

Análisis de recursos técnicos y gestión de tecnología para la explotación del litio en Bolivia

Analysis of technical resources and technology management for lithium exploitation in Bolivia

Isaías Demetrio Lizarazu Izquierdo

isaiaslizarazu@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-6926-7077>

**Universidad Autónoma Tomás Frías,
Potosí, Bolivia**

Recibido el 15 de agosto de 2025 / Arbitrado el 20 de septiembre de 2025 / Aceptado el 18 de diciembre de 2025 / Publicado el 25 de enero de 2026

RESUMEN

El litio se ha convertido en un recurso estratégico para la transición energética global, especialmente por su papel en la fabricación de baterías de iones de litio. Bolivia, que concentra una de las mayores reservas en el Salar de Uyuni, enfrenta el reto de convertir este potencial en desarrollo sostenible. El objetivo del artículo es analizar los recursos técnicos disponibles y el marco de gestión de tecnología e innovación para la explotación del litio en Bolivia. El estudio adopta un enfoque cualitativo, basado en revisión documental y diseño descriptivo-analítico. La búsqueda, realizada entre enero y febrero de 2026 en Scopus, Web of Science, Google Scholar y Repositorios institucionales, compara los métodos tradicionales de evaporación de salmuera con las tecnologías emergentes de extracción directa de litio (EDL). Los resultados indican que la EDL presenta ventajas en eficiencia y sostenibilidad ambiental, su implementación ofrece mayor eficiencia y menores impactos ambientales, pero su adopción exige transferencia tecnológica y fortalecimiento de capacidades locales. Se concluye que la industrialización del litio en Bolivia depende de una gestión tecnológica proactiva que articule soberanía de los recursos, cooperación internacional y mitigación de riesgos socioambientales.

Palabras Claves: Baterías de iones de litio; Extracción directa de litio (EDL); Gestión de tecnología; Impacto ambiental; Innovación; Salar de Uyuni.

ABSTRACT

Lithium has become a strategic resource for the global energy transition, especially due to its role in the manufacture of lithium ion batteries. Bolivia, which concentrates one of the largest reserves in the Salar de Uyuni, faces the challenge of converting this potential into sustainable development. The objective of the article is to analyze the available technical resources and the technology and innovation management framework for lithium exploitation in Bolivia. The study adopts a qualitative approach, based on documentary review and descriptive-analytical design. The search, carried out between the year and February 2026 in Scopus, Web of Science, Google Scholar and institutional repositories, compares traditional methods of salt evaporation with emerging technologies of direct lithium extraction (EDL). The results indicate that the EDL presents advantages in efficiency and environmental sustainability, its implementation offers greater efficiency and lower environmental impacts, but its adoption requires technological transfer and strengthening of local capabilities. It is concluded that the industrialization of lithium in Bolivia depends on proactive technological management that articulates resource sovereignty, international cooperation and mitigation of socio-environmental risks.

Keywords: Lithium-ion batteries; Direct lithium extraction (DLE); Technology management; Environmental impact; Innovation; Salar de Uyuni.

INTRODUCCIÓN

La transición energética global hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles ha posicionado al litio como un recurso de importancia estratégica sin precedentes, convirtiéndose en un pilar fundamental para la descarbonización de la economía mundial. Este metal alcalino, el más ligero de la tabla periódica, es el componente esencial e insustituible en la fabricación de baterías de iones de litio (Li-ion), una tecnología disruptiva que actualmente alimenta un vasto ecosistema de dispositivos, desde la electrónica de consumo portátil hasta los vehículos eléctricos (VE) y los sistemas de almacenamiento de energía a gran escala (SAE), cruciales para estabilizar las redes eléctricas basadas en fuentes renovables intermitentes como la solar y la eólica (van Sluisdam, 2022). En consecuencia, el litio se ha convertido en un insumo crítico para la transición energética y para la competitividad tecnológica de los países.

De hecho, como señalan Jovine (2024) y Barandiarán (2019), la demanda exponencial de litio ha reconfigurado completamente el mapa geopolítico de los recursos naturales, otorgando una nueva centralidad a las regiones con vastas reservas. En este contexto, la región andina de América del Sur, conocida como el “Triángulo del Litio” -que abarca los salares de Argentina, Chile y Bolivia-, ha adquirido una relevancia geopolítica de primer orden, al concentrar, según diversas estimaciones, más del 60% de los recursos de litio identificados en el planeta (Barandiarán, 2019; U.S. Geological Survey, 2023). Esta concentración estratégica ha impulsado debates sobre la gobernanza, la soberanía y los modelos de desarrollo asociados a la explotación del recurso, especialmente en países con trayectorias extractivas históricamente complejas (Gudynas, 2021).

