

## Prospectivas del uso de vehículos con batería ion-litio y desarrollo sostenible en Sudamérica

**Violeta Leonor Romero-Carrión**

*Universidad Nacional Federico Villarreal*

*ORCID: 0000-0003-3260-4776*

**Julián Ccasani-Allende**

*Universidad Nacional Federico Villarreal*

*ORCID: 0000-0003-4880-0798*

**César Augusto Rivadeneyra-Rivas**

*Universidad Nacional Federico Villarreal*

*ORCID: 0000-0001-7851-515X*

**Juan Carlos Guillermo Altamirano-Romero**

*Universidad Nacional Federico Villarreal. Escuela de Posgrado*

*ORCID: 0000-0002-1578-5811*

**Resumen:** Sudamérica tiene yacimientos de litio que posibilitan su crecimiento económico, dada la demanda mundial para la fabricación de baterías de los vehículos eléctricos, reductores de los gases de efecto invernadero. El objetivo de este artículo es determinar la relación entre el uso de los vehículos con batería ion-litio y los componentes del desarrollo sostenible en Sudamérica. Para ello se realizó un análisis documental y se aplicó un estadístico de prueba de hipótesis, en base a los datos encontrados en la literatura relacionada al tema de los países que componen el cuadrilátero del litio: Argentina, Bolivia, Chile y Perú. Los resultados muestran que para el año 2034 las ventas de los vehículos eléctricos seguirán creciendo a 25.2% anual; la aplicación de Rho de Spearman permite afirmar que existe correlación significativa entre el tipo de energía (fósil y eléctrica) de los vehículos y sus emisiones de CO<sub>2</sub> eq.; la normatividad vigente de la región no viabiliza una gestión efectiva de la cadena de valor del litio. Además, existen conflictos sociales por el uso del agua en la obtención del litio, incumplimiento de acuerdos con las empresas que operan y falta de transparencia, que generan que el 50% de los proyectos mineros resulten cancelados o suspendidos.

**Palabras clave:** Ion-litio. Batería. Vehículo eléctrico. CO2. Desarrollo sostenible. Sudamérica.

## **Prospects of the use of lithium-ion battery vehicles and sustainable development in South America**

**Abstract:** South America has the lithium deposits that enable economic growth in the region, given the global demand for manufacturing batteries for electric vehicles, which reduce greenhouse gas emissions. The objective is to determine the relationship between the use of lithium-ion battery vehicles and the components of sustainable development in South America. The design is non-experimental, correlational, and analytical. The sample comprises Argentina, Bolivia, Chile, and Peru. A documentary analysis was conducted, and a hypothesis test statistic was applied based on the data found in the literature. The results show that by the year 2034, sales of electric vehicles will continue to grow at an annual rate of 25.2%. The application of Spearman's Rho confirms a significant correlation between the type of energy (fossil and electric) used by vehicles and their CO2 eq emissions. However, the current regulations in the region do not facilitate effective management of the lithium value chain. There are social conflicts related to the use of water in lithium extraction, non-compliance with agreements by operating companies, and a lack of transparency, leading to the cancellation or suspension of 50% of mining projects.

**Keywords:** Lithium. Battery. Electric vehicle. CO2. Sustainable development. South America.

**Violeta Leonor Romero-Carrión**

Doctora en Educación, docente principal de pregrado y posgrado de la Universidad Nacional Federico Villarreal. Calificada como investigadora RENACYT. Con líneas de investigación en medioambiente, física aplicada y calidad educativa.

**Correo:** vromero@unfv.edu.pe

**Julián Ccasani-Allende**

Doctor en Ingeniería y docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Federico Villarreal. Con experiencia en el ámbito empresarial.

**Correo:** jccasani@unfv.edu.pe

**César Augusto Rivadeneyra-Rivas**

Maestro en Medioambiente e ingeniero Industrial, docente en la Escuela Profesional de Ingeniería de Transportes de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

**Correo:** crivadeneyra@unfv.edu.pe

**Juan Carlos Guillermo Altamirano-Romero**

Maestro en Administración Estratégica de Negocios en el Centrum PUCP e ingeniero de Transportes. Docente en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Federico Villarreal y experiencia en el ámbito empresarial.

**Correo:** jcgaltamirano@gmail.com

## 1. Introducción

Mitigar las emisiones de los vehículos de combustión interna y los gases de efecto invernadero es un imperativo para reducir el calentamiento global y cumplir con los acuerdos de la COP21 de París (PNUMA, 2021). Para ello es necesaria la reducción rápida y sostenida de las emisiones. Desde el sector transporte, una acción es el desarrollo de vehículos eléctricos más respetuosos con el medioambiente y mucho más eficientes. Lo que implica la investigación e innovación con nuevos componentes para almacenar la energía limpia, como es el caso de la batería ion-litio.

Este recurso mineral tiene grandes reservas en Sudamérica. Concretamente, la zona geográfica conformada por Argentina, Bolivia y Chile ha sido denominada como triángulo del litio, y hoy en día, con la incorporación de Perú, ha pasado a ser el cuadrilátero del litio. La explotación de este elemento químico requiere un equilibrio entre la atención a la gran demanda global —que posibilita un desarrollo económico para la región— y la extracción sostenible —social y ambientalmente en concordancia con los objetivos de desarrollo sostenible—.

