más seguras en el mercado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta tasa de descarga cuando no está en uso. • Su densidad energética no es competitiva con diseños de níquel-cobalto. • Las temperaturas frías afectan su rendimiento. • Menor duración en el uso de EV. <p>Comúnmente utilizados para vehículos y buses eléctricos, uso en sistemas de almacenamiento de energía y aplicaciones industriales.</p>
NMC	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora en el rendimiento, en términos de capacidad de almacenaje de energía y densidad de energía. • Costo más bajo en la fabricación, en comparación con las baterías LCO. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden experimentar degradación con ciclos repetidos que afecta su vida útil. • Sensibilizada a la temperatura, estas baterías pueden experimentar un reducido <p>Las aplicaciones de uso son en EV, almacenamiento de energía, dispositivos electrónicos portátiles, aplicaciones industriales.</p> <p>Por contener metales valiosos como níquel, manganeso y cobalto, las baterías NMC, son candidatas para el reciclaje.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Amplia gama de aplicaciones debido a la flexibilidad química. • Mayor seguridad en comparación con otras Baterías Li-ion y menos propensas a sobrecarga o sobrecalentamiento. 	<p>rendimiento en condiciones extremas de frío o calor.</p>
NCA	<ul style="list-style-type: none"> • Alta densidad de energía que le permite tener mayor capacidad de almacenamiento. • Proporciona energía de manera eficiente para una variedad de aplicaciones. • Larga vida útil, lo que significa que puede durar más tiempo antes de necesitar ser reemplazada o recargada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos más elevados que otras baterías. • Menor confianza que otras tecnologías, aunque es bastante seguro, no es tan confiable como las baterías NMC, <p>Se utiliza en baterías de computadoras portátiles y en baterías de EV, estas baterías permiten una mejor aceleración y proporciona un buen rango de autonomía.</p> <p>Conforme avanza la industria de las baterías, otras tecnologías emergentes como las baterías de estado sólido y las baterías de flujo, ofrecen ventajas únicas en términos de seguridad, densidad de energía y ciclo de vida.</p>
NiCd	<ul style="list-style-type: none"> • Vida útil prolongada si se cuida adecuadamente. • Fiabilidad en condiciones extremas, lo que las hace adecuadas para su uso en ambientes de mucho frío o calor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de descarga completa antes de cargar, de lo contrario puede perder su capacidad. • Alto índice de auto descarga, <p>Se utiliza en herramientas eléctricas como: taladros, sierras y destornilladores. Dispositivos de emergencia como linternas y radios.</p> <p>A pesar del impacto ambiental negativo debido al cadmio, estas baterías son</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Es la mejor opción cuando se necesita un nivel de potencia elevado, como herramientas eléctricas o trabajos duros. • Más económicas en cuestión de costo. 	<p>estas baterías reciclables. Estas baterías tienden a son conocidas por su descargarse por sí capacidad de carga rápida a mismas cuando no comparación a otras se utiliza por un tecnologías de baterías. tiempo prolongado.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sufren una caída del amperaje y voltaje a medida que se utiliza, es decir pierde fuerza conforme se va descargando la batería. • El cadmio presente en estas baterías es perjudicial para el medio ambiente, por lo que debe desecharse de manera responsable.
NiMH	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor densidad de energía, lo que significa mayor autonomía entre recargas. • Menor pérdida de capacidad, si se cargan antes de estar completamente descargadas, la pérdida de capacidad (autonomía) es 	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de Se utiliza en vehículos auto descarga híbridos, herramientas elevado, lo que eléctricas, dispositivos indica que se electrónicos portátiles, descarga más equipos médicos portátiles, rápido cuando no se sistema de alimentación de utiliza. respaldo. • Es necesario cargar las Estas baterías tienen mayor baterías antes de autonomía y menor pérdida

menor que las baterías NiCd.

- Los materiales utilizados son menos perjudiciales para el medio ambiente.

guardarlas para de capacidad en evitar una descarga comparación con las baterías completa y NiCd.