Dentro de este marco geoestratégico, Bolivia emerge como un actor de potencial superlativo. El país alberga en el majestuoso Salar de Uyuni una de las mayores reservas de litio del mundo, con recursos estimados que oscilan entre 21 y 23 millones de toneladas (Gutierrez, Rios, y Escobar, 2023). Esta vasta riqueza natural representa, por consiguiente, una oportunidad histórica y potencialmente transformadora para la nación. No obstante, la magnitud del recurso no garantiza por sí misma la capacidad de convertirlo en desarrollo, lo que exige analizar las condiciones técnicas, institucionales y tecnológicas que median dicho proceso.

Históricamente, la economía boliviana ha estado marcada por una fuerte dependencia de la exportación de materias primas con bajo valor agregado, como el gas natural y los minerales tradicionales (estaño, plata, zinc), un patrón que ha generado ciclos de auge y caída y una persistente vulnerabilidad a la volatilidad de los precios internacionales, tal como lo documentan Stefanoni (2023) y El País (2025). En este sentido, la industrialización del litio, por tanto, no solo se presenta como una vía para diversificar la matriz productiva, sino también como una promesa para impulsar un desarrollo industrial soberano, capaz de generar empleo cualificado, fomentar la innovación tecnológica y capturar una mayor porción del valor en la cadena de suministro global de las baterías.

Sin embargo, la promesa de prosperidad que emana del “oro blanco” se ha visto obstaculizada por una compleja red de desafíos técnicos, económicos, políticos y de gestión que han ralentizado su aprovechamiento efectivo durante casi dos décadas (El País, 2025). A pesar de las significativas inversiones estatales y de los discursos nacionalistas que han acompañado el proyecto desde sus inicios, los resultados productivos no han alcanzado las proyecciones iniciales, generando un intenso y, a menudo, polarizado debate nacional sobre la estrategia a seguir (Stefanoni, 2023). Este desfase entre expectativas y resultados evidencia la necesidad de examinar críticamente los recursos técnicos

disponibles y los modelos de gestión tecnológica implementados.

Este estancamiento contrasta marcadamente con los avances observados en los países vecinos. Tanto Chile como Argentina, aunque con modelos de gobernanza y resultados socioambientales distintos y no exentos de críticas, han logrado desarrollar una industria de litio a escala comercial, atrayendo inversión extranjera y convirtiéndose en actores relevantes en el mercado global (Jovine, 2024). La situación boliviana, en cambio, parece reflejar lo que Barandiarán (2019) describe como “imaginarios de desarrollo”: visiones grandiosas de un futuro industrial que no siempre logran traducirse en capacidades productivas y tecnológicas concretas en el presente. Esta brecha entre discurso y capacidad operativa constituye un eje analítico central para comprender la trayectoria del litio en Bolivia.

La raíz de estas dificultades es multifactorial. Desde una perspectiva técnica, la propia composición geoquímica del Salar de Uyuni presenta obstáculos formidables. La salmuera boliviana posee una alta concentración de magnesio en relación con el litio (una ratio Mg/Li significativamente mayor que en los salares de Chile o Argentina), lo que complica enormemente el proceso de separación y purificación, ya que ambos elementos tienen propiedades químicas similares. Este desafío técnico condiciona la eficiencia de los métodos tradicionales de evaporación y explica, en parte, el interés creciente por tecnologías emergentes como la extracción directa de litio (EDL).

Adicionalmente, las condiciones climáticas del Altiplano boliviano, con una temporada de lluvias prolongada y una tasa de evaporación solar más baja que en el desierto de Atacama, hacen que el método tradicional de extracción -basado en la evaporación solar en grandes piscinas- sea extremadamente lento e ineficiente, extendiendo los tiempos de procesamiento de meses a años y reduciendo la tasa de recuperación de litio. Este método, además, conlleva un considerable y cada vez más cuestionado impacto ambiental, principalmente por su masivo consumo de agua dulce y salmuera en una región árida y ecológicamente frágil, lo que genera una creciente preocupación y potenciales conflictos con las comunidades locales que dependen de estos escasos recursos hídricos para su subsistencia (Fundación Solón, 2019; Liu y Agusdinata, 2020). En consecuencia, la sostenibilidad hídrica se ha convertido en un eje crítico del debate sobre la viabilidad del modelo evaporítico en Bolivia.

