



**Universidad del Desarrollo**  
Facultad de Ingeniería

**EL LITIO EN CHILE. ¿PROBLEMAS PARA SU  
PRODUCCIÓN? PERCEPCIONES QUE  
INVOLUCRAN AL RECURSO ESTRATÉGICO Y AL  
BIEN COMÚN**

CAMILA GRACE ROMERO STEVENS

PROFESOR(ES) GUÍA: HÉCTOR VALDÉS GONZÁLEZ, PhD

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE  
MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS

SANTIAGO – CHILE  
2024



**Universidad del Desarrollo**  
Facultad de Ingeniería

# EL LITIO EN CHILE. ¿PROBLEMAS PARA SU PRODUCCIÓN? PERCEPCIONES QUE INVOLUCRAN AL RECURSO ESTRATÉGICO Y AL BIEN COMÚN

POR: CAMILA GRACE ROMERO STEVENS

Proyecto de Grado presentado a la Comisión integrada por los profesores:

**PROFESORES GUIA:** Héctor Valdés-González, PhD

**PROFESOR INTEGRANTE 1:** José Luis Salazar, PhD

**PROFESOR INTEGRANTE 2:** Lorenzo Reyes-Bozo, PhD

Para completar las exigencias del Grado de Magíster en Ingeniería Industrial y de Sistemas

Diciembre, 2024

Santiago, Chile

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Por medio de la presente, declaro que el trabajo titulado: **EL LITIO EN CHILE. ¿PROBLEMAS PARA SU PRODUCCIÓN? PERCEPCIONES QUE INVOLUCRAN AL RECURSO ESTRATÉGICO Y AL BIEN COMÚN**, que presento a la Universidad del Desarrollo de Chile, es de mi autoría (o co-autoría) y no ha sido publicado previamente, ni está siendo considerado para publicación bajo otra filiación. En igual sentido, declaro que el trabajo de tesis y su contenido, son originales y que todos los datos y referencias a trabajos ya publicados con anterioridad han sido debidamente identificados, referenciados o citados en el documento, y que estas citas han sido incluidas en las referencias bibliográficas. Afirmo, asimismo, que los materiales presentados no se encuentran protegidos por derechos de autor; y en caso de que así lo estuvieran, me hago responsable de cualquier litigio o reclamo relacionado con la violación de derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad a la Universidad del Desarrollo de Chile.

Finalmente, me comprometo a no someter este trabajo (o parte de este), a consideración en ninguna revista o congreso para publicación sin contar con la aprobación y haber pasado el debido proceso de revisión en Universidad del Desarrollo. En caso de que un artículo sea aprobado para su publicación, autorizo a la Universidad del Desarrollo a incluir dicho artículo en sus revistas, y a reproducirlo, editarlo, distribuirlo, exhibirlo y comunicarlo en el país y en el extranjero, por medios impresos, electrónicos, Internet o cualquier otro medio, para propósitos científicos y sin fines de lucro.



CAMILA GRACE ROMERO STEVENS

Firma

*Producción académica respecto de este proyecto de grado:*

**Conferencias:**

- **Camila Romero-Stevens** y Héctor Valdés-González (2023). El litio en Chile. ¿Problemas para su producción? percepciones que involucran al recurso estratégico y al bien común. Congreso Internacional de Desarrollo Sustentable y Energías Renovables. México. 6, 7 y 8 de noviembre de 2023.

**Revistas 2023:**

- **Stevens, C. G. R., & Valdés-González, H.** (2023). Lithium production issues in Chile: Perceptions involving the strategic resource and the common good. *Renewable energy, biomass & sustainability*, 5(2), 24-31. <https://doi.org/10.56845/rebs.v5i2.85>

*Dedicado con mucho amor mis padres y abuelos  
quienes estuvieron conmigo en todo este proceso.*

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia por estar a mi lado durante todo este proceso, el apoyo incondicional que me brindaron, sus palabras de ánimo y su ejemplo de fortaleza han sido fundamentales para que hoy pueda celebrar este logro, muchas gracias por guiarme, por enseñarme que no hay límites para lo que puedo alcanzar si me lo propongo, y por impulsarme constantemente a ser una mejor persona.