La extracción de litio para su uso en baterías de vehículos eléctricos tiene un impacto positivo al insertarse en la cadena de las energías renovables, lo que implica la reducción de las energías fósiles y contribuye a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, ayudando a enfrentar el cambio climático (Mignaqui, 2020). El futuro de la demanda de litio está directamente vinculado con la penetración de los vehículos eléctricos en el planeta, lo que posibilitaría el desarrollo económico de Sudamérica.

A nivel internacional, mediante las regulaciones de los países desarrollados, se incentiva el desarrollo sostenible y la adopción de «tecnologías verdes» (Dulcich et al., 2019, pp. 22), lo que ha generado, en el sector transporte, el desarrollo de vehículos eléctricos (EV, por sus siglas en inglés) con baterías recargables que almacenan energía eléctrica, estos automóviles sustituyen a los de motor de combustión interna que consumen energías fósiles. En perspectiva, este cambio posibilita la mitigación del CO<sub>2</sub> (Solís & Sheinbaum, 2016).

La batería de los vehículos eléctricos es un componente clave para el incremento de la producción y las ventas, ya que de ella dependen el precio, tiempo de recarga, el modelo y la eficiencia del vehículo. El avance tecnológico ha permitido la evolución de las baterías, que tienden a reducir su tamaño, elevar su potencia y almacenamiento, y ofrecen impactos ambientales positivos y potencial de reciclaje después de su vida útil (Hannan et al., 2018). Una mayor penetración de EV depende de manera trascendental de las estrategias de abastecimiento de baterías y la disminución constante de precios (Gerybadze & Mengis, 2021).

Sobre la evolución del mercado de litio y baterías, Jones et al. (2021) indican que China es hoy en día el país con mayor consumo en el mundo, representando 55% de la demanda global en el año 2019; añaden que la empresa de inteligencia de negocios que ofrece análisis de mercado en los sectores de metales CRU, estima que dicho consumo mundial aumentará en la próxima década hasta 66%. Además, en solo cuatro años (2015 a 2019) la demanda de las baterías pasó del 35% al 57%. En cuanto a la valoración, de 30 000 000 000 dólares en 2017, se espera que alcance los 100 000 000 000 de dólares en el año 2025 (Anguilano et al., 2022). El crecimiento de la electromovilidad en el sector transporte (vehículos livianos y pesados, autobuses, bicicletas eléctricas, etc.) sigue generando el incremento de la demanda de litio. Las baterías ion-litio configuran la mejor opción de rendimiento y almacenamiento de energía debido a que poseen mayor densidad de energía y densidad de potencia frente a otro tipo de baterías (Cueva et al., 2018).

La mayor demanda de litio a nivel mundial brinda oportunidades de desarrollo a los países andinos, dotados de altas reservas y recursos naturales, los cuales no solo deben ser extraídos para la exportación, sino avanzar hacia su transformación, posibilitando el progresivo desarrollo industrial. Es necesario complementar esta oportunidad con políticas y lineamientos que posibiliten mejoras económicas, sociales y ambientales. En el contexto de los 17 objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030, la actividad minera debe enfocarse en lograr: equilibrio de género, trabajo decente e incremento económico, energía limpia, acción por el clima, comunidades sostenibles, producción y uso responsable (Jones et al., 2021).

Lacabana et al. (2019) reconocen que los vehículos eléctricos dotados de batería ion-litio van mostrando un efecto positivo en la reducción de emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI), ya que contribuyen al cambio de la matriz energética del transporte, pero quedan en duda los impactos negativos en las zonas de extracción. Agregan que, desde de una mirada interdisciplinaria,

se puede definir un sistema complejo del litio, en que se interrelacionan los subsistemas, económico, socio-institucional y físico-natural, donde emergen aspectos económicos complejos y los impactos socioambientales de la extracción del litio. En este contexto se plantea el objetivo de determinar la relación entre el uso de los vehículos con batería ion-litio y los componentes del desarrollo sostenible en Sudamérica.

## **2. Metodología**

Para esta investigación se optó por un enfoque mixto, ya que se toma en cuenta información cuantitativa para las dos primeras dimensiones: uso de los vehículos con batería ion-litio y la mitigación del CO<sub>2</sub>; mientras que para las dimensiones: políticas públicas mineras y el componente socioambiental del desarrollo sostenible, se hace uso de información cualitativa.

A partir de una investigación analítico correlacional, en base a los datos obtenidos de la revisión de la literatura, para el caso del tipo de energía de uso de los vehículos y la mitigación del CO<sub>2</sub>, se consideraron a los países de Francia, Bélgica, Alemania y España, y se aplicó el estadístico de prueba de hipótesis Rho de Spearman para la determinación de la correlación y la significancia. Cabe señalar que para desarrollar este objetivo específico no se contaron con datos sudamericanos, motivo por el cual se extrapoló a datos europeos.