Frente a este panorama de estancamiento tecnológico y crecientes presiones socioambientales, las tecnologías de Extracción Directa de Litio (EDL) emergen como una alternativa estratégica y potencialmente disruptiva. Estas tecnologías, que abarcan una variedad de procesos como la adsorción, el intercambio iónico y el uso de membranas solventes, prometen superar las principales limitaciones del método evaporítico. Ofrecen tiempos de procesamiento drásticamente reducidos (de horas o días en lugar de meses), tasas de recuperación de litio muy superiores (potencialmente por encima del 90%, frente al 40-60% del método tradicional), y una selectividad mucho mayor para separar el litio del magnesio. De este modo, la EDL se posiciona como una opción tecnológica capaz de transformar la eficiencia y la competitividad del sector.

Crucialmente, las tecnologías EDL tienen el potencial de reducir drásticamente el impacto hídrico al permitir la reinyección de la mayor parte de la salmuera procesada al salar, minimizando así el consumo neto de agua (Ministerio de Hidrocarburos y Energías de Bolivia, 2025). No obstante, la viabilidad de estas tecnologías en el contexto boliviano aún debe ser evaluada críticamente, considerando su madurez tecnológica, los costos de inversión y operación (CAPEX y OPEX), y la

necesidad de adaptar los procesos a las condiciones específicas de la salmuera de Uyuni. Por ello, la adopción de EDL no puede entenderse únicamente como una decisión técnica, sino como un proceso complejo que implica capacidades institucionales, infraestructura, gobernanza y estrategias de gestión tecnológica.

En este sentido, la justificación de este estudio reside en la brecha de conocimiento existente sobre la articulación sistémica entre los recursos técnicos disponibles, las alternativas tecnológicas emergentes y las estrategias de gestión de tecnología e innovación en el caso específico de Bolivia. Mientras que la mayoría de los análisis se han centrado en el potencial geológico o en los debates políticos, existe una carencia de investigaciones con un enfoque documental y descriptivo-analítico que evalúen de manera rigurosa y comparativa las opciones tecnológicas dentro de un marco de gestión de la innovación. Esta ausencia de estudios integrales limita la capacidad del país para diseñar políticas basadas en evidencia y para orientar inversiones hacia soluciones tecnológicas realmente viables.

Asimismo, la importancia de esta investigación es, por tanto, multifacética y de gran pertinencia actual. Primero, en un plano práctico, ofrece un análisis sistemático que puede informar la toma de decisiones estratégicas para el Estado boliviano, ayudando a superar el estancamiento actual y a definir una hoja de ruta tecnológica viable. Segundo, en el plano académico, contribuye al debate sobre los modelos de desarrollo basados en recursos naturales en la era de la transición energética, explorando cómo un país rico en recursos puede apalancar la innovación para evitar la “maldición de los recursos” y construir una industrialización sostenible (Gudynas, 2021; Sánchez y Hartlieb, 2020).

Finalmente, al analizar críticamente las alternativas tecnológicas y su marco de gestión, el estudio proporciona una base fundamental para la formulación de una política pública integral que busque armonizar la soberanía nacional, la eficiencia económica y la sostenibilidad socioambiental, un desafío central para toda la región. En suma, el estudio se apunta en un debate estratégico que combina ciencia, tecnología, política y desarrollo.

Por todo lo expuesto, y reconociendo la encrucijada estratégica en la que se encuentra el país, el objetivo de esta investigación es analizar los recursos técnicos disponibles y el marco de gestión de tecnología e innovación para la explotación del litio en Bolivia. Este objetivo orienta el análisis hacia una comprensión integral del problema, articulando dimensiones técnicas, institucionales y socioambientales.

MATERIALES Y MÉTODO

El presente estudio se enmarca en una investigación con un enfoque cualitativo, el cual se considera el más apropiado, ya que el propósito no es medir variables ni establecer relaciones causales, sino comprender en profundidad la complejidad del fenómeno de la explotación del litio en Bolivia. A través de este enfoque, se busca interpretar y analizar discursos, estrategias y contextos a partir de documentos, lo que permite capturar la riqueza de los matices técnicos, sociales y políticos involucrados. En correspondencia con esta aproximación, el tipo de investigación es documental, puesto que la principal fuente de datos la constituyen documentos de diversa naturaleza. Este enfoque resulta coherente con la naturaleza socio-técnica del problema y con la necesidad de examinar procesos, decisiones y capacidades institucionales más que resultados cuantificables.