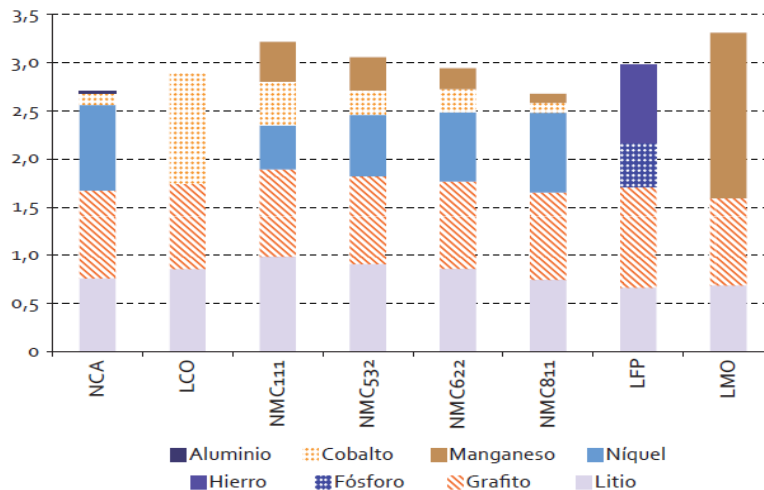
prolongar su vida útil.

- A pesar de ser menos perjudiciales para el medio ambiente, estas baterías deben desecharse de manera responsable.

Nota: Elaboración propia con base en Jones, Acuña & Rodríguez (2021)

Las ventajas y desventajas presentadas en la tabla 1, indican que las baterías Li-ion, tienen una densidad de energía adecuada para su uso en EV y en baterías de dispositivos portátiles, dependiendo la capacidad de almacenamiento y la densidad de energía que se requiera se utilizará un tipo específico. A diferencia de otras baterías como el Níquel y el Cobalto, el contenido de litio no varía ampliamente entre las configuraciones químicas de baterías, esto implica que las proyecciones de demanda de litio no varían entre los diferentes tipos de baterías, como se muestra en la ilustración 2.

Contenido de litio es estable alrededor de 0,7 – 0,8 (En Kg/kWh LCE)



Nota: Elaboración propia con base en Jones, Acuña & Rodríguez (2021)

Los EV se han posicionado como la tecnología dominante para reducir las emisiones del sector de transporte, ya que las emisiones de los automóviles a combustión interna representan el 7% del aporte a las emisiones globales. Se estima que durante el proceso de concentración evaporítica (un método utilizado para extraer litio de las salmueras), se pierde a la atmósfera entre 50 y 500 m³ de agua por tonelada producida de LCE, a lo que se adiciona un consumo de agua dulce de entre 5 y 50 m³ por tonelada del mismo producto.

Cabe acotar que, en Argentina el litio es producido en territorios donde habitan comunidades originarias, quienes utilizan los recursos naturales existentes para su supervivencia, en este contexto, la minería del litio requiere grandes cantidades de agua, que forma una competencia por el uso del recurso escaso en la región. El temor de las comunidades locales tiene origen en el potencial agotamiento de las fuentes de agua dulce por la minería del litio y pese a los múltiples reclamos y conflictos socio-ambientales entre los diferentes actores que intervienen en la producción del litio en Argentina (comunidades originarias, compañías mineras, Estado), las empresas aseguran que no existe tal riesgo ya que la producción de litio, no genera grandes huellas de carbono y el consumo del agua es despreciable a comparación de otros procesos mineros (Díaz Paz y otros, 2022).

En Bolivia, la participación social es un tema central en la Constitución Política del Estado (CPE), donde la Ley N°341 de Participación y Control Social, sancionada en 2013, dispuso la creación de “espacios permanentes” de participación y control social en las empresas públicas. Estos espacios debieron implementarse en la empresa de Yacimientos de Litio Boliviano (YLB), sin embargo,

esto nunca ocurrió en la práctica. De la misma forma que otras empresas estatales, la participación social en YLB se redujo a audiencias públicas de “Rendición de Cuentas”, que se realizan una vez al año y en las diapositivas que muestras presentan algunos datos, sin desarrollo, ni análisis de ejecución presupuestaria, créditos, productos y/o ventas (Solón, 2022).

