



Extracción Directa de Litio en Bolivia

NO TODO LO QUE BRILLA BLANCO ES LITIO



Por: Gonzalo Mondaca
Investigador CEDIB

06/05/2022

El 30 de abril de 2021, el gobierno boliviano anunció el relanzamiento del proyecto de industrialización del litio con una convocatoria internacional para empresas que desarrollan la Extracción Directa de Litio (EDL)¹. Poco después el expresidente de la empresa pública Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB), Marcelo Gonzales, afirmó que la tecnología aplicada desde 2008 a 2020 en Uyuni tenía una obsolescencia de 40 años y que en su aplicación se pierde “el 40% de los componentes que son importantes en la industrialización”². Un cambio radical de tecnología de explotación de los recursos evaporíticos significa nuevas implicaciones para las comunidades y el medioambiente. Sin embargo, la decisión no fue socializada y sus bases no fueron puestas a consideración de ninguna instancia académico-científica independiente³.

¿Por qué cambiar la tecnología evaporítica después de más 10 años de implementarla?

Bolivia incursionó en la industria del litio en 2008, por iniciativa de la Federación Única de Trabajadores Campesinos del Sudoeste de Potosí (FRUTCAS). En aquel momento, se optó por la tecnología de menor costo: la cristalización fraccionada por evaporación solar aplicada en el salar de Atacama, donde también hay yacimientos de litio en salmueras⁴.

Al reportar un bajo consumo de energía —la mayor parte proviene del sol— y requerir pocos insumos, la tecnología evaporítica se mostraba como un buen punto de partida. Pero no fue sencillo adaptar el modelo de Atacama por las diferencias que se presentan en la Tabla 1; se consideran al menos dos fuentes para cada indicador.



En 2008 se incursionó en la industria del litio y se optó por la tecnología de menor costo: la cristalización fraccionada por evaporación solar aplicada en el salar de Atacama.

En Uyuni llueve más y evapora menos que en Atacama, lo que retrasa significativamente el proceso de evaporación. Además, se reporta una alta variación interanual de la precipitación, la diferencia entre un año húmedo y uno seco puede llegar a ser cinco veces superior⁵. Adicionalmente, la relación magnesio/litio (Mg:Li) es mayor que en Atacama (Tabla 1).

Para separar el litio de otros elementos, particularmente del magnesio, además del proceso evaporítico, es

preciso añadir óxido de calcio (CaO) o cal a través de una solución hidratada. Esta adición también permite eliminar sulfatos y genera como residuo una importante cantidad de sulfato de calcio (CaSO₄) o yeso, y cantidades menores de hidróxido de magnesio (Mg[OH]₂) y borato de calcio (Ca₃[Bo₃]₂). Se trata de un proceso intermedio que posibilita recuperar cloruro de potasio (KCl) y producir una salmuera con mayor concentración de litio, que será materia prima para el proceso de producción de carbonato de litio (Li₂CO₃).

De acuerdo con los datos del *Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental (EEIA) de la Planta Industrial de Cloruro de Potasio*, el consumo mensual de cal sería 70.265 t, mientras que la generación de residuos —con predominancia de yeso— estaría en 1.048.842 t/mes. Ello significa un volumen cercano a 350.000 m³/mes o tres veces el volumen de la Casa del Pueblo, el edificio público más moderno de Bolivia. Esta situación, ligada a la alta relación Mg:Li, elimina la ventaja de un bajo consumo de insumos químicos de la tecnología evaporítica y le resta viabilidad ambiental al proyecto boliviano (Tabla 1).

Un conjunto de motivos técnicos que debieron ser oportunamente evaluados antes de las millonarias inversiones realizadas por el gobierno boliviano en el proyecto fueron advertidas en 2014 por el Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario (CEDLA)⁶, en 2018 por la Fundación Milenio⁷ y recientemente la Fundación Solón también los ha explicado ampliamente⁸.

Con tasas de recuperación de litio menores al 50% y periodos de evaporación de seis o inclusive 12 meses, la producción se hizo poco competitiva⁹. La vulnerabilidad frente a las variaciones climáticas se hizo patente cuando en 2011 la construcción de la planta piloto de carbonato de litio sufrió retrasos, debido a las inundaciones en gran parte del salar de Uyuni¹⁰.

En 2010, una vez aprobada la Estrategia Nacional de Industrialización de los Recursos Evaporíticos, el gobierno boliviano proyectó una inversión de MUSD 925¹¹ y terminó asignando 1.232 entre 2012 y 2021¹² (Tabla 2). En 2011 la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL), a través de la Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos (DNRE), empezó la construcción de la planta piloto de carbonato de litio. Sin embargo, contradiciendo el

Tabla 1. Diferencias entre el salar de Atacama (Chile) y de Uyuni (Bolivia)

INDICADORES PARA LA EXPLOTACIÓN EVAPORÍTICA	DIFERENCIAS ENTRE:		FUENTE
	ATACAMA - CHILE	UYUNI - BOLIVIA	
Precipitación media anual (mm/año)	10 a 20	200 - 500	1
	28	166	2
Evaporación media anual (mm/año)	3200	1500	1
		692	2
Relación magnesio - litio (Mg:Li)	6:1	19:1	1
	6,4:1	18,6:1	3
Concentración de litio (ppm)	1400	250	1
	1500	350	3

Fuente: Con base en 1) Conдорchem Envitech (2021); 2) Jorge Molina-Carpio (2007); 3) Romero (2019; en Fornillo [coord.]).



Un conjunto de motivos técnicos que debieron ser oportunamente evaluados antes de las millonarias inversiones realizadas por el gobierno boliviano en el proyecto fueron advertidas en 2014.

discurso nacionalista y la perspectiva de largo plazo¹³, en 2012 se eliminó el Comité Científico para la Investigación e Industrialización de los Recursos Evaporíticos de Bolivia (CCII-REB), lo que dio lugar a casi una década de desaciertos y mínima producción científica¹⁴.

Sin equipos científicos independientes acompañando el proceso y sin alianzas sólidas y de largo plazo con instituciones académicas técnico-científicas nacionales o internacionales, el proyecto estatal ejecutó apenas el 54,79% (MUSD 586) del total asignado hasta 2021¹⁵ (Tabla 2). Tampoco se establecieron mecanismos de apoyo desde instancias del Estado dedicadas a la investigación y la generación de información técnica, como el Servicio Geológico y Tecnológico de Minas (SERGEO-TECMIN) o el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Igualmente, no se diseñó una estrategia de articulación de los actores locales, departamentales y nacionales interesados en el éxito del proyecto y se desoyeron las recomendaciones respecto del modelo de gobernanza necesario en Bolivia¹⁶.

Con datos del Instituto Nacional de Estadística, Pablo Villegas identificó que el valor de exportaciones de carbonato de litio, entre 2016 y 2021, fue MUSD 4,7¹⁷, cerca de 1% de los recursos invertidos. Recientemente, YLB declaró que el valor de ventas, entre 2017 y 2021, fue MBs 130 (MUSD 16,3)¹⁸, las ventas reportadas en las memorias institucionales suman MBs 280. Ello pone en duda la recuperación de la inversión, muestra la disparidad en las cifras oficiales y visibiliza la poca capacidad institucional para articular las capacidades existentes y cumplir con sus compromisos crediticios¹⁹.

Además, se suele presentar a la industrialización de litio como la gran oportunidad para la reactivación económica boliviana y con ese men-



En 2012 se eliminó el Comité Científico para la Investigación e Industrialización de los Recursos Evaporíticos de Bolivia (CCII-REB), dando lugar a casi una década de desaciertos y mínima producción científica.

Tabla 2. Presupuesto y ejecución presupuestaria del proyecto de industrialización del litio en Bolivia

N°	GESTIÓN	PRESUPUESTO ASIGNADO (USD)	PRESUPUESTO EJECUTADO (USD)	PORCENTAJE DE EJECUCIÓN (%)	VENTAS (USD)	FUENTE
1	2012	5.501.434,72	sd	sd	sd	Memoria GNRE 2012, p. 72
2	2013	120.000.000,00	sd	sd	119.827,83	Memoria GNRE 2013, pp. 109 y 110
3	2014	27.926.821,23	19.305.358,68	69,13	276.278,09	Memoria GNRE 2014, pp. 18 y 100
4	2015	163.517.106,89	138.263.257,39	84,56	251.937,14	Memoria GNRE 2015, pp. 24 y 127
5	2016	119.446.052,08	90.385.792,40	75,67	534.925,11	Memoria GNRE 2016, pp. 88 y 110.
6	2017	210.310.752,80	105.358.705,16	50,10	1.168.428,26	Memoria YLB 2017, pp. 64 y 69.
7	2018	220.907.117,22	113.559.360,03	51,41	4.715.926,13	Memoria YLB 2018, pp. 70 y 73.
8	2019	211.226.151,51	101.966.094,69	48,27	5.104.933,01	Memoria YLB 2019, p. 10
9	2020	128.130.514,35	3.199.318,35	2,50	1.761.164,01	Memoria YLB 2020, pp. 72, 75 y 78.
10	2021	24.541.461,98	13.917.653,80	56,71	27.430.822,96	Rendición Pública de Cuentas YLB 2021, pp. 4 y 16.
TOTAL (USD)		1.231.507.412,77	585.955.540,50	54,79	41.364.242,55	T/c = 6,97 [Bs/USD]

Fuente: Con base en la información de las memorias institucionales de la GNRE y YLB²⁰ y la Rendición Pública de Cuentas de 2021²¹

saje se anunció la Convocatoria Internacional de Extracción Directa de Litio²². Sin embargo, los datos proporcionados en la página web de YLB, en sus memorias institucionales, muestran una disminución de las inversiones desde 2019 bajos porcentajes de ejecución (Figura 1). El valor de las ventas representa apenas el 3,36% del presupuesto asignado (Tabla 2).

Se suele informar sobre la cantidad producida mas no sobre el rendimiento respecto de la capacidad instalada, por lo que es sencillo aparentar crecimiento. En promedio, la eficiencia productiva para el carbonato de litio llegó a 54,8%, con una capacidad productiva que se mantiene en el nivel piloto y con una capacidad de producción instalada de 480 t/año de carbonato de litio (Tabla 3 y Figura 2). La construcción de la planta industrial está retrasada varios años y su capacidad será de 15.000 t/año de carbonato de litio.