Para ello, se ha recurrido a una revisión exhaustiva de literatura científica y técnica, informes de organismos gubernamentales como el Ministerio de Hidrocarburos y Energías, reportes de organizaciones no gubernamentales como la Fundación SOLON, y artículos de prensa

especializados. Este método es fundamental para construir una base de conocimiento sólida, actualizada y multifacética sobre el tema, permitiendo triangular información de distintas fuentes para obtener una visión más completa y crítica. La revisión documental, además, fortalece la validez interna del estudio, al contrastar perspectivas técnicas, institucionales y socioambientales.

Finalmente, se adopta un diseño descriptivo-analítico. El diseño es descriptivo porque busca especificar las propiedades, características y perfiles de los recursos técnicos, las tecnologías de extracción y los marcos de gestión existentes en Bolivia. Al mismo tiempo, es analítico porque la investigación no se limita a describir, sino que avanza hacia la evaluación crítica y la comparación de las tecnologías (contrastando la evaporación tradicional frente a la EDL), la interpretación de las estrategias de gestión y la síntesis de las implicaciones estratégicas para el país, estableciendo así relaciones y contrastes entre los conceptos y los datos recopilados.

La fase de recopilación de la información se llevó a cabo de manera sistemática durante los meses de enero y febrero de 2026. Dicho proceso se centró en la consulta de bases de datos académicas de alto impacto como Scopus, Web of Science y Google Scholar, así como en repositorios de instituciones de investigación relevantes como la CEPAL y el USGS, y portales de noticias con cobertura especializada en energía y medio ambiente. Con el fin de estructurar la búsqueda, se utilizaron combinaciones de palabras clave y operadores booleanos, empleando términos tanto en español como en inglés, tales como: (“explotación de litio” AND “Bolivia”), (“Salar de Uyuni” AND “desafíos técnicos”), (“métodos de extracción de litio” OR “lithium extraction methods”), (“extracción directa de litio” OR “Direct Lithium Extraction”), (“impacto ambiental” AND “minería de litio”), y (“gestión de tecnología” OR “innovación en minería”).

Además, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión para garantizar la calidad y pertinencia de la información; en este sentido, se priorizaron fuentes publicadas en los últimos cinco años (2021-2026) para asegurar la actualidad de los datos, aunque, de manera complementaria, se incluyeron trabajos seminales y documentos históricos clave para contextualizar adecuadamente la problemática y trazar su evolución. Por el contrario, se excluyeron fuentes de opinión sin respaldo empírico, blogs no especializados y documentos sin autoría o afiliación institucional clara.

Una vez recopilado el corpus documental, el procesamiento y análisis de la información se realizó siguiendo tres etapas secuenciales y sistemáticas para asegurar la trazabilidad y el rigor metodológico. Primero, se realizó una categorización y codificación temática, que consistió en una lectura y revisión detallada de todos los documentos. Mediante un proceso de codificación abierta, se identificaron y categorizaron los ejes principales de la investigación que emergieron de los propios datos, a saber: a) potencial geológico y desafíos de la explotación en Bolivia; b) tecnologías de extracción (tradicional y EDL); c) impacto socioambiental; y d) gestión de la tecnología y la innovación. Este paso inicial fue crucial para organizar el vasto cuerpo de información en unidades de análisis manejables.

En segundo lugar, se procedió con un análisis comparativo y de contenido, enfocado en las tecnologías de extracción. En esta fase, se contrastó el método tradicional de evaporación en piscinas con las diversas técnicas de EDL (adsorción, intercambio iónico, membranas), sistematizando y evaluando sus ventajas y desventajas en términos de eficiencia de recuperación, costos, consumo de recursos hídricos e impacto ambiental, lo cual se basó en la extracción de datos específicos de los documentos para construir una comparación objetiva.

Finalmente, en la tercera etapa, se llevó a cabo una síntesis e integración discursiva, donde se sintetizó la información analizada para construir una discusión integral sobre las implicaciones estratégicas para la gestión de la tecnología y la innovación en el sector. En esta fase final del análisis, se interpretaron los hallazgos a la luz del marco teórico y los antecedentes, articulando un discurso coherente que sigue la estructura IMRDC para la redacción del manuscrito.