Considerando la nueva agenda para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para el 2030 impulsados por la Organización de Naciones Unidas (ONU) que tiene 17 objetivos fundamentales en la esfera económica, social y ambiental, los países suscritos al acuerdo deben fijar sus metas con el fin de cumplir los ODS. Y el sector minero no está ajeno a la transformación, debiendo fijar sus procesos para cumplir estos objetivos, en especial con la gran demanda de litio, entre otros materiales, que está impulsada por la transición energética.

Entre los 17 ODS, se resaltan: el N°3: Salud y bienestar; N°6: Agua limpia y saneamiento; N°7: Energía asequible y no contaminante; N°11: Ciudades y comunidades sostenibles; N°12: producción y consumo responsable; y el N°15: Vida de ecosistemas terrestres. Estos objetivos están interrelacionados y buscan abordar los desafíos económicos, sociales y ambientales de manera integrada y holística para un desarrollo sostenible global.

No obstante, la utilización de agua por parte de una operación o proyecto minero puede generar un impacto en el ecosistema y en las comunidades locales. Así que, en nivel de estándares, la Iniciativa para el Aseguramiento de la Minería Responsable (IRMA, por sus siglas en inglés), recomienda que una empresa responsable en el uso del agua debe utilizar estos recursos de manera eficiente, asegurándose que la extracción de agua mantenga los flujos en el caso de arroyos y otras aguas superficiales y minimizando la extracción en el caso de aguas subterráneas, además, impulsa a las empresas mineras limpiar el agua para que pueda ser reutilizada (Jones y otros, 2021).

Por otra parte, frente a la transición energética que se lleva a cabo, los inversionistas buscan nuevas opciones más limpias, eficientes y más rentables, entre los cuales como principales competidores a las baterías de Li-ion se encuentran las baterías de hidrógeno y las baterías de sodio. El hidrógeno es el elemento químico más ligero que existe, en condiciones normales se encuentra en estado gaseoso, es insípido, incoloro e inodoro, en el planeta es muy abundante, pero se encuentra en combinación con otros elementos como el oxígeno formando moléculas de agua, o al carbono, formando compuestos orgánicos, constituye el 75% aproximadamente de la materia del Universo, por lo cual no es un combustible que pueda tomarse directamente de la naturaleza, por lo que se tiene que “fabricar”. Un kilogramo de hidrógeno puede liberar más energía que un kilogramo de

otro combustible, casi el triple que la gasolina o el gas natural, y para liberar energía no emite CO₂, tan solo vapor de agua, por lo que el impacto ambiental es nulo (Centro Nacional de Hidrógeno, 2019).

En cuanto al cloruro de sodio, este se presenta como una sustancia de color blanco y cristalina que se disuelve en agua. Es comúnmente encontrada en la naturaleza y, conocida con el nombre de sal; la cual se define como un producto cristalino compuesto principalmente por cloruro de sodio. Este se obtiene ya sea del mar, de depósitos subterráneos de sal mineral o de salmuera natural (MINSALUD, 2023).

En este sentido, los vehículos eléctricos pila de combustible de hidrógeno (FCEV, por sus siglas en inglés), la electricidad se produce por la reacción que se ocasiona en el interior de una celda electroquímica entre el hidrógeno contenido en los tanques y el oxígeno del aire, como residuo se obtiene una pequeña cantidad de agua y calor, esa electricidad se almacena en una pequeña batería que servirá para alimentar el motor o motores eléctricos. Entre las ventajas que tiene se encuentra que el repostaje es muy rápido de unos cinco minutos para una autonomía de más de 600 Km, además las baterías intermedias necesarias son pequeñas, porque actúan como intermediarias y no son responsables de almacenar energía directamente, por lo que se requiere menos materia prima no renovable como el litio y cobalto para su fabricación.