En el caso del cloruro de potasio, en 2018, YLB anunció que su capacidad de producción pasó de 12.000 a 350.000 t/año con la inauguración de la planta industrial. El promedio de rendimiento en la etapa piloto fue 9,52% y solamente 8,17% durante la etapa industrial (Tabla 4 y Figura 3). La relación entre la capacidad de producción y la producción efectiva se muestra en

Figura 1. Presupuesto, ejecución y ventas. Proyecto de industrialización del litio en Bolivia. (En USD)

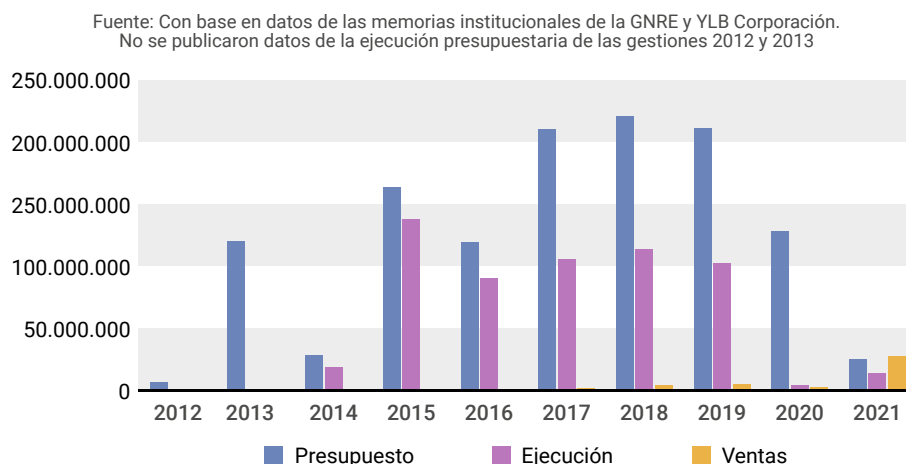


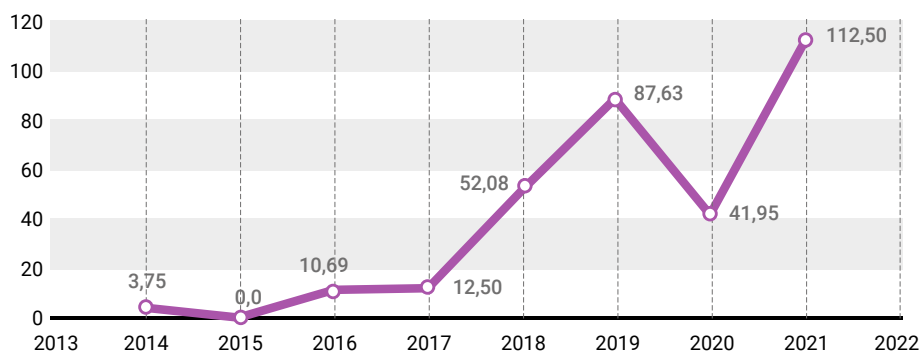
Tabla 3. Rendimiento de producción de carbonato de litio en Bolivia

GESTIÓN	CAPACIDAD [t/año]	PRODUCCIÓN [t/año]	VENTAS [t/año]	RENDIMIENTO [%]	REFERENCIA
2012	480,00	sd	sd	sd	GNRE, 2013: 25
2013	480,00	sd	sd	sd	GNRE, 2014: 23
2014	480,00	18,00	sd	3,75	GNRE, 2015: 17-19
2015	480,00	sd	sd	sd	GNRE, 2016: 24
2016	480,00	sd	51,30	10,69	GNRE, 2017: 13 Datos de ventas
2017	480,00	sd	60,00	12,50	YLB, 2018: 64. Datos de ventas
2018	480,00	250,00	110,00	52,08	YLB, 2019: 70
2019	480,00	420,63	0,12	87,63	YLB, 2020: 44 y 72
2020	480,00	201,38	0,00	41,95	YLB, 2021: 75
2021	480,00	540,00	989,00	112,50	Rendición pública de cuentas YLBm 2021, p.4

Fuente: Con base en la información de las memorias institucionales de la GNRE y YLB²³ y la Rendición Pública de Cuentas de 2021²⁴.

Figura 2. Rendimiento de la producción de carbonato de litio en la planta piloto del proyecto de industrialización del litio en Bolivia. (En %)

Fuente: Con base en datos de las memorias institucionales de la GNRE y YLB Corporación. No se publicaron datos de producción ni ventas de las gestiones 2012, 2013 y 2015.



la Figura 4 en toneladas métricas; un desfase de tal magnitud no es aceptable y se espera que no suceda lo mismo cuando se amplíe la capacidad de producción de carbonato de litio con la conclusión de la planta industrial.

Como se puede ver en la tabla 4, no se cumplieron los plazos originalmente establecidos para la ejecución de la estrategia que se propuso concluir las tres fases en 2016 – piloto, industrial y, valor

Tabla 4. Rendimiento de la producción de cloruro de potasio en Bolivia

GESTIÓN	CAPACIDAD [t/año]	PRODUCCIÓN [t/año]	VENTAS [t/año]	RENDIMIENTO [%]	REFERENCIA
2012	12.000,00	2,00	sd	0,02	GNRE, 2013: 25
2013	12.000,00	800,00	250,00	6,67	GNRE, 2014: 23
2014	12.000,00	1.500,00	809,00	12,50	GNRE, 2015: 17-19
2015	12.000,00	1.500,00	325,00	12,50	GNRE, 2016: 24
2016	12.000,00	sd	1.575,00	13,13	GNRE, 2017: 13 Datos de ventas
2017	12.000,00	sd	2.119,00	17,66	YLB, 2018: 64. Datos de ventas
2018	350.000,00	sd	17.614,00	5,03	YLB, 2019: 70
2019	350.000,00	26.741,00	21.106,12	7,64	YLB, 2020: 44 y 72
2020	350.000,00	18.541,00	9.180,75	5,30	YLB, 2021: 75
2021	350.000.000	51.535,00	51.399,00	14,72	Rendición Pública de Cuentas YLB 2021, p. 4

Fuente: Con base en la información de las memorias institucionales de la GNRE y YLB²⁵

Figura 3. Rendimiento de la producción de cloruro de potasio en Bolivia. (En %)

Fuente: Con base en datos de las memorias institucionales de la GNRE y YLB.

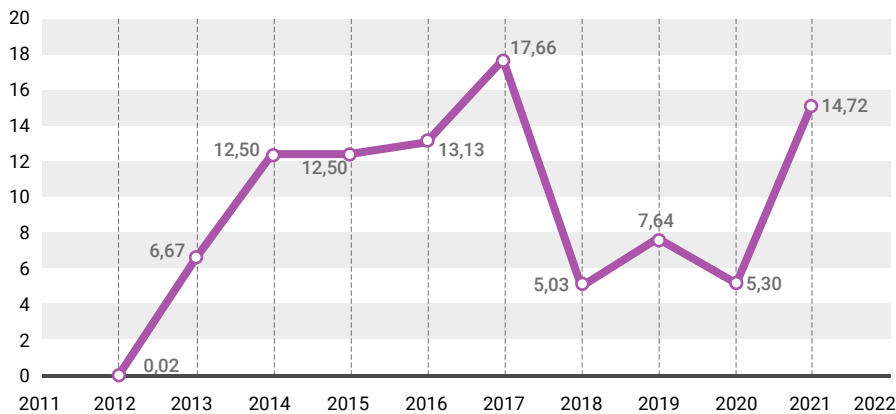
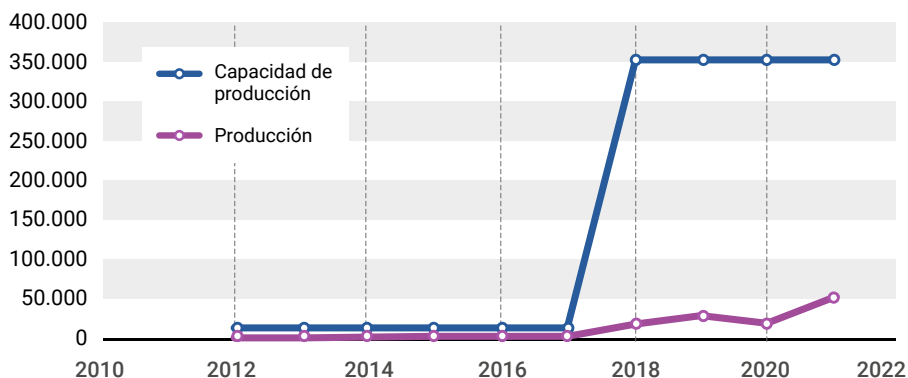


Figura 4. Capacidad de producción máxima vs. producción real. (En TM)

Fuente: Con base en datos de las memorias institucionales de la GNRE y YLB.



En el caso del cloruro de potasio, en 2018, YLB anunció que su capacidad de producción pasó de 12.000 a 350.000 t/año con la inauguración de la planta industrial. El promedio de rendimiento en la etapa piloto fue 9,52% y solamente 8,17% durante la etapa industrial.

agregado y baterías—²⁶. Pese a que está pendiente la instalación de la planta industrial de carbonato de litio y la producción de materias primas, no es suficiente para que se considere a Bolivia como un protagonista, aunque minoritario, del mercado mundial del litio.

Tecnologías para la explotación de litio

La Tabla 5 presenta un resumen de las tecnologías usadas para la explotación de litio. Existe una diferencia general entre la evaporítica y las tecnologías de extracción directa; la primera consiste en un proceso de concentración secuencial por cristalización de sales, mientras que la segunda es un conjunto de tecnologías que hasta 2019 se mencionaban por separado²⁷.

En 2020 Jade Cove Partners reportó que investigó el desarrollo de “45 soluciones diferentes de tecnología EDL que pueden incorporarse en nuevos proyectos de salmuera de litio”. En 2019 dicha tecnología representó el 12% de la producción mundial. El estudio concluyó que esta debe ser implementada a través de proyectos de investigación aplicada en campo y que, además, es imposible decir que exista una “mejor tecnología”²⁸. Por lo tanto, la extracción directa de litio consiste en un conjunto de procesos experimentales aún en desarrollo.

Mediante esta tecnología el litio se extrae directamente de la salmuera explotada, por lo que el tiempo de separación se reduce de un año a solo varias horas. En este sentido, promete ser “mucho más respetuosa con

Tabla 5. Principales tecnologías de explotación de litio

PROCESO METALÚRGICO	CARACTERÍSTICAS GENERALES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Evaporación (Actualmente aplicado en Uyuni)	Evaporación solar y concentración secuencial de sales	<ul style="list-style-type: none"> Bajo consumo energético. Poca dependencia de insumos químicos. Bajo costo operativo. 	<ul style="list-style-type: none"> Depende de la composición de la salmuera. Depende de las condiciones meteorológicas. <ul style="list-style-type: none"> Velocidad de evaporación. Lluvias. Alta generación de residuos, especialmente $Mg(OH)_2$ y $CaSO_4$. Alto consumo de agua. Depende de la relación Mg/Li. Alta pérdida de agua por evaporación. Tiempos de explotación muy largos.
Extracción Directa de Litio (EDL) (Alternativas para el cambio de tecnología en Bolivia)	Uso de solventes, intercambio iónico, adsorbentes, membranas, y procesos electroquímicos	<ul style="list-style-type: none"> Se adapta a la composición de la salmuera. No depende de las condiciones meteorológicas. No genera muchos residuos. No depende de la relación Mg/Li. Menor pérdida de agua por evaporación. Reduce el tiempo de explotación. 	<ul style="list-style-type: none"> Depende de las soluciones químicas, a excepción de los métodos electroquímicos. Alto costo operativo. Residuos de alta toxicidad, filtros y membranas en desuso y/o salmueras contaminadas. Varias de las alternativas de EDL no han superado aún las pruebas piloto de campo.

Fuente: Con base en Condorchem Envitech (2021) y Grant, A. (2020).

el medioambiente”, además reduce el consumo energético en comparación con los procesos convencionales con piscinas de evaporación solar²⁹.

La mayor parte de las tecnologías de extracción directa trabajan con la salmuera bombeada desde los salares, pero algunas aún utilizan piscinas de evaporación para depurar la materia prima antes de combinarla con sustancias solventes, adsorbentes y resinas o someterla a filtración en membranas selectivas con diferentes gradientes —potencial eléctrico, concentración o presión—, y literalmente “extraer” litio.

En 1990 Livent Corporation inició con el desarrollo de una tecnología EDL basada en un adsorbente y recién en 1998 empezó la producción de carbonato de litio y cloruro de litio (LiCl) en el salar de Catamarca, Argentina³⁰. Es decir que necesitó ocho años para consolidarla.

En 2010 en Qinghai, China, se desarrollaron investigaciones con salmueras cuya relación Mg:Li era mucho mayor que en el salar de Uyuni. Allí se buscaba “extraer litio de salmueras de desecho de instalaciones de salmuera evaporativa”, con relaciones Mg:Li que estaban entre 50:1 y 320:1³¹. En 2012 China y Bolivia firmaron un contrato para la construcción de la planta industrial de sales de potasio³². Se continuó con inversiones relacionadas con el método evaporítico, sin reparar en el problema principal: la elevada relación Mg:Li.