A lo largo de todo el proceso, el presente estudio se adhirió a los más altos estándares de integridad académica. Si bien al ser una investigación de tipo documental no involucró la participación directa de sujetos humanos y, por tanto, no requirió la aprobación de un comité de ética para la protección de participantes, los principios éticos se manifestaron en el manejo riguroso y transparente de la información. De este modo, se ha garantizado la atribución adecuada de todas las ideas y datos mediante el sistema de citación APA 7^a edición, evitando cualquier forma de plagio. Asimismo, se mantuvo una postura crítica y reflexiva en la interpretación de los datos, evitando sesgos confirmatorios.

Asimismo, se ha realizado un esfuerzo consciente por presentar la información de manera objetiva y equilibrada, representando las diferentes perspectivas y hallazgos encontrados en la literatura sin sesgar la interpretación a favor de una conclusión predeterminada, para lo cual la selección de fuentes se basó exclusivamente en su relevancia y rigor académico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La revisión sistemática de la literatura y el análisis documental han permitido identificar los factores técnicos, tecnológicos, ambientales y estratégicos que configuran el panorama de la explotación del litio en Bolivia. Los resultados se presentan a continuación, estructurados en torno a las tecnologías de extracción, el impacto socioambiental asociado y el potencial de diversificación industrial.

Tecnologías de extracción de litio: Un análisis comparativo

El método de extracción es un determinante fundamental de la viabilidad y sostenibilidad de la industria del litio. Históricamente, Bolivia ha centrado sus esfuerzos en el método de evaporación solar en grandes piscinas, una tecnología que ha demostrado ser poco eficiente en las condiciones específicas del Salar de Uyuni. La alta concentración de magnesio en la salmuera y las condiciones climáticas de la región, con una temporada de lluvias prolongada, reducen significativamente el rendimiento y extienden los tiempos de procesamiento (Cambio Climático, 2025). En consecuencia, la dependencia del método evaporítico ha limitado la capacidad del país para avanzar hacia una producción a escala industrial.

En contraposición, las tecnologías de Extracción Directa de Litio (EDL) emergen como una alternativa prometedora. Estas tecnologías, que abarcan procesos de adsorción, intercambio iónico y uso de membranas, ofrecen una recuperación de litio superior, tiempos de procesamiento drásticamente reducidos y un menor impacto ambiental, especialmente en lo que respecta al consumo de agua (Desalination, 2023). Su potencial disruptivo radica en la posibilidad de operar de manera continua, independiente de las condiciones climáticas, y con una selectividad significativamente mayor frente al magnesio.

La Tabla 1 resume las características comparativas clave entre ambos enfoques tecnológicos.

Tabla 1. Comparativa de tecnologías de extracción de litio

Característica	Método de evaporación solar	Extracción directa de litio (EDL)
Eficiencia de Recuperación	40% - 60%	> 90%
Tiempo de Procesamiento	12 - 24 meses	Horas a días
Consumo de Agua	Muy alto (~500,000 gal/ton LCE)	Bajo (hasta 90% de recirculación)
Impacto Ambiental	Alto (uso de suelo, consumo de agua)	Moderado a bajo (menor huella hídrica)
Selectividad (vs. Mg)	Baja, requiere procesos adicionales	Alta, separación más eficiente
Madurez Tecnológica	Alta (convencional)	En desarrollo y escalamiento comercial
Inversión (CAPEX)	Inicial Variable, dependiente de la escala	Generalmente más alta

Nota. Elaboración propia a partir de Desalineación (2023) y Ministerio de Hidrocarburos y Energías de Bolivia (2025). LCE: Carbonato de litio equivalente.

En síntesis, los resultados muestran que la EDL representa una oportunidad tecnológica estratégica, pero su adopción requiere capacidades técnicas, infraestructura especializada y un marco de gestión robusto.

Impacto ambiental y consideraciones de sostenibilidad

El impacto ambiental de la explotación del litio es una dimensión crítica. El método de evaporación solar requiere el bombeo masivo de salmuera, generando una extracción neta de agua que puede afectar los niveles freáticos en una región árida donde este recurso es escaso y disputado. Estudios indican que este proceso puede consumir hasta 500,000 galones de agua por tonelada de carbonato de litio equivalente (LCE), una cifra que subraya la insostenibilidad hídrica del modelo. Este nivel de extracción plantea riesgos significativos para los ecosistemas locales y para las comunidades que dependen del agua para su subsistencia.

Más allá del agua, la minería de litio genera residuos químicos y salmueras residuales que, si no se gestionan adecuadamente, pueden contaminar suelos y aguas subterráneas. La ausencia de marcos regulatorios específicos y de sistemas de monitoreo ambiental incrementa estos riesgos.