Sin embargo, antes de que el hidrógeno produzca electricidad para impulsar un vehículo eléctrico (EV), debe crearse, transportarse y almacenarse, en este proceso esta tecnología pierde muchas de sus ventajas, considerando el impacto ambiental en términos de emisiones de CO₂. Un vehículo alimentado por baterías tan solo el 8% de la energía se pierde durante el proceso hasta que la energía llegue a la batería, cuando esta pasa al motor eléctrico para transformarse en movimiento se pierde un poco más, dependiendo del EV la eficiencia se encuentra entre un 70% – 90%. En el caso del hidrógeno las pérdidas son mayores, el 45% de la energía se pierde solo en la producción mediante la electrolisis, la licuación y el transporte, al 55% restante se resta a la pérdida por la transformación del hidrógeno en electricidad, dependiendo del EV final, la eficiencia ronda entre un 25% – 35% (García G. , 2021).

En cuanto a las baterías de iones de sodio (baterías Na-ion), tienen buenas cualidades ambientales, tienen alta densidad de carga, pero su rendimiento es limitado, no son inflamables y funcionan bien a bajas temperaturas, la carga es más rápida, que las variantes de Li-ion y tiene un ciclo de vida

tres veces mayor, en comparación con la Baterías Li-ion, ambos utilizan un electrolito líquido para almacenar y transferir energía eléctrica, pero difieren en el tipo de ion que usan.

Pese a sus ventajas las baterías de sodio carecen de una cadena de suministro bien establecida para los materiales utilizados en baterías, como la tecnología está empezando pocas empresas operan en este segmento, lo que implica mayor costo de las baterías, al ser menos densas tienen menor capacidad de almacenamiento, tiene un ciclo de carga – recarga de 5.000 veces, a comparación que el litio es que es de 8mil a 10 mil veces (Juárez, 2023).

En cambio, las ventajas que tiene las baterías de Hidrógeno serían las siguientes: es 100% sostenible ya que no emite gases contaminantes durante su combustión, su fácil almacenamiento permite su utilización posterior, el hidrógeno puede transformarse en electricidad y esta energía puede mezclarse con gas natural hasta en un 20%, el hidrógeno como materia prima se encuentra en todos los países. Por su lado, entre las desventajas se tiene que el proceso de electrólisis es más costoso que los que utilizan combustible fósil, se requiere encontrar un método que obtenga hidrógeno verde a gran escala (Mamani Alizares, 2022).

Metodología

Se utiliza, el tipo de investigación básica con un enfoque de cuantitativo, aplicando un diseño no experimental y transeccional, esta investigación recopila datos en un momento único, con el propósito de describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dato. (Hernández Sampieri y otros, 2014). En este sentido se estudia la variable referida a las baterías de litio y sus principales competidoras y se presentan los resultados de acuerdo a la investigación realizada sin realizar ninguna modificación.

En cuanto a la técnica de investigación se plantea la revisión literaria sobre las características de las principales baterías para los vehículos eléctricos, para la transición energética. Los casos de estudio son: las baterías de litio, baterías de sodio y baterías de hidrógeno. En este sentido, la investigación se concreta de nivel descriptivo – documental, realizada mediante la revisión de información en artículos de revistas, publicaciones de empresas relacionadas al sector automovilístico, publicaciones de empresas relacionadas a la transición energética y cuidado del medio ambiente; Se utilizó el método analítico, para analizar las características de cada batería y también se utilizó Microsoft Excel como herramienta para el cálculo de parámetros y proyecciones.