El diseño fue no experimental, pues no se realizó ningún tratamiento ni intervención a las variables de estudio, y más bien recopiló información de hechos ya ocurridos basado en fuentes secundarias.

La recolección de datos se realizó a través del análisis documental de la normatividad de los ministerios de minas de Argentina, Bolivia, Chile y Perú, informes de organismos internacionales vinculados a energías y medioambiente, artículos científicos vinculados al tópico en estudio, tanto a nivel sudamericano como europeo, y otros.

La muestra relacionada al estudio de los casos de los países del cuadrilátero del litio fue censal y comprende los países sudamericanos con yacimientos de litio: Argentina, Bolivia, Chile y Perú.

### 3. Resultados

#### 3.1 Evolución de la demanda de los vehículos eléctricos e implicancia económica

El impulso en los mercados de vehículos eléctricos (EV) ha sido fuerte a pesar de la pandemia. La International Energy Agency (IEA, 2021) informa que en el primer trimestre de 2021 las ventas mundiales de automóviles eléctricos se incrementaron aproximadamente en un 140%, en comparación con el mismo período de 2020, con ventas de alrededor de 500 000 vehículos en China y de 450 000 en Europa. Igualmente, las ventas en los Estados Unidos se duplicaron con creces en comparación al primer trimestre de 2020.

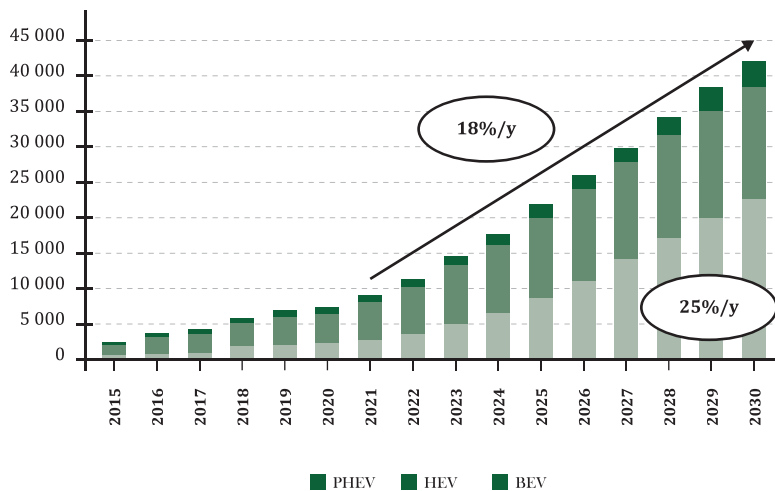
Jones et al. (2021), según proyecciones del CRU, señalan que los vehículos eléctricos híbridos seguirán incrementándose hasta el año 2034, luego se estabilizarán. Mientras que los vehículos eléctricos de batería continuarán creciendo a un ritmo de 25.2% anual, ganando participación en las proyecciones a largo plazo. La expectativa de las ventas por año de los diferentes tipos de vehículos eléctricos (Tabla 1) lograrán más de 42 millones de unidades para el año 2030 (Figura 1).

**Tabla 1. Tipos de vehículos eléctricos y su consumo**

Tipo de EV	Sigla	Consumo eléctrico (kWh)
Híbridos	HEV	1 - 2
Híbridos enchufables o plug-in	PHEV	14 - 18
Vehículos eléctricos de batería, totalmente eléctricos	BEV	40 - 50 (Tesla S o X de 100)

Elaborado en base a Karmann (2022).

**Figura 1. Ventas de vehículos eléctricos híbridos enchufables, híbridos y de batería (en miles de unidades y % por año)**



Fuente y elaboración: Jones et al. (2021, p. 38).

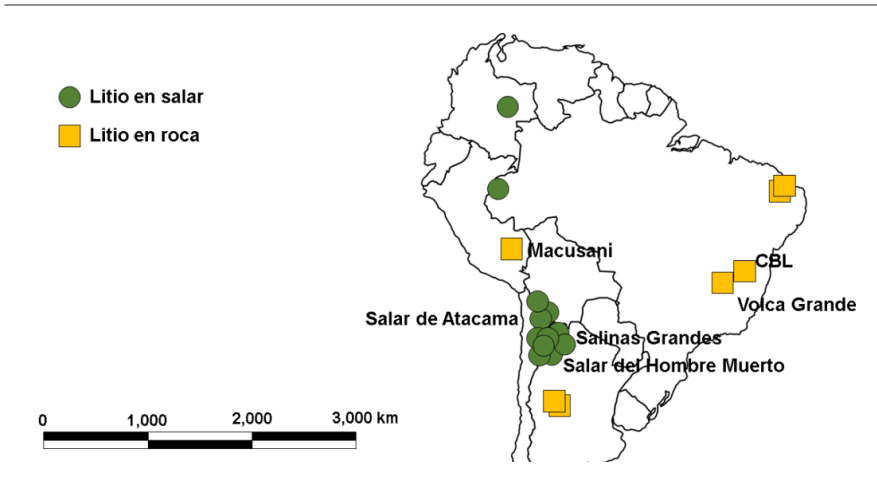
En cuanto a la producción de baterías, Harrison (2021), en un informe en asociación con el grupo suizo ABB, concluye que para 2030 la capacidad de fabricación de baterías ion-litio para vehículos eléctricos no será suficiente para cubrir la demanda, debido a que los automóviles eléctricos superarán en ventas a los de combustión, a pesar de que estarán en funcionamiento unas 80 fábricas de baterías a nivel mundial. La importancia de las baterías radica en que constituyen el 30% o más del valor del vehículo eléctrico.