Por su parte, aunque las tecnologías EDL ofrecen un perfil ambiental superior al permitir la recirculación de hasta el 90% del agua, no son una panacea. Su viabilidad ambiental depende de que se implementen en el contexto de una matriz energética renovable, ya que su consumo energético puede ser significativo, y de que se establezcan marcos regulatorios robustos para la gestión de los reactivos químicos y residuos que generan. En otras palabras, la EDL reduce la presión hídrica, pero introduce nuevos desafíos vinculados al uso de energía y a la gestión de insumos químicos.

Potencial de industrialización y diversificación de valor

El análisis de las aplicaciones del litio revela un vasto potencial que trasciende la simple fabricación de baterías. Si bien el mercado de vehículos eléctricos es el principal impulsor de la demanda, el litio y sus compuestos son insumos críticos en industrias de alto valor agregado como la cerámica avanzada, la fabricación de vidrios especiales, las grasas lubricantes de alto rendimiento y

la industria aeroespacial (Hanna, 2021). Esta diversidad de usos amplía el espectro de oportunidades para Bolivia y reduce la dependencia de un solo mercado.

Esta diversificación representa una oportunidad para que Bolivia no se limite a la exportación de materia prima, sino que avance hacia la producción de productos intermedios y finales, capturando una mayor porción del valor en la cadena de suministro global. La industrialización del litio, por tanto, no debe entenderse únicamente como un proceso extractivo, sino como una estrategia de desarrollo tecnológico e industrial.

La transición hacia tecnologías EDL, además, abre oportunidades para el desarrollo de una industria de servicios tecnológicos anexa, como el diseño y mantenimiento de equipos, el desarrollo de software para optimización de procesos y la consultoría ambiental, actividades que pueden generar empleo cualificado y ser exportadas a otros países del Triángulo del Litio. Este hallazgo indica que la EDL no solo transforma la extracción, sino que puede catalizar un ecosistema de innovación más amplio.

DISCUSIÓN

Los resultados expuestos revelan una encrucijada tecnológica y estratégica para Bolivia en su aspiración de convertirse en un actor principal en el mercado global del litio. La persistencia en el uso del método de evaporación solar, a pesar de su demostrada ineficiencia en el Salar de Uyuni, subraya una brecha significativa entre los recursos técnicos disponibles y una gestión de la innovación capaz de adaptar las estrategias a las condiciones locales (Cambio Climático, 2025). Este desfase evidencia limitaciones estructurales en la toma de decisiones tecnológicas, especialmente cuando se contrasta con los avances observados en otros países del Triángulo del Litio. Tanto Argentina como Chile, a pesar de enfrentar sus propios desafíos socioambientales, han logrado una mayor consolidación productiva a través de la adaptación tecnológica y la atracción de inversión extranjera (Jovine, 2024). La situación boliviana parece reflejar lo que Barandiarán (2019) describe como “imaginarios de desarrollo” que no siempre se traducen en capacidades productivas y tecnológicas concretas, un punto donde la visión política no logra materializarse en resultados tangibles.

En este contexto, la transición hacia tecnologías de Extracción Directa de Litio (EDL) no es, por tanto, meramente una opción técnica, sino un imperativo estratégico. Como muestra la Tabla 1, las ventajas de la EDL abordan directamente las debilidades del modelo actual. Sin embargo, esta transición conlleva complejidades. La alta inversión inicial y la necesidad de capital humano especializado demandan un modelo de gestión tecnológica que fomente la transferencia de conocimiento y la colaboración internacional, sin ceder la soberanía sobre el recurso.

Asimismo, los convenios con socios tecnológicos internacionales son un paso necesario, pero su efectividad debe ser evaluada no solo en términos de producción, sino también en su contribución al desarrollo de un ecosistema de innovación local, un aspecto que la literatura sobre innovación en la industria minera identifica como crítico para la competitividad a largo plazo (Sánchez y Hartlieb, 2020). La experiencia de Argentina y Chile sugiere que es posible desarrollar una industria viable, pero requiere una gestión cuidadosa de los equilibrios entre crecimiento económico, sostenibilidad ambiental y equidad social, destacando la importancia de desarrollar capacidades técnicas locales para no caer en una dependencia tecnológica permanente. Bolivia, por tanto, debe evitar reproducir modelos extractivos tradicionales y avanzar hacia un enfoque de innovación endógena.