Resultados y su discusión

Para realizar la comparación entre las baterías Li-ion y las baterías Na-ion, se deben considerar varios aspectos que influyen en el tiempo de carga de un EV, Blink Charging (2023) menciona:

- La capacidad de la batería, la batería de los EV se mide en kilovatios por hora (kWh), Los EV híbridos enchufables pueden tener una capacidad de 12 kWh, los EV utilitarios alrededor de 40 kWh y los modelos de lujo hasta 80 kWh, las baterías más grandes proporcionan mayor autonomía, pero una vez descargada, los tiempos de carga son más largos.
- La potencia y velocidad del cargador del EV, el tipo de cargador es un factor clave, a mayor potencia, habrá una carga más rápida, los cargadores de nivel 1, son los más básicos y comunes que se encuentran o se tiene en el hogar y tienen una potencia de 1,4 kW, mientras que los cargadores DC (corriente continua), pueden proporcionar una potencia de 500 kW, lo que permite cargar de energía en menor tiempo.
- El Estado de Carga (SoC) o el nivel de carga inicial, para los EV se recomienda recargar siempre entre el 20% – 80% de su capacidad para preservar la batería, cuanto más se agote la carga, menor protección tendrá la batería y más lenta será la carga.
- La hora del día, la cantidad de EVs conectados, influyen durante la recarga, por ejemplo, si se realiza la recarga durante las horas pico, la red eléctrica puede no ofrecer su máximo potencial, lo que disminuye la velocidad de carga. Además, si varios EV están conectados simultáneamente en lugares de carga públicos, la potencia de la estación se dividirá entre todos los vehículos conectados, lo que afecta en la velocidad de carga.
- La temperatura ambiente, también influye en la velocidad de carga y en la autonomía de la batería, ya que las condiciones extremas de frío o calor, puede ralentizar el proceso de carga en las baterías.
- El tipo de conector, los distintos tipos de conectores tienen capacidades variadas de carga, lo que implica velocidades de carga diferentes.
- La salud de la batería (SoH), este representa la relación entre la carga máxima de la batería y su capacidad nominal original, conforme transcurre el tiempo es posible que disminuya la SoH, por lo general los fabricantes ofrecen garantías de batería que suelen cubrir entre 160.000 y 200.000 kilómetros o de 6 a 10 años, lo que ocurra primero. Después de este tiempo las baterías suelen tener una SoH del 75%,

En este sentido, para poder calcular el tiempo de carga de un EV, se puede utilizar la siguiente fórmula, se debe considerar que existen factores que pueden influenciar como se mencionó con anterioridad.

$$\text{Autonomía del EV} = \frac{\text{Capacidad de la batería (kWh)} * 1000}{\text{Potencia del cargador (kW)} * 1000} \quad (1)$$

A continuación, en la Tabla 2, se muestra la comparación entre las baterías Li-ion y las Baterías Na-ion, los costos, autonomía de cada batería, tiempo de vida y salud.

Tabla 2 Comparación de las Baterías Li-ion y Na-ion

	Baterías Li-ion	Baterías Na-ion
Costo de Fabricación	190 US\$/kWh	50 US\$/kWh
Autonomía (distancia)	800 - 1.100 Km	400 - 500 Km
Tiempo de vida	4.000 - 10.000 ciclos	2.000 - 5.000 ciclos
Salud de la Batería (SoH)	60% - 80%	≅ 80%

Nota. Fuente: Europa Press (2024); Ryzhkov (2023); Cambio Energético (2023); Callejo (2024)