La cadena de suministro de las baterías es altamente compleja, constituida por minerales críticos como cobre y litio, entre otros, con riesgos de abastecimiento y gran fluctuación económica. Las materias primas se encuentran principalmente en China, África, Australia y América del Sur.

Iijima Cruz (2021) señala que Argentina, Bolivia y Chile forman el triángulo del litio, ya que poseen yacimientos de litio en salmuera (salar) y pegmatita (roca) (Figuras 2, 3 y 4). Sin embargo, en Brasil, México y Perú se han descubierto significativos yacimientos en pegmatita (roca), que se hallan en fase de exploración y se consideran como los más grandes a nivel mundial.



**Figura 2. Yacimientos de litio en Sudamérica**



Elaborado en base a: Iijima Cruz (2021).

**Figura 3. Litio en salar  
Ayuni de Bolivia**



Fuente: Gidahatari Gestión Sostenible del Agua (2022).

**Figura 4. Litio en roca  
Macusani de Perú**



Fuente: Dannemann (2018).

### 3.2 Relación entre el tipo de energía de uso de los vehículos y la mitigación del CO2

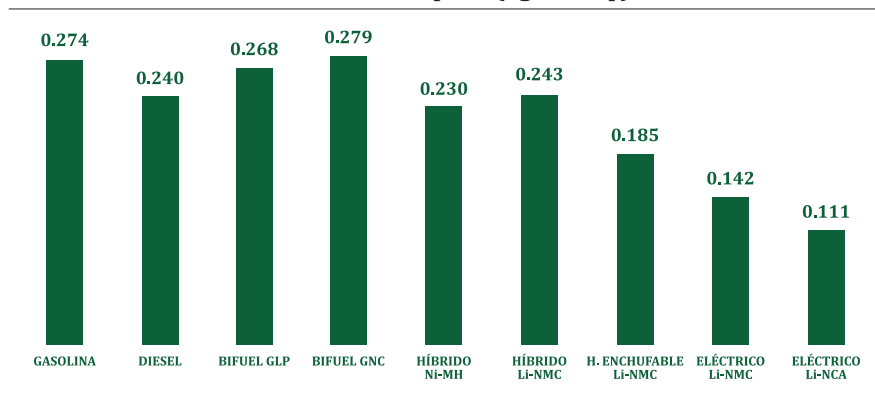
Entre los objetivos de desarrollo sostenible planteados en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, se contempla la reducción de las emisiones de contaminantes atmosféricos y el cumplimiento del compromiso asumido por la comunidad internacional el año 2015 en el Acuerdo de París (Romero-Carrión et al., 2022). Consecuentemente, este modo de desarrollo plantea el objetivo de garantizar el

equilibrio entre el crecimiento económico, la preservación del medioambiente y el bienestar social (Climate Consulting, 2022a).

En el sector transportes, migrar de los vehículos de motor de combustión interna (ICE, por sus siglas en inglés) a los vehículos eléctricos de batería (BEV, por sus siglas en inglés) implica una notable disminución de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) y en especial la mitigación del CO<sub>2</sub>. Según el estudio de Ihobe Sociedad Pública de Gestión Ambiental (2020) en España, un vehículo eléctrico (batería Li-NCA) de tamaño medio que recorre 15 000 km anuales (trayecto de 52% urbano y 48% interurbano) emite indirectamente 0.111 kg CO<sub>2</sub> eq./km, mientras que un vehículo diésel emite 0.240 y el de gasolina 0.274, como se muestra en la Figura 5.

Al respecto, Liu et al. (2022) sostienen que los vehículos eléctricos son una solución efectiva para promover la neutralidad del carbono, combatiendo así la crisis climática.

**Figura 5. Impacto en el cambio climático de los diversos vehículos en España (kg CO<sub>2</sub> eq.)**



Fuente y elaboración: Jones et al. (2021, p. 38).

En el año 2020 los vehículos eléctricos redujeron 50 Mt CO<sub>2</sub> eq. de emisiones de gas de efecto invernadero a nivel mundial, lo que equivale aproximadamente a 11 millones de vehículos con motor de combustión interna conducidos durante un año. En la actualidad, el ciclo de vida de los BEV, que contempla las emisiones relacionadas con la fabricación, el uso y el final de su vida útil, posibilita reducciones de emisiones de GEI del 20 al 30% en comparación con los vehículos de motor de combustión interna convencionales. Sin embargo, para maximizar el potencial de mitigación de las emisiones de GEI, el incremento en la adquisición de vehículos eléctricos debe ir acompañado

de la descarbonización en la generación de electricidad, que se requerirá para abastecer a los vehículos eléctricos de batería (IEA, 2021).