Según Condorchem Envitech (2021), la alternativa EDL de adsorción³³, utilizando óxido de manganeso (MnO₂), fue probada por “investigadores coreanos en Uyuni (Bolivia), sin embargo, la estabilidad del óxido en columnas de lixiviado no fue suficiente para el proceso a escala industrial”. La empresa boliviana no continuó con la experimentación con otras sustancias, por ejemplo, diversas formas de hidróxido de aluminio amorfo y otras como las resinas de intercambio iónico³⁴.

Nótese que las investigaciones de extracción directa, iniciadas entre 1990 y 2010, tuvieron como principal foco de atención a la explotación de litio en salmueras, particularmente en aquellas con valores altos de relación Mg:Li. Al mismo tiempo, pretendían evitar los retrasos derivados de las condiciones climatológicas a las que se exponen los sistemas evaporíticos.

Las principales desventajas del método evaporítico en el salar de Uyuni fueron las siguientes: condiciones meteorológicas desfavorables, una alta relación Mg:Li, elevada generación de residuos y tiempos prolongados de procesamiento. Es extraño que el proyecto no estuvo al tanto del desarrollo científico tecnológico que le permitiría superar sus principales limitaciones. No se necesitaban 10 años para verificarlas y adoptar una nueva estrategia de desarrollo tecnológico.

Luego de 13 años de ignorar las innovaciones tecnológicas de la industria del litio a nivel mundial, la adopción de la EDL en Bolivia se presentó como un viraje obligatorio para YLB. En tal sentido, el viceministro de Altas Tecnologías Energéticas, Álvaro Arnez, dijo, en noviembre de 2021, que la extracción directa posibilitaría una recuperación de litio mayor al 80%, incrementar la producción y estabilizarla reduciendo el tiempo en el logro de resultados, además disminuiría el consumo de energía y agua, lo que significaría un menor impacto ambiental³⁵.

”

Las principales desventajas del método evaporítico en el salar de Uyuni fueron las siguientes: condiciones meteorológicas desfavorables, una alta relación Mg:Li, elevada generación de residuos y tiempos prolongados de procesamiento.

Aspectos a ser considerados para elegir la tecnología apropiada

El litio es un metal moderadamente abundante en la corteza terrestre³⁶ y, además, puede encontrarse en diferentes ambientes geológicos³⁷, pero ello no es una garantía para su explotación mientras no se defina el método químico-metalúrgico que la haga viable.

Por ejemplo, en México, donde se han encontrado recursos de litio en yacimientos de arcillas, la directora del Servicio Geológico Mexicano (SGM), Flor de María Harp Iruiribarria, explicó que su institución invertirá 55,2 millones de pesos mexicanos (MUSD 2,77) en la exploración de litio³⁸. En esta se consideran cuatro factores: 1) naturales: la cantidad, la concentración, las propiedades físicas y químicas, la ubicación geográfica; 2) económicos: el valor de mercado; 3) técnicos: los costos de exploración, explotación, tratamiento y transporte, y 4) políticos: la evolución previsible del mercado³⁹. Dicho proceso, para el que se prevé un año y medio de investigación, inició en julio de 2021 y concluirá en diciembre de 2022⁴⁰.

En Bolivia la selección de tecnología no consideró el abanico completo de las alternativas existentes a partir de pruebas piloto paralelas y diversificadas. Se asume que sus reportes de generación de información hidrogeológica fueron constantes y que sus equipos de profesionales conocían la importancia de la cuantificación y caracterización química de las reservas existentes para la planificación del proceso de producción industrial⁴¹.

¿Por qué no se desarrollaron otras pruebas piloto de tecnologías alternativas (Tabla 5) desde los primeros años del proyecto? ¿Por qué no se consideraron las propuestas de las universidades bolivianas⁴²? ¿Por qué demoraron tantos años en plantear un cambio de tecnología, desde que se hicieron las primeras observaciones a la viabilidad del método evaporítico?

Implicaciones del cambio de tecnología: de la evaporítica a la extracción directa de litio

Álvaro Arnez dice que “la aplicación de la tecnología de extracción directa de litio acelerará la industrialización de los recursos evaporíticos en Bolivia, lo que permitirá al país posicionarse en el mercado antes de 2025”⁴³. Sin embargo, considerando las diferencias entre las tecnologías de explotación de litio (Tabla 5), el caso boliviano genera gran incertidumbre.

Dicho cambio de tecnología implica la apertura de un nuevo proyecto de explotación, EDL, cuya compatibilidad con el anterior, evaporítico, debiera someterse a un análisis técnico-científico independiente. De acuerdo con Juan Carlos Zuleta, ambas alternativas difícilmente se desarrollarán paralelamente y tienen que superar los siguientes aspectos técnicos⁴⁴:

1. Si la tecnología EDL utiliza salmueras vírgenes —que es una de sus características—, esto “podría afectar la provisión de materia prima para la planta industrial de cloruro de potasio”⁴⁵. Será preciso evaluar si las salmueras libres de litio pueden ingresar al sistema de evaporación y mantener la producción de cloruro de potasio.



En Bolivia la selección de tecnología no consideró el abanico completo de las alternativas existentes a partir de pruebas piloto paralelas y diversificadas.

2. Aplicar la EDL, luego de los procesos de evaporación, es incompatible con la provisión de materia prima para la planta industrial de cloruro de potasio.
3. En la evaporación se pierde una fracción importante de litio. Aplicar la extracción directa después de utilizar las piscinas no se compara con hacerlo en boca de pozo.
4. En la medida en que la mayoría de las técnicas de EDL terminan en la obtención de cloruro de litio —y no de sulfato de litio—, “sería necesario realizar algunos ajustes ni tan simples ni poco costosos” en la planta industrial de carbonato de litio⁴⁶. Esta planta está diseñada para procesar sulfato de litio, pero su construcción aún no está concluida.

Si no hubiera compatibilidad con los procesos de evaporación, los costos operativos de las piscinas aumentarían, ya que serían independientes de la producción de carbonato de litio. Jorge Espinoza Morales recomienda elaborar una “auditoría técnico-económica de la planta industrial de cloruro de potasio” para determinar si su funcionamiento se justifica⁴⁷. De ahí la importancia de seleccionar la tecnología con la mejor aplicación paralela y complementaria.

La conclusión de la convocatoria internacional para la extracción directa de litio está prevista para mayo de 2022⁴⁸ y la explotación industrial para 2023⁴⁹. En esta participan ocho empresas de Estados Unidos, China, Rusia y Argentina, CATL BRUNP & CMOC, Fusion Enertech, EnergyX, Teqpetrol, Lilac Solutions, CITIC GUOAN/CRIG, TBEA Group y Uranium One Group, que firmaron, en noviembre de 2021, memorándums de entendimiento y de confidencialidad para hacer pruebas de pilotaje en laboratorio con salmueras de los salares de Uyuni (Potosí), Coipasa y Pastos Grandes (Oruro)⁵⁰. La toma de muestras fue en noviembre de 2021, con excepción de EnergyX que no se la menciona en el reporte oficial⁵¹ y se presume que llevó sus equipos a Uyuni⁵².

Las pruebas de pilotaje en campo pueden demorar varios años si se consideran los tiempos de desarrollo de proyectos similares⁵³. Es decir, significaría un nuevo ciclo, que en la industria del litio tiene un promedio de siete años⁵⁴, no por una limitación de aplicación tecnológica, sino para evitar un impacto ambiental negativo en los salares bolivianos.

El proyecto estatal boliviano está clasificado a nivel mundial entre aquellos que, en circunstancias óptimas, alcanzarán sus expectativas de producción en el periodo 2025-2030. Bolivia tiene la mayor estimación de recursos (Figura 5) y un proyecto de producción piloto, mientras que Argentina cuenta con seis proyectos productivos, la misma cantidad de proyectos piloto y siete adicionales en etapa de prospección⁵⁵.

Igualmente, después de una intensa investigación hidrogeológica de la COMIBOL y YLB⁵⁶, Bolivia aún no tiene reservas certificadas de litio que demuestren la viabilidad y sostenibilidad del proyecto, explica Jorge Espinoza Morales⁵⁷. Solamente hubo un incremento de los recursos existentes de 9 Mt en 2012 (Tabla 6)⁵⁸ y el Servicio Geológico de Estados Unidos⁵⁹ (Figura 5) estimó 21 Mt en 2021.

La certificación es un aspecto central para la gestión de los proyectos mineros, tal es así que Flor de María Harp Iruribarria, del Servicio Geo-



El proyecto estatal boliviano está clasificado a nivel mundial entre aquellos que, en circunstancias óptimas, alcanzarán sus expectativas de producción en el periodo 2025-2030.

Tabla 6. Recursos bolivianos de litio.

PAÍS	RECURSOS IDENTIFICADOS*		RESERVAS*	
	en Tn	en %	en Tn	en %
TOTAL	33.000.000	100,0	13.000.000	100,0
Bolivia	9.000.000	27,3	s/d	s/d
Chile	7.500.000	22,7	7.500.000	57,7
China	5.400.000	16,4	3.500.000	26,9
Argentina	2.600.000	7,9	850.000	6,5
Australia	630.000	1,9	580.000	4,5
Estados Unidos	4.000.000	12,1	38.000	0,3
Brasil	1.000.000	3,0	64.000	0,5
Canadá	360.000	1,1	s/d	s/d
Zimbawe	s/d	s/d	23.000	0,2

* **Recurso identificado:** es una concentración de mineral potencialmente extraíble, cuya localización, grado, cantidad y calidad son conocidas o estimadas a partir de evidencia geológica. **Reservas:** es la parte de los recursos identificados que reúne los requisitos físico-químicos mínimos para llevar a cabo prácticas de producción minera y cuya explotación es económicamente viable en las condiciones actuales.

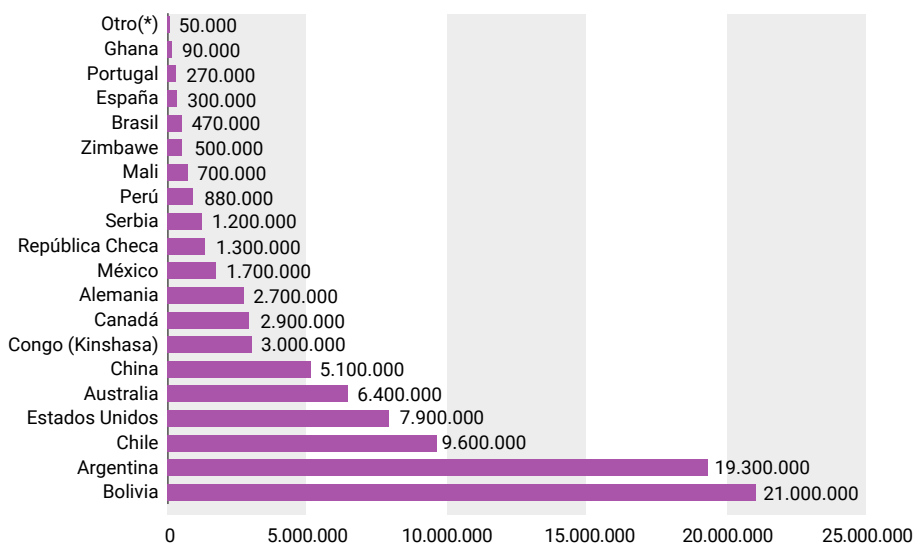
Fuente: Memoria Institucional de la GNRE, 2013: p. 119



La tecnología de extracción directa de litio llegó a Bolivia por preocupaciones relacionadas con los rendimientos productivos; a Chile, como parte de una inquietud ambiental surgida en Europa y a la que luego se sumó Estados Unidos, y, con anterioridad, a Argentina.

Figura 5. Recursos mundiales de litio. (En toneladas)

Fuente: Con base en USGS (2021).