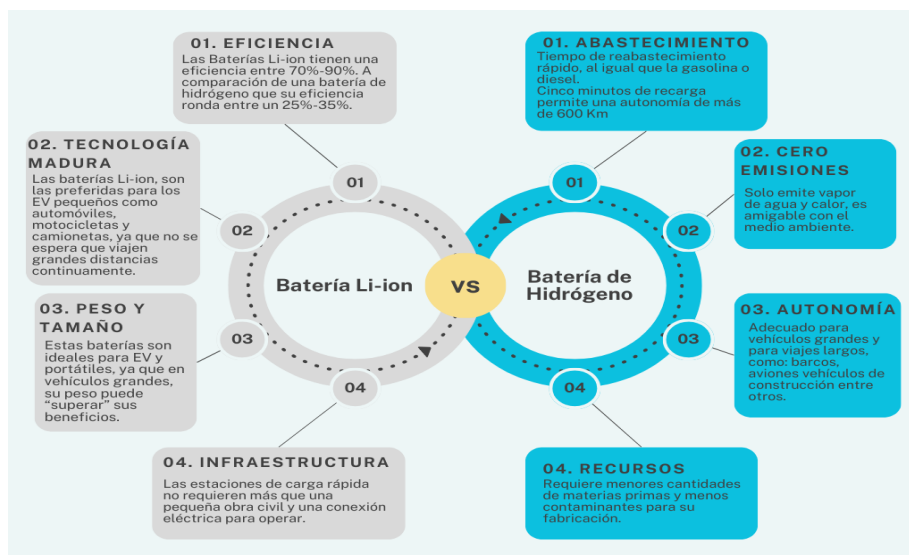
Como se observa en la Tabla 2, en cuanto al costo total para la fabricación de una batería Li-ion, está cerca de US\$ 190 por kWh, para una batería de 60 kWh para un EV, se utilizaría US\$ 11.400 para la fabricación de la batería. En cambio, para la fabricación de baterías Na-ion, tendría un costo de US\$ 50 por kWh, y para una batería de 60 kWh, se utilizaría US\$ 3.000 para la fabricación. Los costos de materia prima pueden variar según la ubicación geográfica, la demanda del mercado y la disponibilidad, en este caso se consideró el precio del litio en US\$ 13.000 la tonelada.

Con respecto a la autonomía de un EV se refiere a la distancia que puede recorrer con una carga completa de su batería antes de necesitar una recarga, esta autonomía puede variar según la capacidad de la batería, condiciones de conducción, SoC, SoH, entre otros aspectos antes mencionados, las baterías Li-ion tiene una autonomía de 800 – 1100 Km, en comparación de los 400 – 500 Km que tienen las baterías Na-ion.

Con relación a el tiempo de vida de una batería, se considera por la cantidad de ciclos de carga y descarga antes de que comience a perder su capacidad, un ciclo se completa cuando la batería se carga completamente y se descarga completamente. Las baterías de Li-ion de bajo voltaje suelen estar entre los 4.000 – 6.000 ciclos, asegurando un rendimiento (SoH) del 60% - 80% al termino

de estos ciclos. Las baterías Li-ion de alto voltaje ofrecen hasta 10.000 ciclos. En cambio, las últimas baterías de Na-ion, tienen 5000 ciclos de vida, ahora, estimando que un ciclo equivale a un día, un año tendría 365 ciclos, 4.000 ciclos serían 10,96 años, en 5000 ciclos sería 13,70 años, 6.000 ciclos sería 16,44 años y 10.000 ciclos sería 27,40 años.

Comparación entre las Baterías Li-ion e Hidrógeno



Nota: Elaboración propia en base en García (2021); Roberto (2023) y Flores (2024)

El reabastecimiento de las baterías de hidrógeno es comparable a los vehículos tradicionales de gasolina o diésel, con unos cinco minutos de repostaje ofrece más de 600 Km de autonomía. El tiempo de espera para recargar una batería o cambiarlo cuando se agota, es de 15 minutos, incluso como solo requiere hidrógeno y oxígeno, el reabastecimiento de combustible es rentable, sin embargo, continúa el problema de la accesibilidad que con el tiempo se espera que sea más accesible.

Asimismo, las baterías de hidrógeno son la opción más limpia, ya que solo produce calor y agua como subproducto, ya que no contiene materiales tóxicos. Además, son más compactas, livianas, silenciosas y con más energía en menor masa, adecuadas para largas distancias, lo que permite una mayor autonomía en vehículos grandes, por ejemplo, un camión con una autonomía de 800 Km reduciría su peso en 2 toneladas si utilizara una batería de hidrógeno en comparación a que se utilizara una batería Li-ion.