El incremento, sostenido en el tiempo, de las ventas de los vehículos eléctricos de batería repercutirá en la disminución de las ventas de los combustibles fósiles, lo que preocupa a los gobiernos debido a que en el precio de la gasolina y el petróleo se incluyen impuestos para la recaudación fiscal. Anenberg et al. (2019) consideran que el sector transporte sigue siendo el mayor contribuyente a la carga de enfermedades por contaminación del aire a nivel mundial. Sin embargo, la adquisición masiva de vehículos eléctricos en las décadas siguientes reducirá la contaminación del aire, compensando la disminución de los ingresos fiscales al reducir los daños a la salud y los costos vinculados.

Un estudio de Paredes & Pozo (2020) revela que la aplicación de un sistema de movilidad eléctrica a través de autobuses eléctricos en el servicio de transporte público en Ecuador, implicaría la reducción de emisiones de dióxido de carbono igual a 635 778 t CO<sub>2</sub>, lo que representa un 31.21% de reducción de emisiones, inclusive teniendo en cuenta las emisiones del parque generador térmico para la electromovilidad.

Un estudio de la huella de carbono del coche, realizado por Climate Consulting (2022b), muestra para cuatro países europeos el uso de la energía fósil y eléctrica de los vehículos y sus emisiones. En el caso del vehículo eléctrico, es una emisión indirecta correspondiente al proceso de obtención de la batería. La diferencia entre dichas emisiones corresponde a lo generado en la producción de las energías en cada país.

**Tabla 2. Emisión de CO<sub>2</sub> de vehículos con energía fósil y energía eléctrica**

CO <sub>2</sub> eq./pasajero/km	Francia	Bélgica	Alemania	España
Gasolina	293	305	357	424
Eléctrico	112	156	260	224

Adaptado de Climate Consulting (2022b).

En base a los datos de la Tabla 2 se formularon las hipótesis nula y alterna, y se procedió con la contrastación, aplicando el estadístico Rho de Spearman. En la Tabla 3 se muestra la significancia obtenida  $p = 0.005$ , lo que permite afirmar que existe correlación entre el tipo de energía de los vehículos y sus

emisiones de CO2 eq. La Tabla 3 reporta, además, una correlación negativa alta ( $r = -0.873$ ), es decir, a mayor uso de energía limpia (vehículos eléctricos con batería ion-litio), menor emisión de CO2 eq.

**Tabla 3. Correlación Rho de Spearman entre emisiones y energías**

		<b>Emisiones</b> (CO2 eq)		<b>Energías</b> (Eléctrica y fósil)	
<b>Rho de Spearman</b>	<b>Emisiones</b> (CO2eq)	Coefficiente de correlación	1.000	-0.873	
		Sig. (bilateral)	.	.005	
		N	8	8	
	<b>Energías</b> (Eléctrica y Fósil)	Coefficiente de correlación	-.873**	1.000	
		Sig. (bilateral)	.005	.	
		N	8	8	

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral)

Elaboración propia.

### 3.3 Políticas públicas mineras en la región sudamericana

Para reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero y mejorar la calidad del aire de manera global, es necesario que siga el crecimiento del mercado de vehículos eléctricos, para que el consumo de baterías ion-litio siga en aumento. Sin embargo, ello generará cada vez más residuos al final de su vida útil. Las baterías se convertirán en un serio desafío para la gestión de residuos, por lo que es imperativo reciclar y reutilizar las baterías ion-litio usadas.

Poveda (2020) sostiene que un elemento en la sostenibilidad del almacenamiento de energía, que debe ser perfeccionado, es el proceso de fin de vida útil y reciclaje de las baterías ion-litio. Fundamentalmente en la industria del transporte, en un futuro próximo se va a producir una gran cantidad de baterías que al concluir su ciclo de vida generarán impactos negativos al medioambiente. Esta problemática no ha sido abordada con la rapidez requerida.

Yang (2021) señala que existen dos procesos para el reciclaje de las baterías ion-litio. Los procesos físicos, que contienen el desmontaje, la trituración, el

cribado, la disociación magnética, el lavado y el pretratamiento térmico. Y los procesos químicos, como la pirometalurgia, hidrometalurgia y biolixiviación, que permiten la recuperación de los metales.

En el caso de Argentina, no se cuenta con un marco regulatorio específico para el litio, además existe una influencia del Banco Mundial y el país se alinea con el proceso de federalización de distintas políticas, permitiendo a las provincias el derecho a dictar normas que regulen la actividad extractiva (León et al., 2020). El código de 1886, reformado en 1997, faculta a los particulares a explorar minas y actuar como sus dueños. El subsuelo le pertenece al descubridor, quien puede acceder mediante una concesión de la autoridad estatal correspondiente y el pago del canon minero. Además, se encuentra la Ley 5674, que considera las reservas de litio como recurso que posibilita el desarrollo socioeconómico de Jujuy. Las empresas que impulsan el desarrollo de este sector son: seis australianas, tres canadienses, dos chinas, una japonesa, una surcoreana, una francesa, una británica, y las argentinas Jemse de Jujuy, Exar y Pluspetrol. En cuanto a la regulación de litio, no se aprecia vinculación con el reciclaje, pero sí cuentan con la Ley Nacional General del Ambiente 25.675 y la Ley 5991 de Gestión Ambiental de Pilas en Desuso del año 2018, entre otras. En dicho marco han surgido microempresas que a partir de la recuperación del litio producen baterías eléctricas.