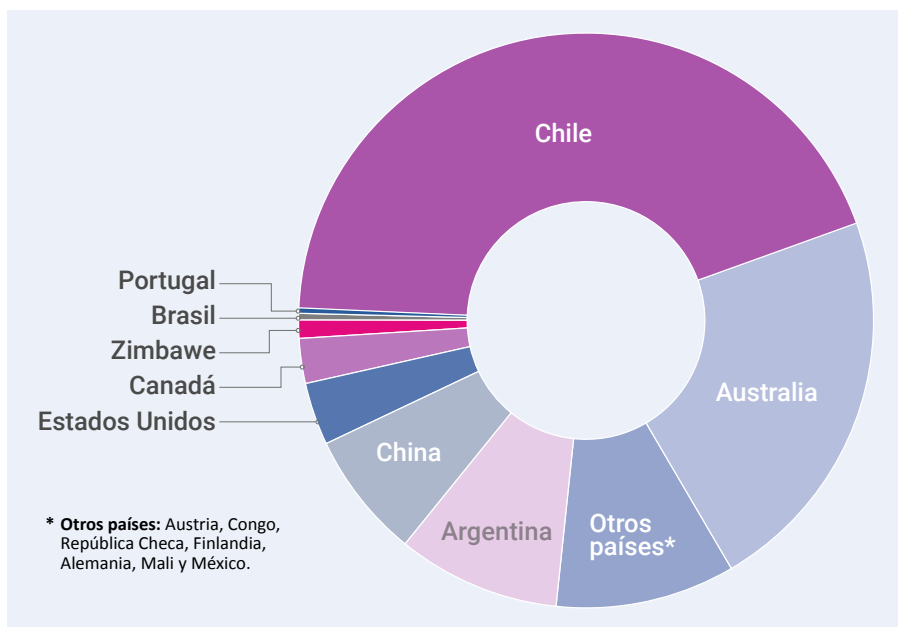
(*) Otros: Austria, Finlandia, Kazajistán, Namibia.

lógico Mexicano, sugiere que las reservas tienen que demostrar también viabilidad social y ambiental⁶⁰. En la Figura 6 se muestran las reservas certificadas a nivel mundial; Bolivia está ausente.

La selección y posteriores pruebas piloto de EDL en campo aún deben ser complementadas con información de las reservas certificadas para hacer posible una planificación a escala industrial que acceda a los mecanismos de financiamiento internacional⁶¹. El gobierno boliviano ni siquiera mencionó este aspecto.

Figura 6. Reservas mundiales de litio

Fuente: Con base en USGS (2021)



¿Avanzamos hacia la transparencia en el triángulo del litio?

La tecnología de extracción directa de litio llegó a Bolivia por preocupaciones relacionadas con los rendimientos productivos⁶²; a Chile, como parte de una inquietud ambiental surgida en Europa⁶³ y a la que luego se sumó Estados Unidos⁶⁴, y, con anterioridad, a Argentina, por una consonancia con los avances tecnológicos a nivel internacional⁶⁵.

Para Bolivia la EDL es el salvavidas tecnológico que necesita el proyecto estatal para mantener la expectativa en la prometida industrialización. Pero esto no implica la participación efectiva de las instituciones académico-científicas ni de los actores sociales e institucionales que históricamente han reclamado formar parte en la toma de decisiones.

En Chile es una respuesta a los mercados y las políticas mundiales de sostenibilidad empresarial, y llega en un momento de transformaciones. Hace poco, en el Foro Virtual Perspectivas del Litio desde América Latina, la ministra de Minería de ese país, Marcela Hernando, anunció que el nuevo gobierno creará una “empresa nacional de litio”, buscará superar la mera extracción de materias primas y “fomentará la participación de la industria, la academia y las comunidades”⁶⁶.

Para Argentina representa una paulatina transformación industrial impulsada por la academia y la iniciativa privada. Al ser un país federal, el gobierno central posee pocas posibilidades de intervención en la minería y el compromiso de las gobernaciones provinciales es heterogéneo. El único instrumento de regulación directa es el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), pero el cumplimiento del consentimiento libre,



Para Bolivia la EDL es el salvavidas tecnológico que necesita el proyecto estatal para mantener la expectativa en la prometida industrialización. Pero esto no implica la participación efectiva de las instituciones académico-científicas ni de los actores sociales e institucionales que históricamente han reclamado formar parte en la toma de decisiones.

previo e informado, previsto en favor de las comunidades afectadas se ha convertido en su principal debilidad⁶⁷.

Cuando en Chile la Cámara Chileno-Alemana de Comercio (AHK Chile) promovió la iniciativa de una “minería responsable”, la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) presentó “por primera vez ante un público internacional el modelo hidrológico integrado para la cuenca del salar” de Atacama⁶⁸. Los primeros temas considerados fueron la gestión de los recursos hídricos y la investigación hidrogeológica, además de la protección de los derechos humanos de los pueblos indígenas y la sostenibilidad.

La Bloomberg-Albemarle Corp. “busca obtener la certificación de minería responsable en sus operaciones de litio en Chile en respuesta al mayor escrutinio de los impactos ambientales y sociales de la industria”⁶⁹ mediante la aplicación de los estándares IRMA (Initiative for Responsible Mining Assurance o Iniciativa para el Aseguramiento de la Minería Responsable)⁷⁰. Mientras tanto, la SQM, que también aplica los mencionados estándares, declara que “mide y certifica su *Reporte Anual de Sustentabilidad* utilizando la metodología del Global Reporting Initiative (GRI)”⁷¹ y proporciona información de Responsabilidad Social Empresarial⁷².

Este nivel de transparencia aún resulta impensable en el caso boliviano. No se han generado mecanismos de interacción transparente con las comunidades aledañas y la opinión pública en general, tampoco una articulación efectiva con las instituciones académicas y científico-tecnológicas o la industria nacional con potencial para la provisión de insumos y servicios. Pese a ser un proyecto “100% estatal”, sin información institucional estandarizada es imposible evaluar la sostenibilidad y garantizar el buen uso de los recursos públicos.

En el actual contexto mundial los estándares industriales resaltan cada vez la combinación de desarrollo tecnológico, inclusión de actores, resiliencia y sostenibilidad⁷³. Según Pablo Bereciartua, toda la transición energética que impulsa el uso de acumuladores eléctricos y la producción de litio como insumo clave está íntimamente ligada a los objetivos de reducción del impacto ambiental, desde la producción primaria hasta el producto final⁷⁴.

No todo lo que brilla blanco es litio: la gestión ambiental

No todo lo que brilla blanco es litio, porque las reservas no están certificadas y porque el litio se puede reciclar. Las experiencias industriales de reciclaje de litio datan de 2000⁷⁵, inclusive se habla del *boom* del reciclaje de baterías de litio y del comienzo de la economía circular de baterías de vehículos eléctricos. Los ajustes avanzan rápidamente tanto por la disponibilidad de baterías usadas como por la consolidación de procesos específicos⁷⁶. Los fabricantes de vehículos eléctricos, Tesla y BYD, lideran el reciclaje en China, el principal mercado mundial, mientras que Green Peace estima que, a nivel mundial, entre 2021 y 2030, se desconectarán 7,05 Mt de baterías de iones de litio⁷⁷.

En 2019 se recuperaba de las baterías usadas “aproximadamente el 15% de cobalto metálico, el 14% de cobre, el 25% de hierro, el 4,7% de alumi-



No todo lo que brilla blanco es litio, porque las reservas no están certificadas y porque el litio se puede reciclar. Las experiencias industriales de reciclaje de litio datan de 2000, inclusive se habla del *boom* del reciclaje de baterías de litio y del comienzo de la economía circular de baterías de vehículos eléctricos.

nio y el 0,1% de litio⁷⁸. Los objetivos y los esfuerzos por mejorar estos porcentajes incluyen la elaboración de normativa técnica e inclusive la creación de centros de investigación y desarrollo (I+D), como ReCell del Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) en 2017, además de constantes alianzas entre empresas de desarrollo tecnológico⁷⁹. El esfuerzo apunta a garantizar con alta prioridad “la renovación de las cadenas de suministro de los minerales críticos requeridos”⁸⁰.

En China empieza a crecer un mercado negro de servicios de reciclaje de baterías, se espera que nuevas políticas y normativas mejoren la regulación y fomenten la industria⁸¹. La utilidad del reciclaje es clara para la industria de los vehículos eléctricos: “Reducirá la necesidad de extraer algunos metales raros y mantendrá el desarrollo sostenible de la industria”⁸². Es decir, la riqueza no está en los recursos, sino en el desarrollo tecnológico-industrial.

En Europa, desde 2002, la Plataforma Europea de Reciclaje (ERP) desarrolla Sistemas Integrados de Gestión (SIG) para el control de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos⁸³. Uno de sus mayores retos es “la utilización de materiales reciclados desde la fase de fabricación [...] de pilas y acumuladores”⁸⁴. Al igual que en Estados Unidos, la idea es inclusive el diseño de baterías que permitan “aumentar las tasas de recuperación” al momento del reciclaje⁸⁵, para ello el proyecto CarE-Service pretende “demostrar, a escala europea, la sostenibilidad económica, social y medioambiental” de la electromovilidad⁸⁶.

Para Daniel Jiménez, ejecutivo de SQM, el corazón de la importancia del litio está en la electromovilidad y para esta el reciclaje de los minerales críticos —cobre, hierro, cobalto, níquel, litio, magnesio y otros— es un objetivo estratégico, ya que ello influirá significativamente en el mercado. La actual década, 2021-2030, es la del *boom*, la demanda podría multiplicarse seis veces. Al tiempo que aumenta el litio reciclado o secundario, disminuye la tasa de crecimiento de litio minado o primario (Tabla 7 y Figura 7).

Las advertencias sobre la importancia del reciclaje no son nuevas en Bolivia. En 2011 Erik Martinelly advirtió que “reciclar el litio es controlarlo” y que debía considerarse como “un componente esencial de los planes estratégicos del Estado Plurinacional si lo que se busca es generar la mayor cantidad de empleos posibles”. De hecho, el país fue víctima de la política de acaparamiento y reciclaje del estaño aplicada por Estados Unidos durante y luego de la Segunda Guerra Mundial⁸⁷.

Al proyecto de industrialización del litio en Bolivia también le faltó visión histórica y geopolítica. Martinelly analizó ambos aspectos respecto del reciclaje, además, de manera detallada se refirió al modelo de desarrollo industrial chino que, considerando los presupuestos asignados (Tabla 2), podía haberse tomado como referencia para generar empleo y verdaderas capacidades industriales. También puso en evidencia la existencia de un proceso de transición en marcha: la industria extractiva del litio se convertirá en una industria de servicios... el litio será cada vez más un bien de capital antes que un producto primario⁸⁸.

Algunos fabricantes de vehículos eléctricos ya reciclan el 90% de los materiales de las baterías⁸⁹, la Agencia Internacional de la Energía (AIE)



Las advertencias sobre la importancia del reciclaje no son nuevas en Bolivia. En 2011 Erik Martinelly advirtió que “reciclar el litio es controlarlo” y que debía considerarse como “un componente esencial de los planes estratégicos del Estado Plurinacional si lo que se busca es generar la mayor cantidad de empleos posibles”.

recomendó “almacenar metales críticos de las baterías, como el cobalto y el litio [y.] desarrollar suministros fiables de metales y minerales que desempeñarán un papel fundamental en un mundo que se descarboniza”. Las razones son que muchas de las grandes economías mundiales, excepto China y Japón, no cuentan con reservas de metales críticos⁹⁰. El mensaje es claro: acaparar, reparar, reutilizar y reciclar.

Para Daniel Jiménez, el crecimiento de la demanda en la presente década no es comparable con las siguientes. Cuando se potencie la producción en el triángulo del litio —y la boliviana sea mínimamente significativa—, el *boom* estará terminando; “llegaremos a la fiesta a las 4 a.m.”⁹¹. Y en la década siguiente, 2030-2040, la disponibilidad de energía representará una limitante crítica tanto para la producción como para la logística de comercialización⁹²; nada para la resaca... si llegamos a tenerla.