Agradezco especialmente a mis padres y abuelos, quienes estuvieron presentes en cada día de trabajo de este libro, recordándome la importancia de hacer todo con pasión y dedicación. Sus valores, su sabiduría y sus palabras de ánimo me han acompañado en cada etapa de este camino, y este logro también es el reflejo de lo que significan para mí en mi vida.

Quiero también expresar mi profundo agradecimiento a mi pareja, por brindarme apoyo en cada momento en que lo necesité, por estar dispuesto a ayudarme siempre y por acompañarme siempre en este proceso.

A mis profesores de la universidad, mi más sincero agradecimiento por su dedicación y por ser excelentes guías, gracias por ofrecerme una base sólida de conocimiento, por su disposición a enseñar con pasión y por resolver cada duda, su compromiso con el aprendizaje y su apoyo han sido cruciales en mi formación académica.

En especial, quiero agradecer a mi profesor guía, quien no solo ha sido un mentor, sino también un modelo a seguir para mí, gracias por estar atento a cada detalle de este proceso, por compartir su experiencia y por motivarme a alcanzar metas que jamás imaginé que alcanzaría. Trabajar en este libro junto a él, ha marcado una diferencia significativa en el desarrollo de mi carrera.

Finalmente, quiero agradecer a la universidad, que me brindó no solo una excelente formación académica, sino también el espacio para poder crecer tanto como persona y como profesional.

A todos ustedes, les doy las gracias desde lo más profundo de mi corazón y espero que este libro, que está hecho con mucho esfuerzo y dedicación sea el primero de muchos más, nuevamente gracias.

# EL LITIO EN CHILE. ¿PROBLEMAS PARA SU PRODUCCIÓN? PERCEPCIONES QUE INVOLUCRAN AL RECURSO ESTRATÉGICO Y AL BIEN COMÚN

Camila Grace Romero Stevens

Bajo la supervisión del Profesor Héctor Valdés González, PhD, en la Universidad del Desarrollo de Chile

## *Resumen*

Este trabajo presenta un análisis de percepciones que provoca la acelerada demanda del litio y su creciente utilización debido a avances tecnológicos, y cómo dicha demanda coloca a las reservas del norte chileno, en los salares, en el centro de debates que involucran formas de explotación y comercialización. El objetivo de esta investigación es analizar las percepciones de profesionales expertos en la producción del litio, para la determinación de las barreras que han impedido que Chile lidere la producción de dicho mineral. Para lograrlo se propone una aproximación cualitativa bajo un paradigma interpretativo y con base en 10 entrevistas semiestructuradas a profesionales y ejecutivos del ámbito minero para la determinación de cómo y porque se ha retrasado la explotación del litio tan demandado y necesario para el desarrollo tecnológico mundial. Los datos revelan que las diversas posturas predominantes tienden a neutralizarse entre sí. Por un lado, se encuentra el modelo económico extractivista que busca fortalecer y hacer rentable la oportunidad nacional, considerando a la minería como un recurso estratégico para la industria. Por otro lado, existen enfoques político ambientalistas que buscan condicionar el proceso a regulaciones más estrictas o a consultas territoriales enfocadas en el bien común, lo que ralentiza el avance de la extracción en términos políticos. En síntesis, las diferentes concepciones en torno al litio son una representación de modelos ideológicos en pugna, donde el debate económico y el político ambiental no han terminado de definir lo que es bueno para nuestro país, y requieren revisarse para no perder una oportunidad estratégica relevante.

Palabras clave: Litio; Recurso estratégico; Desarrollo tecnológico; Bien común; Salares y territorios

## HIGHLIGHTS

# EL LITIO EN CHILE. ¿PROBLEMAS PARA SU PRODUCCIÓN? PERCEPCIONES QUE INVOLUCRAN AL RECURSO ESTRATÉGICO Y AL BIEN COMÚN

Camila Grace Romero Stevens

- Propone modelo conceptual de priorización y planificación junto variables críticas
- Considera opiniones de 10 personajes claves en la industria
- Entrevistas semi estructuradas y considerando una muestra por juicio de expertos
- Barreras políticas y ambientales, obstáculos para liderar la producción de litio
- Implementar políticas sostenibles y mejorar la gestión ambiental de producción