Por otra parte, la dimensión socioambiental adquiere una relevancia aún mayor en la discusión. La promesa de un menor impacto hídrico de las tecnologías EDL podría mitigar uno de los principales focos de conflicto con las comunidades locales. No obstante, la minería del litio, incluso con tecnologías más limpias, no está exenta de impactos. La gestión de residuos químicos, el consumo energético y la ocupación del territorio siguen siendo variables críticas que deben ser abordadas con marcos regulatorios robustos y mecanismos de participación ciudadana efectiva. Ignorar estas dimensiones podría exacerbar las desigualdades y los conflictos, socavando la legitimidad social del proyecto y su sostenibilidad a largo plazo.

En términos prácticos, este estudio sugiere que los tomadores de decisiones en Bolivia deben priorizar la creación de un marco regulatorio claro y estable que incentive la adopción de tecnologías EDL, al tiempo que se invierte en la formación de capital humano y se fortalecen las alianzas entre universidades, empresas y gobierno (el modelo de “triple hélice”) para absorber y adaptar la tecnología transferida. Para las empresas y los inversores, el análisis destaca que la viabilidad de los proyectos no solo depende de la tecnología, sino también de la obtención de una “licencia social para operar”, que se logra a través de la transparencia y el compromiso con las comunidades locales.

Finalmente, una limitación de este estudio es su naturaleza documental. Si bien se ha realizado una revisión exhaustiva de la literatura disponible, la falta de datos de campo primarios sobre la implementación piloto de tecnologías EDL en Bolivia restringe la capacidad de realizar una evaluación económica y técnica más granular. Por ello, como líneas de investigación futura, se recomienda enfocar los esfuerzos en el análisis de casos de implementación de EDL en salmueras con características similares a las del Salar de Uyuni, así como en estudios de impacto social y ambiental que acompañen los proyectos piloto en el país. La colaboración entre la academia, el sector privado y la sociedad civil será crucial para asegurar que la explotación del litio en Bolivia sea una oportunidad para el desarrollo sostenible y no una repetición de los patrones históricos de extracción.

CONCLUSIONES

La investigación y el análisis de los recursos técnicos y la gestión de la innovación para la explotación del litio en Bolivia conducen a una serie de conclusiones estratégicas. En primer lugar, se confirma que el país posee un potencial geológico extraordinario que podría posicionarlo como un líder en la cadena de suministro global del litio, pero este potencial permanece en gran medida sin realizarse debido a una combinación de desafíos técnicos, una estrategia de explotación que ha demostrado ser ineficaz y un marco de gestión de la innovación insuficiente para superar estos obstáculos. La brecha entre recursos disponibles y capacidades tecnológicas constituye, por tanto, el principal cuello de botella del sector.

En segundo lugar, la elección tecnológica entre el método de evaporación solar y las tecnologías de Extracción Directa de Litio (EDL) representa el nudo gordiano del proyecto de industrialización en Bolivia. Los resultados demuestran de manera concluyente que la EDL ofrece una solución técnica superior, capaz de superar las limitaciones geoquímicas del Salar de Uyuni y de mitigar significativamente el impacto ambiental. La adopción de la EDL no constituye una mejora incremental, sino una condición necesaria para la viabilidad competitiva y sostenible de la industria a gran escala.

En tercer lugar, se concluye que el éxito de esta transición tecnológica depende intrínsecamente de la implementación de un modelo de gestión de la tecnología y la innovación que sea proactivo, integral y soberano. Esto implica no solo la adquisición de tecnología, sino también el desarrollo deliberado de capacidades locales, la creación de un ecosistema de investigación y desarrollo, y la articulación de una política industrial que promueva la diversificación productiva. Sin una estrategia de innovación orientada a fortalecer capacidades endógenas, la EDL corre el riesgo de reproducir dependencias tecnológicas.

Asimismo, la sostenibilidad del proyecto no puede medirse únicamente en términos económicos o técnicos. La dimensión socioambiental es co-constitutiva de su viabilidad. La gestión del litio en Bolivia debe incorporar desde su concepción mecanismos robustos de gobernanza ambiental, transparencia y participación comunitaria. El futuro del litio boliviano, por tanto, no reside únicamente en la riqueza del salar, sino en la capacidad del Estado y la sociedad para gestionar la innovación de una manera que armonice el desarrollo económico con la justicia social y la integridad ecológica.