Según la investigadora Evi Petavratzi, la mayor debilidad de la sostenibilidad de la cadena de valor del litio —herramienta para la evaluación de la viabilidad— son los aspectos ecológicos y ambientales, particularmente los relacionados con su explotación; los más críticos son emisiones y residuos, insumos y energía, contaminación del agua y el aire e impacto en los hábitats y la alimentación. Ello lleva a la necesidad de establecer mejores modelos conceptuales en las siguientes escalas: cuencas, salares, pozos de explotación y cadenas de suministro⁹⁵. Estos son los retos de la industria del litio en general y de las nuevas tecnologías, como la de la extracción directa al momento de realizar las pruebas piloto.

En Chile la implementación de la EDL ha planteado un debate conceptual: ¿es la salmuera un mineral o es un recurso hídrico? Si se la considera un mineral —como sucedió históricamente— una vez que pasa por un proceso de extracción directa y queda con una mínima concentración de litio, constituiría un residuo bajo responsabilidad de los operadores mineros, aspecto que se convierte en una carga muy pesada para estos.

Tabla 7. Disminución de la tasa de crecimiento anual compuesta de litio minado

AÑO	DEMANDA	OFERTA		
	[k TM LCE] *	RECICLADO	MINADO	
		[k TM LCE]	[k TM LCE]	GAGR [%] **
2020	338	3	335	
2030	2184	403	1781	18
2040	4275	1702	2573	4
2050	6563	3169	3394	3
2060	9715	5062	4653	3

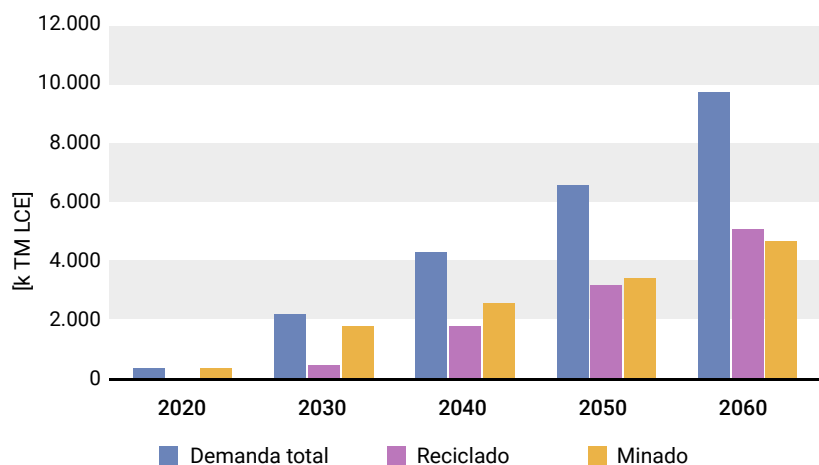
* k TM LCE: Miles de toneladas métricas (TM) de carbonato de litio equivalente (LCE).

** GAGR: Tasa de crecimiento anual compuesto.

Fuente: Con base en David Jiménez⁹³

Figura 7. Demanda de litio y balance entre la oferta de litio secundario y primario

Fuente: Con base en David Jiménez⁹⁴



Si se tratara, por el contrario, de un recurso hídrico luego de extraído el litio, la salmuera residual debiera ser devuelta a la “compleja red de diferentes recursos hídricos” subterráneos y superficiales existentes en los salares, esto plantea un reto complejo para las ciencias y los sistemas de regulación⁹⁶.

En el primer caso, los costos de la gestión de las salmueras residuales serían muy altos considerando los volúmenes generados. En el segundo, la alternativa podría ser el uso de pozos de reinyección, previa recuperación de los residuos de las sustancias químicas añadidas. Para ello, es preciso contar con tecnología especialmente diseñada para los salares y salmueras bolivianas y con suficiente información sobre los sistemas hidrogeológicos, sus dinámicas e interacciones.

La aplicación de la EDL conlleva dos riesgos importantes: la contaminación de acuíferos de agua dulce y la dilución de las salmueras vírgenes que aún no han sido explotadas⁹⁷. El geólogo de la Universidad de Buenos Aires Marcelo Sticco explica que:

El salar es como una esponja con poros subterráneos que contienen agua dulce y agua salada [...] Hay un borde de agua dulce, un núcleo de agua muy salinada y una zona que es mixta. Entonces, cuando tomas desde el medio, que tiene litio, mueves toda el agua [...] El agua dulce se convierte en agua salada⁹⁸.

El riesgo de perder fuentes de agua dulce en una zona desértica como la que circunda los salares es algo que no ha sido suficientemente analizado y menos con la participación de las comunidades locales.

De acuerdo con los datos de los EEIA de las plantas industriales de cloruro de potasio (2012) y carbonato de litio (2020), la explotación de salmueras —suponiendo una operación a máxima capacidad— alcanzaría 17,25 Mm³/año o 200 l/h (Tabla 4), lo que equivale a 5,4 veces la recarga estimada proveniente de las lluvias, que es 3,2 Mm³/año⁹⁹.

En 2019 la SQM produjo 70.000 TM de carbonato de litio equivalente (LCE) y utilizó 26,6 Mm³ de aguas subterráneas a través de la tecnología evaporítica¹⁰⁰, una relación de 380,01 m³/TM LCE. En Bolivia, con la misma tecnología, se espera producir 15.000 TM/año y emplear 18,47 Mm³/año (Tabla 8), con una relación de 1.231,27 m³/TM LCE, cuatro veces más que la que obtuvo la empresa chilena. Esta situación remarca las diferencias de producción entre las regiones de Atacama y Uyuni, pero también muestra que el impacto del proyecto boliviano en el equilibrio hidrogeológico sería uno de los más drásticos dentro del triángulo del litio.

Un aspecto crítico para la adopción de alguna de las alternativas de la extracción directa es el suministro de los insumos químicos —resinas, solventes, adsorbentes— o materiales —filtros, membranas, celdas electroquímicas—. Estos son producidos en laboratorios de alta tecnología e inclusive deberían ser diseñados específicamente para las salmueras bolivianas, por lo que resulta probable que los proveedores sean pocos y tengan costos elevados.

Además, tanto insumos como materiales deben cumplir funciones complejas para tener la capacidad de “atrapar” selectivamente el litio y no a otros elementos con comportamientos químicos similares. Se trata de sustancias sintéticas con una alta capacidad para reaccionar con su entorno y, por lo tanto, son potencialmente contaminantes.

”

Un aspecto crítico para la adopción de alguna de las alternativas de la extracción directa es el suministro de los insumos químicos y materiales especiales, estos son producidos en laboratorios de alta tecnología e inclusive deberían ser diseñados específicamente para las salmueras bolivianas, por lo que resulta probable que los proveedores sean pocos y tengan costos elevados.

Tabla 8. Consumo proyectado de recursos hídricos de la industria del litio en Bolivia

INSTALACIÓN	CONSUMO ANUAL DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS (m³)			PRODUCCIÓN ANUAL ESPERADA [t/año]
	SALMUERA [m³]	AGUA DULCE [m³]	TOTAL [m³]	
Planta de Cloruro de Potasio	17.117.661,95	1.019.008,11	18.136.670,06	350.000,00
Planta de Carbonato de Litio	134.028,00	198.466,56	332.494,56	15.000,00
TOTAL (m³)	17.251.689,95	1.217.474,67	18.469.164,62	
TOTAL (Mm³)	17,25	1,22	18,47	

Fuente: Con base en datos del EEIA-AI KCl (2012) y EEIA-AI Li2CO3 (2020)

En Bolivia los estudios de Auditoría Ambiental de Línea Base (ALBA) han sido insuficientes para determinar con claridad el riesgo ambiental del uso intensivo de los recursos hídricos. El gobierno boliviano inició investigaciones hidrogeológicas en el salar de Uyuni en 2012¹⁰¹ y dio resultados en las memorias institucionales de 2016¹⁰² y 2018¹⁰³, mediante gráficos tridimensionales de concentraciones de litio y potasio a diferentes profundidades en el área de explotación. Sin embargo, los resultados completos no fueron publicados y la empresa consultora responsable de elaborar el EEIA de la planta de carbonato de litio —aprobado en 2020— reportó “falta de información” para determinar los impactos ambientales. Este hecho evidenció que no accedió a las investigaciones de la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE) y YLB.

La situación de las comunidades afectadas es aún peor. La normativa ambiental boliviana no garantiza su participación en el proceso de EIA. Si la empresa consultora —contratada por el promotor del proyecto— no facilita la participación, la norma permite que la Autoridad Ambiental Competente (AAC) establezca un “periodo de consulta pública antes de emitir la Declaratoria de Impacto Ambiental (DIA)”¹⁰⁴, este se reduce a un evento informativo.

Lo anterior sucedió en el EIA del proyecto de industrialización del litio y, en consecuencia, las comunidades afectadas no cuentan con información completa y comprensible sobre los riesgos ambientales asociados a los impactos identificados, por lo que pierden la oportunidad de hacer consultas o presentar objeciones si fuera necesario.

La investigación de algunos aspectos poco desarrollados en los EEIA de las plantas industriales es fundamental para evaluar la viabilidad de las alternativas de la extracción directa de litio (Tabla 9). Según Evi Petavratzi del British Geological Survey (BGS), los modelos hidrogeológicos existentes en Bolivia son aún insuficientes para determinar el riesgo ambiental¹⁰⁵ y comprender la naturaleza de la salmuera y su relación con el sistema hidrogeológico existente.

Pese a los reportes, de muestreo de aguas y sedimentos y, la elaboración de, por ejemplo, un mapa geoquímico del litio en la subcuenca del Río Grande de Lípez, no se tiene información sobre la presencia de pasivos ambientales mineros y su relación con la composición de las salmue-



El gobierno boliviano inició investigaciones en 2012 y dio resultados en las memorias institucionales de 2016 y 2018. Sin embargo, los resultados completos no fueron publicados y la empresa consultora responsable reportó “falta de información” para determinar los impactos ambientales.

Tabla 9. Información científica faltante sobre los recursos hídricos y la industria del litio en Bolivia

N°	DEFICIENCIA	COMENTARIOS
1	Deficiente descripción de las unidades geológicas, incluyendo mapas en escalas adecuadas para evaluar los impactos y riesgos.	Faltan descripciones de: porosidad, permeabilidad, compactación, mineralogía, geoquímica, distribución, ambiente de formación, características estructurales.
2	Deficiente descripción de las metodologías aplicadas para el recojo de información técnica.	Descripción de las normas técnicas aplicadas para estaciones de recojo de datos sobre estructuras, estratos, perfiles, fracturas y fallas geológicas.
3	No se ha propuesto un procedimiento científico de evaluación y análisis del riesgo sísmico.	Esto es fundamental para garantizar la integridad de las instalaciones del propio complejo industrial del litio, además del posible impacto ambiental.
4	La información presentada no establece con claridad las conexiones posibles entre las características del entorno y los impactos ambientales previstos.	No se define la presencia de sulfuros, las direcciones más probables de los flujos de aguas subterráneas, la presencia de materiales volcánicos y arsénico, ni la de metales pesados.
5	Los EEIA no reportaron resultados de pruebas de bombeo en los pozos de salmuera y agua dulce instalados en el salar y cerca de las comunidades aledañas al proyecto.	Una evaluación de la Consultora TERRAE (2020) mostró que el bombeo de agua por un periodo de un día puede generar un abatimiento en un radio de 800 metros y disminuir el nivel freático en 10 centímetros.
6	La investigación estatal "establece las condiciones de flujo en el interior del salar, pero no su interacción con el medio"	No es útil para caracterizar el impacto de la explotación de salmueras fuera del salar.
7	La descripción geológica, hidrogeológica e hidro-geoquímica de la cuenca del Río Grande y del área de explotación prevista no es analítica.	Los estudios deben considerar las interacciones físico-químicas que podrían generar contaminación ambiental u otro impacto en los procesos a los que se someterán las salmueras.
8	No se tiene un "mapeo geoquímico en el área de influencia indirecta" para la determinación de las condiciones previas en la cuenca.	No se determina la incidencia de los elementos químicos presentes en la costra salina y las salmueras, incluyendo semi-metales y metales pesados.
9	No se tienen "estudios sistemáticos de movilidad geoquímica de elementos que, en el caso específico del salar de Uyuni, corresponden a rocas mineralizadas que aportan elementos tóxicos".	No se tiene información básica para establecer: <ul style="list-style-type: none"> • Las características de peligrosidad de la materia prima, tanto por factores naturales como antrópicos. • La influencia de los pasivos ambientales existentes en la composición de la materia prima.
10	La normativa ambiental y la normativa minera son insuficientes para la detección de impactos relacionados con los elementos no metálicos.	Esto lleva a una minimización del riesgo de transporte de contaminantes, desconociendo la fragilidad de la dinámica hidrogeológica e hidro-geoquímica de los salares.