En Bolivia, la política y normatividad minera se clasifican como un régimen jerárquico, con un marcado control político del Estado central, en especial del Viceministerio de Altas Tecnologías Energéticas y de la Dirección de Yacimientos de Litio Bolivianos (Obaya, 2019). En abril de 2017 se promulgó la Ley 928 que crea la Empresa Pública Nacional Estratégica de Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB), bajo tuición del Ministerio de Energías, que se responsabiliza de las actividades de toda la cadena productiva, hasta la industrialización y comercialización. Contempla también procesos posteriores de semi-industrialización, industrialización y procesamiento de residuos. Se asociaron con actores extranjeros en la segunda fase de la Estrategia, pero manteniendo la participación mayoritaria de la YLB. Sin embargo, el Gobierno boliviano ha mantenido a lo largo de los años condiciones para tal asociación, como que el socio garantice mercados para los productos elaborados (Obaya, 2019).

En Chile, para el caso del litio, existen rasgos de gobernanza jerárquica bajo el control de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). Sin embargo, el Estado, al delegar la operación a empresas privadas de gran envergadura, ha dotado al régimen de rasgos propios de la gobernanza de

mercado (Poveda, 2020). En el salar de Atacama se ubican las dos operaciones de minería de litio más grandes de Chile: la Sociedad Química y Minera de Chile, y Albemarle (empresa estadounidense). En Chile, bajo el principio de «el que contamina paga», se aprobó el año 2016 la Ley 20920, conocida como la Ley de Reciclaje, cuyo objeto es disminuir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización, a través de la instauración de la responsabilidad extendida del productor y otros instrumentos de gestión de residuos, con el fin de proteger la salud de las personas y el medioambiente. De acuerdo a los compromisos adoptados por Chile con la suscripción del Convenio de Basilea y la normativa interna del Ministerio de Salud, la exportación de baterías de plomo y ácido está prohibida al estar categorizada como residuo peligroso y existir una planta de tratamiento en el país; sin embargo, en la reglamentación de la Ley de Reciclaje se debería considerar las potenciales oportunidades que se pueden generar con el reciclaje de baterías ion-litio (Poveda, 2020).

En el Perú, en julio de 2021, se aprobó la Ley 31283, que en su primer artículo declara de necesidad pública e interés nacional la exploración, explotación e industrialización del litio y sus derivados en el territorio nacional, con el propósito de garantizar su desarrollo sustentable. La comercialización de litio y sus derivados constituyen recursos estratégicos para el desarrollo del país. En su segundo y último artículo menciona que el Poder Ejecutivo debe reglamentar la ley para que garantice el desarrollo de la industria nacional de la batería y el procedimiento para el reciclaje de las baterías ion-litio. Cabe señalar que hasta el momento no existe tal reglamentación. En el Perú las operaciones las realiza la empresa canadiense Plateau Energy Metals a través de su subsidiaria Macusani Yellowcake, esta compañía controla un total de 93 000 hectáreas de concesiones (930 km<sup>2</sup>) en la provincia de Carabaya, distritos de Corani y Macusani (Vilca, 2020).

Cabe señalar que la demanda mundial de litio no será por siempre, es necesario regular la cadena de valor completa —extracción, fabricación y comercialización de las baterías ion-litio—, salvando la brecha tecnológica y actuando con celeridad para no perder la oportunidad coyuntural que se presenta para los cuatro países de Sudamérica aquí revisados.

### **3.4 Componente socioambiental del desarrollo sostenible en la región sudamericana**

La directora de la División de Recursos Naturales de la CEPAL, Jeannette Sánchez, manifestó que la gobernanza del litio estará condicionada por la dinámica de la transición energética a nivel global de la energía fósil a la

eléctrica, con marcadas preocupaciones por los impactos ambientales; y por la conflictividad socioambiental en los países productores (Foro Internacional Cepal, 2022).

La gobernanza socioambiental implica la toma de decisiones sobre los recursos naturales por parte de los diversos actores sociales, lo cual no está funcionando con el equilibrio esperado, ya que en los últimos años se han elevado los reclamos de la sociedad civil por los impactos ambientales y sociales de la minería en general y del litio en particular. Consecuentemente, se presenta un escenario con:

- Demandas por el agua, ya que la extracción de litio, especialmente mediante el método evaporítico, genera un alto consumo de agua y ocasiona una salinización del agua dulce.
- Limitada participación ciudadana para la toma de decisiones sobre los contratos mineros que contemplen aspectos agropecuario, turístico, cultural y laboral.
- Limitación al acceso a la información de los estudios de evaluación de impacto ambiental y falta de control del cumplimiento de las empresas extractoras de litio sobre las normas que obligan a prevenir, controlar, reducir y mitigar los impactos ambientales negativos, y remediar y rehabilitar las áreas explotadas.
- Escasa e inadecuada rendición de cuentas sobre la recaudación económica y el cumplimiento de acuerdos entre las empresas que operan y la comunidad para el logro de una mejor calidad de vida de los pobladores de la zona.