En cuanto a las líneas de investigación futura, se recomienda profundizar en el análisis detallado de la implementación de tecnologías EDL en contextos similares al del Salar de Uyuni, en la evaluación de modelos de gobernanza que hayan funcionado en otras industrias extractivas, y en el estudio de las dinámicas sociales y políticas que determinarán la aceptabilidad social de los proyectos de litio. Asimismo, se requiere investigación comparativa que contraste las experiencias de Argentina y Chile con el caso boliviano, identificando las mejores prácticas en transferencia tecnológica y desarrollo de capacidades locales. Estudios sobre la viabilidad económica de la diversificación industrial del litio, incluyendo la producción de baterías y otros productos de alto valor agregado, también serían de gran relevancia para orientar la política industrial boliviana.

En definitiva, el litio representa una oportunidad histórica para Bolivia, pero su aprovechamiento efectivo requiere de decisiones estratégicas inmediatas, inversión sostenida en innovación y gobernanza, y un compromiso genuino con el desarrollo sostenible e inclusivo. La academia, el sector privado y la sociedad civil deben colaborar de manera integral para asegurar que la explotación del litio en Bolivia sea un catalizador para la transformación económica y social, y no una repetición de los patrones históricos de extracción que han caracterizado la minería en la región. Solo así el “oro blanco” del Salar de Uyuni podrá brillar verdaderamente para las generaciones presentes y futuras de Bolivia.

REFERENCIAS

- Barandiarán, J. (2019). Lithium and development imaginaries in Chile, Argentina and Bolivia. *World Development*, 113, 381-391. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.09.010>
- Cambio Climático. (2025, 2 de junio). La otra cara del litio: contaminación, conflicto y despojo. <https://cambioclimatico.org.bo/contenido/la-otra-cara-del-litio-contaminacion-conflicto-y-despojo/>
- Desalination. (2023). Direct lithium extraction: A new paradigm for lithium production and resource conservation. *Desalination*, 556, 116558. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.116558>
- El País. (2025, 3 de junio). El accidentado camino del litio en Bolivia: 17 años de promesas de un desarrollo económico que no despega. <https://elpais.com/america-futura/2025-06-03/el-accidentado-camino-del-litio-en-bolivia-17-anos-de-promesas-de-un-desarrollo-economico-que-no-despega.html>

- Fundación Solón. (2019, 2 de julio). ¿Cuáles serán los impactos socio ambientales de la explotación del litio en el salar de Uyuni? <https://fundacionsolon.org/2019/07/02/cuales-seran-los-impactos-socio-ambientales-de-la-explotacion-del-litio-en-el-salar-de-uyuni/>
- Gudynas, E. (2021). Extractivismos y corrupción: Anatomías de una íntima relación. CLACSO. <https://www.jstor.org/stable/j.ctv2v88f9m>
- Gutierrez, D. L. P., Rios, A. F. C., y Escobar, M. A. C. (2023). The lithium triangle: The case of Bolivia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1125(1), 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1125/1/012015>
- Hanna, R. (2021). *Lithium: Properties, Production, and Applications*. Nova Science Publishers.
- Jovine, R. F. (2024). Models of lithium exploitation in Latin America: Is history repeating itself?. *Journal of Rural Studies*, 106, 103217. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2024.103217>
- Liu, W., y Agusdinata, D. B. (2020). “What is” sustainable “in the lithium industry? A review of the social and environmental impacts of lithium extraction and production”. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 41(4), 284-296. <https://doi.org/10.1080/08827508.2019.1639145>
- Ministerio de Hidrocarburos y Energías de Bolivia. (2025, 14 de enero). La moderna tecnología EDL para la obtención de litio supera ampliamente el método de las piscinas de evaporación. <https://www.mhe.gob.bo/2025/01/14/la-moderna-tecnologia-edl-para-la-obtencion-de-litio-supera-ampliamente-el-metodo-de-las-piscinas-de-evaporacion/>
- Sánchez, F., y Hartlieb, P. (2020). Innovation in the mining industry: Technological trends and a case study of the challenges of disruptive innovation. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 37(4), 1385-1399. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00262-1>
- Stefanoni, P. (2023). Bolivia y el litio: el oro blanco que no brilla. *Nueva Sociedad*, (303), 46-58. <https://nuso.org/articulo/bolivia-y-el-litio-el-oro-blanco-que-no-brilla/>
- U.S. Geological Survey. (2023). *Mineral Commodity Summaries 2023*. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023.pdf>
- van Sluisdam, M. A. T. M. (2022). Lithium-ion batteries: A review of a key technology for the energy transition. *Journal of Energy Storage*, 53, 105183. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105183>