Fuente: Con base en EEIA-AI KCI (GNRE, 2012), EEIA-AI Li2CO3 (YLB, 2020) y Terrae (2020, p. 53-69)¹⁰⁶.

ras¹⁰⁷, tampoco hay una delimitación aproximada de la zona de interacción o mezcla entre las salmueras y el agua dulce, ni del sentido de los flujos subterráneos existentes. Sin esta información, resulta imposible determinar si el bombeo de salmuera pone o no en riesgo la disponibilidad y la calidad del agua dulce de los pozos que abastecen a las comunidades.

Las implicaciones de una intensiva explotación de salmueras y la gestión de las salmueras residuales pueden tener un alcance regional. Por lo tanto, es importante retomar el proceso de Evaluación Ambiental Estratégica (EAE)¹⁰⁸ que el Ministerio de Medio Ambiente y Agua inició en 2011, pero que fue abandonado sin explicación¹⁰⁹.

Tómese en cuenta que las aguas subterráneas del sudoeste de Potosí son, muy probablemente, aguas fósiles o recursos hídricos no renova-

bles, debido a que la cantidad de agua que se pierde por evapotranspiración es significativamente superior a la que proporcionan las lluvias¹¹⁰. Igualmente, los EEIA no reconocen la alta probabilidad de ocurrencia de inundación y sequía¹¹¹ y tampoco consideran el establecimiento de sistemas de alerta temprana. Entonces, si se aplican las tecnologías de extracción directa: ¿se incrementará la cantidad de salmuera extraída? ¿Se fijarán nuevas metas de producción para competir con otros productos? ¿Se necesitarán cantidades adicionales de agua dulce? ¿Se garantiza el desarrollo de procesos participativos de EEIA?

En otro tema, el proceso de explotación primaria con un socio no estatal, según la legislación boliviana, es ilegal. Tanto la Ley 535 de minería (2014, artículo 73, párrafo IV) como la Ley 928 de Creación de YLB (2017, artículo único) establecen que las instancias públicas:

Desarrollarán los procesos de química básica de sus recursos evaporíticos con una participación 100% estatal para la producción y comercialización de cloruro de litio, sulfato de litio, hidróxido de litio y carbonato de litio, cloruro de potasio, nitrato de potasio, sulfato de potasio, sales derivadas e intermedias y otros productos de la cadena evaporítica.

Y solamente los “procesos posteriores de semiindustrialización e industrialización se podrán realizar mediante contratos de asociación con empresas privadas nacionales o extranjeras”¹¹².

La modificación de la ley minera prevista por el Ministerio de Minería apunta a favorecer la inversión privada y aprovechar los altos precios internacionales¹¹³. Sin embargo, no profundiza en el campo específico de los recursos evaporíticos. De no cambiarse la legislación, la o las empresas seleccionadas para implementar la EDL en Bolivia solamente podrán “vender su tecnología”, mas no operar el proceso¹¹⁴.

Conclusiones

La intención del gobierno boliviano de aplicar la extracción directa de litio no ha dado lugar a la publicación de información técnico-científica sobre las dinámicas y características de los sistemas hidrogeológicos e hidrogeoquímicos existentes. “El relanzamiento” no da señales que muestren seguridad sobre la forma de afrontar los retos conceptuales y operativos del pilotaje de campo. La incertidumbre surge cada vez que no se transparenta la información y se repite el slogan de “las mayores reservas del mundo” y alguna otra grandilocuente comparación.

Sin datos de reservas certificadas será imposible elaborar un diseño técnico industrial completo y no se podrá obtener financiamiento para un nuevo proyecto de explotación mediante la tecnología de extracción directa de litio. El proyecto de industrialización del litio en Bolivia —y cualquier otra propuesta productiva estatal— está muy lejos de implementar de forma sostenible la producción básica y, menos aún, la producción con valor agregado, porque rehúye a la evaluación independiente de su desempeño.

La falta de orientación científico-tecnológica limitó la posibilidad de generar información para evaluar la viabilidad tecnológica, ambiental, social y económica, y hacer ajustes oportunos. ¿Estará ahora el gobierno boli-



La modificación de la ley minera apunta a favorecer la inversión privada y aprovechar los altos precios internacionales. Sin embargo, no se profundiza en el campo específico de los recursos evaporíticos. De no cambiarse la legislación, la o las empresas seleccionadas para implementar la EDL en Bolivia solamente podrán “vender su tecnología”, mas no operar el proceso.

viano dispuesto a proporcionar información usando estándares internacionales como el GRI o las normas IRMA? ¿Estará dispuesto a contar con un Comité Científico Tecnológico independiente y multidisciplinario?

Las tareas pendientes son la certificación de reservas, el diseño participativo de la gestión de recursos hídricos, la estrategia de acceso a energía limpia y renovable, el control de la generación de tóxicos, la protección de ecosistemas y medios de vida de vida, la incorporación de capacidades para el reciclaje y la articulación con procesos de desarrollo de capacidades científico-tecnológicas orientadas a la diversificación productiva con alcance comunal, municipal, departamental y nacional.

El proyecto boliviano no solamente necesita un cambio de tecnología, sino también un cambio en la política pública y una profunda revisión de las estructuras institucionales que podrían proporcionarle soporte. Sin consulta previa a las comunidades de la zona, sin interacción con los actores interesados ni alianzas para la investigación y desarrollo de ciencia y tecnología propias, las proyecciones no son alentadoras por más que los precios sean extraordinarios.

La transición energética mundial, la movilidad eléctrica, el uso de acumuladores eficientes y la importancia del litio como metal crítico crean un contexto externo que motiva las inversiones. Además, plantean un reto doble: ser parte de la producción primaria y también del desarrollo de servicios tecnológicos de transformación industrial, incluyendo el reciclaje. Sin embargo, en el debate nacional, el gobierno boliviano no ha consensuado una visión estratégica y geopolítica de largo plazo y tampoco una normativa legal que establezca mecanismos de transparencia y equidad que restituyan la confianza de los actores clave nacionales e internacionales.

Empezar con tecnologías de extracción directa implica un nuevo proceso de desarrollo aplicado en campo, siete años en promedio para lograr la producción. El *boom* del litio es ahora y no durará mucho. Bolivia perdió la oportunidad y precisa de un cambio de enfoque si quiere participar de un corto periodo de crecimiento moderado de la demanda de litio primario.

Son varias las razones que requieren un análisis nacional sobre los aspectos que viabilizarían un exitoso y sustentable aprovechamiento de los recursos naturales, en un contexto en el que ya no es posible sacrificar poblaciones y ecosistemas, eximirse de limitaciones de acceso a energía, tecnología y materias primas complementarias o ignorar el cumplimiento de estándares internacionales de sostenibilidad y un compromiso firme frente a la crisis climática y ambiental mundial.

La industrialización del litio boliviano es inviable si no se adoptan objetivos estratégicos de sostenibilidad y sustentabilidad, partiendo de alianzas sociales —organizaciones territoriales y funcionales, indígenas y urbanas—, intergubernamentales —en los niveles central, departamental y municipal— e interinstitucionales —con universidades, empresarios privados y organizaciones de la sociedad civil— que garanticen la transparencia y la participación inclusiva en la toma de decisiones.



El proyecto boliviano no solamente necesita un cambio de tecnología, sino también un cambio en la política pública y una profunda revisión de las estructuras institucionales que podrían proporcionarle soporte.

NOTAS:

1. Flores, Y. (05/05/21). Más de 12 firmas tecnológicas se registraron a la convocatoria para extracción de litio. *La Razón*. <https://www.la-razon.com/?p=522285>
 2. YLB (30/04/2021). *Lanzamiento de convocatoria internacional de extracción directa de litio*. Ministerio de Hidrocarburos y Energías-Empresa Pública Yacimientos del Litio Boliviano. <https://www.facebook.com/ministerio.dehidrocarburos/videos/2846861885642423>
 3. Mondaca, G. (04/05/2021). *Un cambio radical de tecnología y mucha incertidumbre*. Centro de Documentación e Investigación Bolivia (CEDIB). <https://cedib.org/wp-content/uploads/2021/05/ELitio-un-cambio-radical.pdf>
 4. Las salmueras son aguas saladas con una mezcla compleja de elementos, por lo que la relación magnesio/litio (Mg:Li) es particularmente determinante por la similitud de su comportamiento químico.
 5. Molina-Carpio, J. (2007). *Agua y recurso hídrico en el Sudoeste de Potosí*. Foro Boliviano del Medio Ambiente (FOBOMADE) y Comisión para la Gestión Integral del Agua en Bolivia (CGIAB). <http://fobomade.org.bo/2007/03/01/sudoeste-de-potosi/>
 6. Guzmán, J. C. (coord.), Calla, R., Montenegro, J. C., Montenegro, Y. y Poveda, P. (2014). *Un presente sin futuro. El proyecto de industrialización del litio en Bolivia*. Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario (CEDLA). <https://cedla.org/publicaciones/ieye/cuadernos-de-coyuntura-7-hacia-la-industrializacion-del-litio-y-potasio-en-el-salar-de-uyuni/>
 7. Losprevisiblesfracasosdellitio.(05/02/2018).*Página Siete*. <https://www.paginasiete.bo/opinion/editorial/2018/2/5/previsibles-fracasos-litio-168869.html>
 8. Fundación Solón (2022). ¿Qué pasó con la industrialización del litio? *Revista TUNUPA, n. ° 119*. <https://fundacionsolon.org/2022/03/09/tunupa-119-que-paso-con-la-industrializacion-del-litio/>
 9. Obaya, M. (2019). *Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en el Estado Plurinacional de Bolivia*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44776/1/S1900479_es.pdf
- Fornillo, B. (coord.), Argento, M., Gamba, M., Kazimierski, M., Puente, F., Romero, G., Santos, E., Slipak, A., Urrutia, S. y Zicari, J. (2019). *Litio en Sudamérica: geopolítica, energía y territorios*. Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (CLACSO). <https://www.jstor.org/stable/j.ctvtxw25t>
10. Lluvias en Bolivia retrasarán la producción del litio (10/03/2011). *América Económica*. <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/lluvias-en-bolivia-retrasaran-la-produccion-de-litio>
 11. Bolivia emprende (17/08/2015). Hasta 2019, Bolivia invertirá \$us 925 MM en la industria del litio. *La Razón*. <https://boliviaemprende.com/noticias/hasta-2019-bolivia-invertira-us-925-mm-en-la-industria-del-litio>
 12. YLB (2022). *Memoria Institucional*. https://www.ylb.gob.bo/inicio/memoria_institucional
 13. Ministro de Minería aclara que patentes para producir litio serán bolivianas. (13/10/2009). *Bolivia.com* <https://www.bolivia.com/noticias/autonoticias/DetalleNoticia41778.asp>
 14. Otros investigadores han observado que la limitada producción científica del proyecto de industrialización del litio en Bolivia pone en riesgo su viabilidad:
 - Zuleta: Bolivia no sabe explotar el litio ni consiguió patentes (04/10/2019). *Página Siete* <https://www.paginasiete.bo/economia/2019/11/4/zuleta-bolivia-no-sabe-explotar-el-litio-ni-consiguio-patentes-236336.html>
 - Pabón, C. (17/02/12). Bolivia: falta de pericia retrasa explotación de litio. *SciDev.Net*. <https://www.scidev.net/americas-latina/news/bolivia-falta-de-pericia-retrasa-explotacion-de-litio/>
 - Escalera, S. J. (03/09/2012). Ciencia, tecnología y litio en Bolivia. *Triplenlace* <https://triplenlace.com/2012/09/03/ciencia-tecnologia-y-litio-en-bolivia/>
 - Villegas, P. (11/08/2021). Bolivia: de la industrialización del litio a la del tritio. CEDIB. <https://www.cedib.org/destacados/litioenboliviapost/>
 15. Óp. cit. Nota 12. YLB (2022).
 16. Algunos autores que analizaron el tema de la gobernanza del litio en Bolivia son:
 - Hollender, R. y Shultz, J. (2010). *Bolivia y su litio, ¿puede el "oro del siglo XXI" ayudar a una nación a salir de la pobreza?* Centro para la Democracia. <https://www.bivica.org/files/litio-bolivia.pdf>
 - Ströbele-Gregor, J. (2012). *Litio en Bolivia. El plan gubernamental de producción e industrialización del litio, escenarios de conflictos sociales y ecológicos, y dimensiones de desigualdad social*. Research Network on Interdependent Inequalities in Latin America. https://www.desigualdades.net/Resources/Working_Paper/14_WP_Str_bele_Gregor_online_sp.pdf
 - Fornillo, B. (2018). *La energía del litio en Argentina y Bolivia: comunidad, extractivismo y posdesarrollo*. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de Argentina. <http://www.scielo.org.co/pdf/rci/n93/0121-5612-rci-93-00179.pdf>