Además, considerando la capacidad de reciclaje de las baterías de litio, solo el 5% se reciclan y al contener componentes metálicos tóxicos como el cobalto, níquel y manganeso, estos a menudo se filtran en la tierra y contaminan las fuentes de agua, por lo cual, sería necesario producir más baterías de hidrógeno, sin embargo, el costo de las materias primas involucradas para la creación de estos combustibles de hidrógeno, son altos, como el platino.

En lo que tiene que ver con la infraestructura, a diferencia de las baterías Li-ion y Na-ion, las baterías de Hidrógeno, requieren una estructura más compleja, ya que se demanda tanques de almacenamiento, compresores de gas, un sistema de preenfriamiento y un dispensador de hidrógeno presurizado entre 350 a 700 bares, según el tipo de vehículo. Las baterías de hidrógeno aún requieren pruebas, mayor inversión y mejoras en su tecnología, que permita una mejor eficiencia para su uso en los vehículos pequeños.

Por último, la transición energética, generará la creación de empleos en los sectores de energías renovables, eficiencia energética y la fabricación de vehículos eléctricos. Además, reducirá la dependencia de los combustibles fósiles, ayudará a las empresas y hogares a ahorrar en las facturas de energía. Así que, la reducción de GEI es uno de los principales beneficios de esta transición, junto con la mejora de calidad del aire y la protección del medio ambiente.

Conclusiones

Con relación a los costos, capacidad, salud de las baterías y otros aspectos, dependen del tipo de batería y los cuidados que se dé a la misma, pero se debe considerar que Baterías de Li-ion y Na-ion al ser minerales no renovables, es inevitable que esta fuente de energía se agote, por lo cual se debe contemplar nuevas y/o mejoras en las investigaciones y en otros minerales sostenibles cuya producción sea amigable con el medio ambiente.

Igualmente, las baterías Na-ion y de Hidrógeno, tienen estudios por delante para mejorar su eficiencia, ciclos de vida, tecnología entre otros, la ventaja que tienen estas baterías, es que sus materias primas se encuentran en varios países del planeta, además en la transición energética que se vive hoy en día, se debe considerar una recuperación del hidrógeno a escala industrial con energías renovables. No obstante, las baterías Li-ion son las preferidas para los EV y/o los dispositivos móviles por su capacidad de almacenamiento de energía, pero los costos para la fabricación pueden ser elevados. Sin embargo, las baterías Na-ion son una solución más económica, rentables en climas de extremo frío o calor, sin considerar a los vehículos grandes, ya

que ambas se encuentran por debajo de las baterías de hidrógeno que cuenta con las mejores características para este tipo de vehículos.

En conclusión, cada batería tiene sus pros y contras dependiendo el equipo, vehículo y las condiciones climáticas en las que se encuentren, los costes de estas mismas pueden ser elevados, aun así, si la vida quiere continuar, se debe considerar la transición energética y el cambio de los vehículos propulsados por energía fósil, por vehículos eléctricos que son más amigables con el medio ambiente y reducen las cantidades de CO₂ en el planeta.

Referencias

1. Aquist. (9 de Marzo de 2022). Litio: perspectivas generales. Retrieved 5 de Febrero de 2024, from Aquist Hidrogeológica: <https://www.aquist.cl/2022/03/09/litio-perspectivas-generales/>
2. BID. (6 de Marzo de 2024). Transición Energética en América Latina y el Caribe. Retrieved 18 de Marzo de 2024, from Banco Interamericano de Desarrollo: <https://www.iadb.org/es/noticias/transicion-energetica-en-america-latina-y-el-caribe>
3. Blink Charging. (30 de Noviembre de 2023). Cómo calcular tiempo y duración de carga de un EV. Retrieved 1 de Marzo de 2024, from Blink Charging: <https://blinkcharging.mx/tiempo-de-carga-de-un-vehiculo-electrico/>
4. Callejo, A. (4 de Enero de 2024). Baterías de sodio: todas las claves de la tecnología que promete revolucionar el sector del coche eléctrico en 2024. Retrieved 4 de Marzo de 2024, from Forococheselectricos: <https://forococheselectricos.com/2024/01/todas-las-claves-baterias-sodio.html>
5. Cambio Energético. (6 de Abril de 2023). ¿Cual es la vida útil de una batería de litio para paneles solares? Retrieved 4 de Marzo de 2024, from Cambio Energético, Especialistas en ahorro energético y renovables: <https://www.cambioenergetico.com/blog/vida-util-bateria-litio/>
6. Centro Nacional de Hidrógeno. (6 de Febrero de 2019). El Hidrógeno. Retrieved 29 de Febrero de 2024, from Centro Nacional de Hidrógeno: <https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/>
7. Diaz Paz, W. F., Escosteguy, M., Clavijo, A., & Seghezzo, L. (1 de Febrero de 2022). Transición energética y producción de litio: Principales debates y desafíos para la gestión de agua en Argentina. En C. Brannstrom, L. Seghezzo, A. (. Gorayeb, & U. d. Norte (Ed.),