Estos reclamos de los pobladores de las zonas geográficas en las que se encuentran los yacimientos mineros, entre ellos los de litio, generan que más de un 50% de los proyectos mineros resulten cancelados o suspendidos temporalmente, tanto en Chile, Perú, Argentina y Bolivia. Ante esta situación, la participación del Estado es clave para diseñar las reglas y velar por su cumplimiento (Arias et al., 2022). Además, es necesaria la incorporación de la transparencia y la rendición de cuentas como pilares fundamentales de la gobernanza socioambiental para evitar dichas tensiones sociales.

#### 4. Conclusiones

- a. La venta de mayor número de vehículos eléctricos de batería ion-litio con alta densidad energética ofrece en prospectiva la oportunidad de un desarrollo económico de los países sudamericanos con yacimientos de litio, además posibilita mitigar los gases de efecto invernadero y en especial el CO<sub>2</sub>.
- b. Las políticas públicas plasmadas en la normatividad vigente de la región no viabilizan una gestión efectiva y oportuna de la cadena de valor del litio, que comprende la extracción, fabricación y comercialización del producto final, que en este caso serían las baterías de ion-litio para los vehículos eléctricos.
- c. El componente socioambiental del desarrollo sostenible presenta marcadas preocupaciones por los impactos ambientales aledaños a las zonas de extracción del litio y el conflicto social generado por el uso del agua, la limitada participación ciudadana en la toma de decisiones en los contratos con las empresas que operan y el incumplimiento de los acuerdos; consecuentemente, un 50% de los proyectos mineros resultan cancelados o suspendidos.
- d. El reciclaje de las baterías ion-litio es incipiente en la región y en el caso peruano aún no se cuenta con reglamentación, la cual se espera que posibilite una economía circular.

#### Referencias

- Anenberg, S., Miller, J., Henze, D. & Minjares, R. (2019). Una instantánea global de los impactos en la salud relacionados con la contaminación del aire de las emisiones del sector del transporte en 2010 y 2015. *Environmental Research Letters*, 14(9). <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ab35fc>
- Anguilano, L., Onwukwe, U., Aryani, D., Ojeda, J., Lingua, G., Gianotti, V., & Devoto, A. (2022). Characterisation of Hyperaccumulators for Lithium Recovery from Ancient Mine Soils. In: Lazou, A., Daehn, K., Fleurialt, C., Göknelma, M., Olivetti, E., Meskers, C. (eds). *REWAS 2022: Developing Tomorrow's Technical Cycles (Volume I). The Minerals, Metals & Materials Series. Springer, Cham*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-92563-5\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92563-5_16)
- Arias, M., Galuccio, M. & Freytes, C. (2022). *Gobernanza socioambiental de la minería de litio. Instituciones, acceso a la información y participación pública en Argentina*. [https://fund.ar/wp-content/uploads/2022/10/Fundar\\_Gobernanza\\_Socioamb\\_MineriaLitio.pdf](https://fund.ar/wp-content/uploads/2022/10/Fundar_Gobernanza_Socioamb_MineriaLitio.pdf)
- Climate Consulting (12 de setiembre de 2022b). Huella de carbono del coche: reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Climate Consulting [Web]. <https://climate.selectra.com/es/huella-carbono/coche>