- Argento, M. (2018). Espejo de sal: estructuras de la acción colectiva e integración territorial del proyecto de extracción e industrialización del litio en Bolivia. *Estado & Comunes, Revista de políticas y problemas públicos*, 2(7). https://doi.org/10.37228/estado_comunes.v2.n7.2018.89. En Chun, P. y S. Tórriz (coords.). *Política Industrial y Cambio Estructural en América Latina y el Caribe*. https://revistas.iaen.edu.ec/index.php/estado_comunes/issue/view/9
- Olivera, M. (2017). *La industrialización del litio en Bolivia. Un proyecto estatal y los retos de la gobernanza, el extractivismo histórico y el capital internacional*. Posgrado en Ciencias del Desarrollo de la Universidad Mayor de San Andrés (CIDES-UMSA). <http://www.cides.edu.bo/webcidos2/index.php/component/content/article/34-publicaciones/otras-publicaciones/164-la-industrializacion-del-litio-en-bolivia?Itemid=101>
- Óp. cit. Nota 9. Obaya, M. (2019).
- 17. Villegas, P. (11/08/2021). *Bolivia: de la industrialización del litio a la del tritio*. CEDIB. <https://www.cedib.org/destacados/litioenboliviapost/>
- 18. YLB logró más de Bs 130 millones por comercialización de litio y potasio (27/04/2022). *Ahora EL Pueblo*. <https://www.ahoraelpueblo.bo/ylob-logro-mas-de-bs-130-millones-por-comercializacion-de-litio-y-potasio/>
- 19. Advierten que ingresos del litio no alcanzan para cubrir créditos de BCB (21/02/2022). *Página Siete*. <https://www.paginasiete.bo/economia/2022/2/21/advierten-que-ingresos-del-litio-no-alcanzan-para-cubrir-creditos-de-bcb-323967.html>
- 20. Óp. cit. Nota 12. YLB (2022).
- 21. YLB(2021). *Audiencia de Rendición Pública de Cuentas-2021*. <https://www.mhe.gob.bo/wp-content/uploads/2022/01/PPT-RPCFINAL-YLB-20.01.2022-C.pdf>
- 22. La industrialización del litio boliviano es uno de los pilares fundamentales del plan de reactivación económica (13/06/2021). *Infodiez*. <https://www.infodiez.com/la-industrializacion-del-litio-boliviano-es-uno-de-los-pilares-fundamentales-del-plan-de-reactivacion-economica/>
- 23. Óp. cit. Nota 12. YLB (2022).
- 24. Óp. cit. Nota 21. YLB (2021).
- 25. Óp. cit. Notas 12 y 21. YLB (2022).
- 26. Óp. cit. Nota 9. Obaya, M. (2019).
- 27. Óp. cit. Nota 9; Fornillo, B. (coord.) (2019). Anexo 1. Ariel Slipak y Martín Kazimierski.
- 28. Grant, A. (2020). From Catamarca to Qinghai: The Commercial Scale Direct Lithium Extraction Operations. *Jade Cove Partners*. <https://www.jadecove.com/research/fromcatamarcatqinghai#:~:text=They%20are%20proposing%20a%20variety%20of%20different%20kinds,extraction%2C%20ion%20exchange%2C%20membranes%2C%20adsorption%2C%20and%20electrochemical%20processes>
- 29. Crider, J. (13/07/2021). Standard Lithium Explains Its Direct Lithium Extraction Process. *Clean Technica*. <https://cleantechnica.com/2021/07/13/standard-lithium-explains-its-direct-lithium-extraction-process/>
- 30. Óp. cit. Nota 28. Grant, A. (2020).
- 31. *Ídem*.
- 32. Dossier: Dos contratos poco claros de CAMC. (21/07/2016). *Página Siete*. <https://www.paginasiete.bo/especial01/2016/7/21/dossier-contratos-poco-claros-camc-103461.html>
Ortiz, P. (07/02/2016). CAMC pide que se investigue sus contratos con el Estado. *El Deber*. https://eldeber.com.bo/bolivia/camc-pide-que-se-investigue-sus-contratos-con-el-estado_98540
- 33. La adsorción es un fenómeno por el cual un sólido o un líquido atrae y retiene en su superficie gases, vapores, líquidos o cuerpos disueltos.
- 34. Condorchem Envitech (2021). *Extracción, cristalización y procesos de obtención de compuestos de Litio*. <https://condorchem.com/es/blog/extraccion-cristalizacion-procesos-obtencion-compuestos-litio/>
- 35. UDUAL (30/11/2021). *La experiencia de México y Bolivia en la cadena global del litio. Condiciones y retos*. <https://www.udual.org/principal/?s=litio>
- 36. De Química.com (2021). *Litio (Li)*. <https://dequimica.com/teoria/litio>
Wikipedia (20/04/2021). *Anexo: Abundancia de los elementos químicos en la corteza terrestre*. https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Abundancia_de_los_elementos_qu%C3%ADmicos_en_la_corteza_terrestre
- 37. Óp. cit. Nota 34. Condorchem Envitech (2021).
- 38. Tapia Cervantes, P. (20/10/2021). México invertirá 55.2 mdp para la exploración de litio; busca saber cuánto hay. *ForbesMéxico*. <https://www.forbes.com.mx/economia-mexico-invertira-55-2-mdp-para-la-exploracion-de-litio/>
- 39. Gobierno de México-Servicio Geológico Mexicano (22/03/2017). *Factores que controlan un yacimiento*. https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Factores-control-yacimiento.html

40. Óp. cit. Nota 35. UDUAL (30/11/2021)
41. La Razón/Clarín (30/03/2022). Herwing Borja. *Foro Virtual: Oportunidades y desafíos de la industria del litio*. <https://www.youtube.com/watch?v=D1aypg4sII0>
42. MiningPress (14/12/2010). *Proyecto de litio de Uyuni: análisis de los avances recientes*. <https://miningpress.com/nota/53231/litio-en-bolivia-historia-y-analisis-de-la-mayor-reserva-mundial>
Mendoza Weber, C. (2011). ¿A quién favorecerá el "oro blanco" del futuro? *Deutsche Welle*. <https://learn.german.dw.com/es/extracci%C3%B3n-de-litio-en-bolivia-a-qui%C3%A9n-favorecer%C3%A1-el-oro-del-futuro/a-14981610>
Patentes orureñas para industrialización del litio (09/03/2018). *La Patria*. <https://impresa.lapatria.bo/noticia/313896>
UTO patenta equipos para cristalizar litio (17/04/2022). *Correo del Sur*. https://correodelsur.com/economia/20220417_uto-patenta-equipos-para-cristalizar-litio.html
43. Tecnología EDL acelerará industrialización de litio (06/01/2022). *El Diario*. <https://www.eldiario.net/portal/2022/01/06/tecnologia-edl-acelerara-industrializacion-de-litio/>
44. Zuleta, J. C. (01/10/2021). ¿El litio boliviano en una nueva encrucijada? *El Diario*. <https://www.eldiario.net/portal/2021/10/01/el-litio-boliviano-en-una-nueva-encrucijada/>
45. Ídem
46. Ídem
47. Espinoza Morales, J. (12/05/2021). Viraje en proyecto de litio. Sus efectos. *El Diario*. <https://www.eldiario.net/portal/2021/05/12/viraje-en-proyecto-de-litio-sus-efectos/>
48. Litio: resultados de las pruebas EDL en los salares de Bolivia se conocerán en mayo (24/03/2022). *Los Tiempos*. <https://www.lostiempos.com/actualidad/economia/20220324/litio-resultados-pruebas-edl-salares-bolivia-se-conoceran-mayo>
49. Ramírez, Y. (16/10/2021). YLB prevé que la industrialización del litio comience en el 2023. *Rumbo Minero*. <https://www.rumbominero.com/bolivia/ylob-preve-que-la-industrializacion-del-litio-comience-en-el-2023/>
50. Óp. cit. Nota 43. *El Diario* (06/01/2022).
51. Óp. cit. Nota 21. YLB (2021).
52. Sánchez Molina (17/12/2021). EnergyX Lithium Processing Laboratory Launches In Bolivia – South American PV Magazine. *JornalTime*. <https://journaltime.org/finance/etf/global-x-lithium-battery-tech/energyx-lithium-processing-laboratory-launches-in-bolivia-south-american-pv-magazine/>
53. Óp. cit. Nota 28. Grant, A. (2020).
54. Óp. cit. Nota 41. La Razón/Clarín (2022). Daniel Jiménez.
55. S&P Global Platts (2021). *List of projects considered in the lithium roadmap*. https://www.spglobal.com/platts/PlattsContent/_assets/_files/downloads/20220124_projects_lithium_deficit_roadmap.jpg
56. YLB (2018). *Memoria Institucional 2018*, p. 43. https://www.ylb.gob.bo/resources/memorias/memoria_ylb_2018.pdf
57. Espinoza Morales, J. (20/04/2022). Incierto proyecto de litio. *El Diario*. <https://www.eldiario.net/portal/2021/08/11/incierto-proyecto-de-litio/>
58. Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos-GNRE (2012). *Memoria Institucional 2012*. <http://sigec.ylb.gob.bo/download1/memorias/Memoria-GNRE-2012.pdf>
59. United States Geological Survey-USGS (2021). *Mineral Commodity Summaries*. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-lithium.pdf>
60. Óp. cit. Nota 35. UDUAL (30/11/2021).
61. Normas internacionales de certificación: 1) y 2). Solamente la primera es reconocida por las bolsas de valores y los inversores privados 3).
1) El CRIRSCO (Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards) se formó con el auspicio del Council of Mining and Metallurgical Institutes (CMMI). <http://crirSCO.com/welcome.asp>
2) El United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 (UNFC-2009) es parte de la Clasificación Marco de Recursos de las Naciones Unidas (UNFC). <https://unstats.un.org/unsd/classifications/Family/Detail/1040>
3) Guías Internacionales en la Estimación de Recursos y Reservas Mineras. (02/06/2015). Juan Pablo González. Comisión Calificadora de Competencias en Recursos y Reservas Mineras. [https://el-observador-minero7.webnode.es/_files/200000241-be4ffbf4ce/2%20-%20Gu%C3%ADas%20Internacionales%20en%20la%20Est%20de%20R%20y%20R%20-%20-%20JP%20Gonzalez%20-%20Comisi%C3%B3n%20Minera%20\(1\).pdf](https://el-observador-minero7.webnode.es/_files/200000241-be4ffbf4ce/2%20-%20Gu%C3%ADas%20Internacionales%20en%20la%20Est%20de%20R%20y%20R%20-%20-%20JP%20Gonzalez%20-%20Comisi%C3%B3n%20Minera%20(1).pdf)
62. Óp. cit. Nota 43. *El Diario* (06/01/2022).