- Descarbonización en América del Sur: Conexiones entre Brasil y Argentina (R. Silva de Oliveira, & P. C. Souza França, Trads., págs. 417-434). Mossoró. Retrieved 10 de Febrero de 2023, from Descarbonización en América del Sur: Conexiones entre Brasil y Argentina: <http://www.observatoriodaenergiaeolica.ufc.br/wp-content/uploads/2022/10/Descarbonizacion-en-america-del-sur-1.pdf>
8. Europa Press. (7 de Febrero de 2024). Baterías de litio pueden duplicar la autonomía de los coches eléctricos. Retrieved 4 de Marzo de 2024, from Europa Press Ciencia: <https://www.europapress.es/ciencia/laboratorio/noticia-baterias-litio-pueden-duplicar-autonomia-coches-electricos-20240207172154.html>
 9. Flores, L. (4 de Febrero de 2024). Baterías de litio vs. baterías hidrógeno. Retrieved 11 de Marzo de 2024, from LinkedIn: <https://www.linkedin.com/pulse/bater%C3%ADas-de-litio-vs-hidr%C3%B3geno-axell-leonardo-flores-ojeda-whffe/?originalSubdomain=es>
 10. García, G. (7 de Agosto de 2021). Baterías frente a hidrógeno: dos tecnologías para un mismo fin ¿Cuál es mejor opción? Retrieved 28 de Febrero de 2024, from Híbridos y Eléctricos: https://www.hibridosyelectricos.com/coches/baterias-frente-hidrogeno-tecnologias-mismo-fin-mejor-opcion_47344_102.html
 11. Gómez Lende, S. (14 de Diciembre de 2023). Del mito a la realidad: la relación entre la minería y mercado laboral en la porción Argentina del "Triangulo del Litio". *Papeles de Geografía*(69), 77-103. <https://doi.org/10.6018/geografia.590021>
 12. Hernández Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). México D.F.: Mc Graw Hill. Retrieved 4 de Marzo de 2024, from https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
 13. Jones, B., Acuña, F., & Rodríguez, V. (2021). *Cambios en la demanda de minerales: análisis de los mercados del cobre y el litio, y sus implicaciones para los países de la región andina*. Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Retrieved 6 de Febrero de 2024.
 14. Juárez, C. (23 de Julio de 2023). Litio vs. sodio en baterías: ¿cuáles son mejor alternativa? Retrieved 29 de Febrero de 2024, from The Logistics World: <https://thelogisticworld.com/manufactura/litio-vs-sodio-en-baterias-cuales-son-mejor>

22. Solón, J. C. (22 de Mayo de 2022). La industrialización del litio en Bolivia y la participación social. Retrieved 28 de Febrero de 2024, from El Mundo Indígena: <https://www.iwgia.org/es/noticias/4817-la-industrializaci%C3%B3n-del-litio-en-bolivia-y-la-participaci%C3%B3n-social.html>
23. Zarza-Díaz, R. (5 de Enero de 2024). El litio y su cadena de valor. *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 11(21), 48-60. <https://doi.org/10.29057/escs.v11i21.11695>

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).