- Climate Consulting (8 de julio de 2022a). El desarrollo sostenible y el medio ambiente. *Desarrollo sostenible: definición, objetivos y ejemplos*. Climate Consulting [Web]. <https://climate.selectra.com/es/que-es/desarrollo-sostenible#el-desarrollo-sostenible-y-el-medio-ambiente>
- Cueva, E., Lucero, J., Guzmán, A., Rocha, J. & Espinoza, L. (2018). Revisión del estado del arte de baterías para aplicaciones automotrices. *Enfoque UTE*, 9(1), pp. 166-176. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n1.202>
- Dannenmann, V. (1 de agosto de 2018). Descubrimiento de litio en Perú: los desafíos del oro blanco. *Deutsche Welle*, Ciencia. <https://p.dw.com/p/32Sqx>
- Dulcich, F., Otero, D. & Canzian, A. (2019). Recent Evolution and Current Situation of the Production and Diffusion of Electric Vehicles Globally and in Latin America. *Asian Journal of Latin American Studies*, 32(4), pp. 21-51. <http://www.ajlas.org/v2006/paper/2019vol32no402.pdf>
- Foro Internacional Cepal (2022). Perspectivas del Litio desde América Latina. Cepal [Web]. <https://www.cepal.org/es/eventos/participacion-la-division-recursos-naturales-la-cepal-foro-internacional-perspectivas-litio>
- Gerybadze, A. & Mengis, H. (2021). Catch-Up and Reverse Catch-Up Processes in the Market for Lithium-Ion Batteries. In: A. Pyka & K. Lee (Eds.). *Innovation, Catch-up and Sustainable Development. Economic Complexity and Evolution*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-84931-3\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-84931-3_8)
- Gidahatari Gestión Sostenible del Agua (2022). Una perspectiva de la geología y origen de los yacimientos de Salmueras de Litio. <https://gidahatari.com/ih-es/una-perspectiva-de-la-geologia-y-origen-de-los-yacimientos-de-salmueras-de-litio>
- Hannan, M., Hoque, M., Hussain, A., Yusof, Y. & Ker, P. J. (2018). State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations. *IEEE*, 6, pp. 19362-19378. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2817655.
- Harrison, D. (2021). Electric Vehicle Battery Supply Chain Analysis. Automotive from Ultimamedia. [https://new.abb.com/docs/librariesprovider89/default-document-library/automotive-battery-supply-chain-analysis-2021-final\\_abb\\_ams---abridged-version-docx.pdf?sfvrsn=3bc9f708\\_2](https://new.abb.com/docs/librariesprovider89/default-document-library/automotive-battery-supply-chain-analysis-2021-final_abb_ams---abridged-version-docx.pdf?sfvrsn=3bc9f708_2)
- Ihobe Sociedad Pública de Gestión Ambiental (2020). *Informe de análisis de ciclo de vida: Comparativa ambiental entre diferentes alternativas de vehículos*. Ihobe Sociedad Pública de Gestión Ambiental y Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda del Gobierno Vasco. [https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/comparativa\\_vehiculos/es\\_def/adjuntos/Comparativa-Vehiculos.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/comparativa_vehiculos/es_def/adjuntos/Comparativa-Vehiculos.pdf)
- Iijima Cruz, H. (noviembre, 2021). Búsqueda por el litio latinoamericano. Obela, Observatorio Económico Latinoamericano [Web]. <http://www.obela.org/analisis/busqueda-por-el-litio-latinoamericano>
- International Energy Agency (IEA) (2021). Global EV Outlook 2021. Paris: IEA. License: CC BY 4.0. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>
- 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*. Documentos de Proyectos (LC/TS.2021/89). Santiago: CEPAL y Cooperación alemana. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47136/S2100341\\_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47136/S2100341_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Karmann, R. (26 de mayo de 2022). ¿Qué coche me compro, híbrido o híbrido enchufable? *Carwow* [Web]. <https://www.carwow.es/blog/que-coche-me-compro-hibrido-o-hibrido-enchufable#gref>
- Lacabana, M., Nacif, F., Mignaqui, V., Casalis, A. & Rogers, D. (2019). Globalización y territorios vulnerados - Sustentabilidad de la explotación del litio en Argentina. *Revista Política y Planeamiento Regional*, 6(3), pp. 343-367.
- León, M., Muñoz, C. & Sánchez, J. (Eds.) (2020). *La gobernanza del litio y el cobre en los países andinos*. CEPAL y Cooperación alemana. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46479/1/S2000535\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46479/1/S2000535_es.pdf)
- Liu, W., Placke, T. & Chau, K. (2022). Overview of batteries and battery management for electric vehicles. *Energy Reports*, 8, pp. 4058-4084. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.03.016>
- Mignaqui, V. (2020). Impactos ambientales por extracción del litio en salmuera en la puna argentina: un llamado a la investigación. *Ambiens*, 2(4), pp. 68-84. <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ambiens/article/view/1400/1996>
- Obaya, M. (2019). *Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en el Estado Plurinacional de Bolivia*. Documentos de Proyectos (LC/TS.2019/49). Santiago: Cepal. [https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/44776/S1900479\\_es.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/44776/S1900479_es.pdf)
- Paredes, L. & Pozo, M. (2020). Movilidad Eléctrica y Eficiencia Energética en el Sistema de Transporte Público del Ecuador un Mecanismo para Reducir Emisiones de CO2. *Revista Técnica Energía*, 16(2), pp. 91-99. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v16.n2.2020.356>
- PNUMA (2021). *Informe sobre la brecha de emisión 2021*. [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36991/EGR21\\_ESSP.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36991/EGR21_ESSP.pdf)
- Poveda, R. (2020). *Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en Chile*. Series de CEPAL: Recursos Naturales y Desarrollo-195. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45683-estudio-caso-la-gobernanza-litio-chile>
- Romero-Carrión, V., Campos-Pérez, R., Solís-Fonseca, J., Altamirano-Romero, J. & Flores, E. (2022). Etiquetado de eficiencia energética en mitigación de dióxido de carbono. *Australian Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 19(2), pp. 1-8 <https://doi.org/10.1080/1448837X.2022.2069637>
- Solís, J. & Sheinbaum, C. (2016). Consumo de energía y emisiones de CO2 del transporte en México y escenarios de mitigación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(1), pp. 7-23. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/46111>
- Vilca, P. (2020). *El proyecto de explotación de litio en Puno*. Asociación Servicios Educativos Rurales. Ford Foundation. [http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/informe\\_litio\\_en\\_puno\\_online.pdf](http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/informe_litio_en_puno_online.pdf)
- Yang, D. (2021). *Reciclaje de baterías de litio para vehículos eléctricos*. [Trabajo final de Máster, Universidad Politécnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/358238/TFM-DingxinYang.pdf?sequence=1&isAllowed=y>