63. Centro de Información sobre Empresas y Derechos Humanos (19/06/2021). Logística automotriz. Chile: Alianza Responsable de Litio de empresas alemanas tiene como objetivo promover el desarrollo sostenible, contribuir a la reducción de impactos negativos y fortalecer los derechos humanos. <https://www.business-humanrights.org/es/%C3%BAltimas-noticias/chile-responsible-lithium-partnership-aims-to-promote-sustainable-development-contribute-to-the-reduction-of-negative-impacts-and-strengthen-human-rights/>
64. El secretario de Energía dice que Estados Unidos quiere una minería de litio “responsable” (11/06/2021). *KDWN Radio*. https://kdw.com/2021/06/11/energy-secretary-says-us-wants-responsible-lithium-mining/?utm_medium=social&utm_source=twitter_KDWNLasVegas
65. Óp. cit. Nota 28. Grant, A. (2020).
66. Ministerio de Hidrocarburos y Energía-Bolivia (13/04/2022). *Foro Virtual Perspectivas del Litio desde América Latina*. <https://litio.mhe.gob.bo/>
67. Marchegiani, P., Höglund, J. y Gómez, L. (2019). *Extracción de litio en Argentina: Un estudio de caso sobre los impactos sociales y ambientales*. FARN-Fundación Ambiente y Recursos Naturales. https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2019/05/DOC_LITIO_ESPA%C3%91OL.pdf
68. Minería Chilena (03/08/2021). *Litio: se crea grupo de trabajo chileno-alemán para promover extracción responsable*. <https://www.mch.cl/2021/08/03/litio-se-crea-grupo-de-trabajo-chileno-aleman-para-promover-extraccion-responsable/>
69. Attwood, J. (02/09/2021). Albemarle busca certificación de minería responsable en Chile. *Bloomberg Línea*. <https://www.bloomberglinea.com/2021/09/03/albemarle-busca-certificacion-de-mineria-responsable-en-chile/>
70. Initiative for Responsible Mining Assurance-IRMA (2021). *Estándar para la Minería Responsable*. <https://responsiblemining.net/what-we-do/standard/>
71. GRI (Global Reporting Initiative). <https://www.globalreporting.org/>
72. SQM (2019). *Reporte de Sustentabilidad 2019*. <https://www.sqm.com/wp-content/uploads/2020/07/Reporte-2019-SQM-ESP.pdf>
73. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) (2013). *Declaración de Lima. 15º período de sesiones de la Conferencia General de la ONUDI*. https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-10/Lima_Declaration_SP_v.5.pdf
74. Óp. cit. Nota 41. La Razón/Clarín (2022). Pablo Bereciartua.
75. Tito, H. R. (25/11/2022). *Top 10 EV Battery Recycling Companies You Should Know*. RX MECHANIC. <https://rxmechanic.com/ev-battery-recycling-companies/>
76. ARS TECHNICA (19/04/2022). Shel Evergreen. *Lithium costs a lot of money—so why aren't we recycling lithium batteries?* <https://arstechnica.com/science/2022/04/lithium-costs-a-lot-of-money-so-why-arent-we-recycling-lithium-batteries/>
77. Liu, P. y Ren, D. (19/03/2021). *Los fabricantes de vehículos eléctricos de China incorporarán el reciclaje de baterías mientras Beijing busca abordar el creciente desperdicio*. South China Morning Post <https://www.scmp.com/business/china-business/article/3126037/chinas-electric-vehicle-makers-incorporate-battery>
78. Grepow Blog (26/11/2019). *Recycling used lithium batteries is a big business in China*. <https://www.grepow.com/blog/recycling-used-lithium-batteries-opportunities-china/>
79. ReCell. *Advanced battery recycling* (2022). <https://recellcenter.org/>
80. Pickrell, E. (06/12/2021). *Developing Strong EV Supply Chains Will Mean Taking Environmental Mining Seriously*. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/uenergy/2021/12/06/developing-strong-ev-supply-chains-will-mean-taking-environmental-mining-seriously/?sh=78c0144e9a6f>
81. Óp. cit. Nota 78. Grepow Blog (2021).
82. SOLONG Zhejiang Aolong Electrical Source Co. (2016). *La tasa de recuperación de material de la batería de energía del vehículo eléctrico aumentó al 80%*. <https://es.zsolong.com/news/ditch-the-threaded-rod-in-your-reprap-3d-printer-and-upgrade-to-a-lead-screw-z-axis.html>
83. Fernández Muerza, A. (21/11/2007). Ignacio Duque, Plataforma Europea de Reciclaje (ERP). *Consumer*. <https://www.consumer.es/medio-ambiente/ignacio-duque-plataforma-europea-de-reciclaje-erp.html>
84. European Recycling Platform (ERP) (10/06/2021). *España recuperó en 2020 más de 2.000 toneladas de materiales valorizables procedentes de pilas y baterías en desuso*. <https://erp-recycling.org/es-es/noticias-y-eventos/2021/06/materiales-recuperados-pilas-baterias/>
85. Óp. cit. Nota 76. ARS TECHNICA (2022).
86. European Recycling Platform (ERP) (10/06/2021). *España se une a AEDIVE para impulsar el reciclaje de baterías y RAEE en toda la cadena de valor de la movilidad eléctrica*. <https://erp-recycling.org/es-es/noticias-y-eventos/2021/09/erp-aedive-reciclaje-baterias-raee-movilidad-electrica/>
87. Martinelly, E. (14/03/2011). *Litio ¿Por qué reciclarlo es tan importante como producirlo?* *Petropress* 23. <https://petropress.wordpress.com/category/petropress-23/>

88. Ídem
89. Mercedes-Benz recuperará el 96% de las baterías de sus coches eléctricos durante el reciclaje (16/03/2022). *Hipertextual*. <https://hipertextual.com/2022/03/mercedes-benz-reciclaje-96-baterias-coches-electricos>
90. World Energy Trade (08/05/2021). Blomberg. *La AIE dice que los gobiernos deberían considerar la posibilidad de almacenar metales para baterías*. <https://www.worldenergytrade.com/metales/mineria/la-aie-dice-que-los-gobiernos-deberian-considerar-la-posibilidad-de-almacenar-metales-para-baterias>
91. Óp. cit. Nota 41. La Razón/Clarín (2022). Daniel Jiménez.
92. SPIEGEL Internacional (01/09/2010). *Estudio militar advierte de una crisis petrolera potencialmente drástica*. <https://www.spiegel.de/international/germany/peak-oil-and-the-german-government-military-study-warns-of-a-potentially-drastic-oil-crisis-a-715138.html>
93. Óp. cit. Nota 41. La Razón/Clarín (2022). Daniel Jiménez.
94. Ídem.
95. IWLiME 2021: 8th International Workshop on Lithium, Industrial Minerals and Energy (08/11/2021). Petavratzi, E., Huches, A. y J. Ford - British Geological Survey, Gran Bretaña. *Towards sustainable and responsible lithium supply: methods, tools and key findings*. Congreso Virtual del 8 al 10 de noviembre de 2021. <https://cba.ucb.edu.bo/congreso-litio-2021/>
96. Ejeian, M., Grant, A., Kyong Shon, H. y Razmjou, A. (15/12/2021). ¿Es agua la salmuera de litio? *Revista Desalination*, tomo 158. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001191642100240X>
97. Ídem.
98. Alcoba, N. (07/01/2022). *A race for lithium is sparking fears of water shortages in northern Argentina*. Climate Home News. <https://www.climatechangenews.com/2022/01/07/race-lithium-sparking-fears-water-shortages-northern-argentina/>
99. Óp. cit. Nota 5. Jorge Molina-Carpio (2007).
100. Corresponsables (2021). *Anuario Corresponsables 2018-2019*. Buenas Prácticas-Gran Empresa. SQM, n.º 64, p. 218. <http://publicaciones.corresponsables.com/publication/a3a9ef23/mobile/?p=218>
101. Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE)-COMIBOL (2012). *Memoria Institucional 2012*. <http://sigec.ylb.gob.bo/download1/memorias/Memoria-GNRE-2012.pdf>
102. Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE)-COMIBOL (2016). *Memoria Institucional 2016*. <http://sigec.ylb.gob.bo/download1/memorias/Memoria-GNRE-2016.pdf>
103. Óp. cit. Nota 56. YLB. *Memoria Institucional 2018*.
104. Estado Plurinacional de Bolivia (1995). *Reglamento de Prevención y Calidad Ambiental-RPCA*. https://observatoriop10.cepal.org/sites/default/files/documents/reglamento_de_preencion_y_control_ambiental_de_bolivia.pdf
105. Óp. cit. Nota 95. IWLiME 2021: 8th International Workshop on Lithium, Industrial Minerals and Energy (2021).
106. Gaviria, S., Fierro, J., Quintero, E., Guío, C., Barreto, L. y Huerta, A. S. (2020). *Evaluación Independiente de los Estudios de Evaluación de Impacto Ambiental-Analítico Integral (EEIA-AI) del Proyecto Integral de la Salmuera del Salar de Uyuni-Planta Modular y Planta Industrial de Cloruro de Potasio y del Proyecto de Desarrollo Integral de las Salmueras del Salar de Uyuni-Planta Industrial de Carbonato de Litio*. Empresa Consultora Geoambiental Terrae Bogotá, CO.
107. Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE)-COMIBOL (2015). *Memoria Institucional 2015*. <http://sigec.ylb.gob.bo/download1/memorias/Memoria-GNRE-2015.pdf>
108. Estado Plurinacional de Bolivia (1995). *Reglamento de Prevención y Calidad Ambiental*. https://observatoriop10.cepal.org/sites/default/files/documents/reglamento_de_preencion_y_control_ambiental_de_bolivia.pdf
Estado Plurinacional de Bolivia, Ministerio de Desarrollo Rural, Agropecuario y Medio Ambiente-Viceministerio de Biodiversidad, Recursos Forestales y Medio Ambiente (2007). *Manual de capacitación en Evaluación Ambiental Estratégica-Bolivia*. <https://www.commissiemer.nl/docs/cms/Manual%20de%20capacitaci%C3%B3n%20en%20evaluaci%C3%B3n%20ambiental%20estrat%C3%A9gica..pdf>
109. ECOVIANA S.R.L. (2011). *Informe Preliminar: Elaboración de la Evaluación Ambiental Estratégica en la Región del Sudoeste Potosino (primera fase)*. <http://snia.mmaya.gob.bo/web/infoCT/InfoGral/SOPotosi/EAP.informePreliminar.pdf>
110. Óp. cit. Nota 5. Jorge Molina-Carpio (2007).
111. Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas-UDAPE (s/f). *UDAPE: Mapas de vulnerabilidad poblacional de Bolivia*. Ministerio de Economía y Finanzas Públicas. <https://www.udape.gob.bo/VULNERABILIDAD/AutoPlay/Docs/Visualizador/IVP/aIVP.html>
112. Óp. cit. Nota 3. CEDIB (2021).
113. Minería analizará modificaciones a ley para hacerla más atractiva (25/02/2022). *El Diario*. <https://www.eldiario.net/portal/2022/02/25/mineria-analizara-modificaciones-a-ley-para-hacerla-mas-atractiva/>
114. Óp. cit. Nota 47. El Diario (12/05/2021), Jorge Espinoza Morales.