# ÍNDICE GENERAL

## Tabla de contenido

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
1.1	BARRERAS HISTÓRICAS Y ESTRUCTURA PRODUCTIVA .....	9
1.2	BREVE DISCUSIÓN DE LA LITERATURA .....	10
1.3	CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO .....	14
1.4	OBJETIVO GENERAL .....	15
1.4.1	<i>Objetivos específicos</i> .....	15
1.5	PROPUESTA METODOLÓGICA .....	15
1.6	ORGANIZACIÓN Y PRESENTACIÓN DE ESTE TRABAJO .....	16
<b>2</b>	<b>INFORMACIÓN Y RESULTADOS .....</b>	<b>18</b>
2.1	PROCEDIMIENTO DE RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS.....	18
2.2	PROCESO DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN .....	20
2.3	LOS DATOS RECOGIDOS: .....	20
2.4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS .....	21
2.5	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	24
<b>3</b>	<b>ARTÍCULO .....</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>35</b>
4.1	PROPUESTA PARA TRABAJOS FUTUROS.....	36
<b>5</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>ANEXO: REPORTE DE PLAGIO .....</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>ARTÍCULO PUBLICADO EN LA REVISTA.....</b>	<b>41</b>

# 1 INTRODUCCIÓN

La importancia de la producción de litio desde Chile para el mundo es indiscutible. Chile, como uno de los países con mayores reservas de litio a nivel global, desempeña un rol estratégico en la transición energética mundial. Este mineral, fundamental en la fabricación de baterías para vehículos eléctricos y almacenamiento de energía renovable, es clave para combatir la crisis climática. Su extracción desde los salares chilenos no solo representa una ventaja competitiva para el país, sino también una oportunidad para consolidarse como líder en la economía verde. Sin embargo, aprovechar este potencial requiere superar desafíos estructurales y estratégicos que permitan transformar las reservas en un motor de desarrollo económico y tecnológico sostenible.

Aun con ventajas claras, se han observado problemáticas en la producción de litio en Chile. A pesar de su inmensa riqueza en recursos, Chile enfrenta barreras significativas para alcanzar una producción masiva de litio. Problemas de gobernanza y regulación, conflictos por el uso del agua en zonas de alta fragilidad ecológica y tensiones sociales con comunidades locales dificultan la expansión de la industria. Asimismo, la falta de una política industrial clara y la dependencia de tecnologías externas limitan la competitividad chilena frente a otros productores. Estas problemáticas complejas requieren un análisis integral que aborde no solo las cuestiones técnicas y económicas, sino también los desafíos políticos, sociales y ambientales que frenan el liderazgo chileno en el mercado global del litio.

## 1.1 Barreras históricas y estructura productiva

Dado este contexto, la importancia de la producción de litio desde Chile para el mundo y las problemáticas que tenemos en la producción de litio en Chile es posible efectuar el siguiente cuestionamiento investigativo: ¿Cuáles son las variables que explican las barreras que impiden la producción masiva de litio en Chile?

En efecto, la principal motivación para realizar esta investigación ha sido que el litio en su calidad de mineral estratégico, y su relativa escases puede ser considerado como un mineral insustituible o difícilmente sustituible, además de estar desigualmente distribuido. Por un lado, la demanda creciente en la confección de baterías para distintos artefactos tecnológicos y de la industria automotriz, puede transformarlo en mineral escaso en tiempo acotado, pero

se debe considerar que Chile posee las mayores reservas globales de este mineral, lo que necesariamente invita a la generación de un plan que aborde exitosamente las barreras productivas.

## **1.2 Breve discusión de la literatura**

La acelerada demanda de los recursos ha suscitado en Chile y el mundo no pocos debates sobre las formas del aprovechamiento del recurso litio, con posiciones que van desde defender la soberanía del recurso (mirada política y otras) y su potencial para industrializarlo (mirada extractiva) y convertirlo en un eje de nuevos desarrollos en el país para nuevas tecnologías. Inclusive solo para utilizarlo directamente para la exportación como materia prima, aprovechando las ganancias rápidas que brinda, y las necesidades mundiales ya mencionadas (Argento & Zícari, 2017). Asimismo, los temas ambientales y las disputas territoriales son relevantes para el litio, las preguntas sobre los roles asignados al capital transnacional y los tipos de políticas públicas que podrían implementarse, los diferentes tipos de actores en el conflicto como quedó de manifiesto en la política estratégica del litio comunicada en 2023 (Estrategia Nacional del Litio, 2023).

En todos los casos, estas dificultades implican la determinación de qué tipo de modelo de crecimiento económico adoptar, cómo distribuir el exceso de ganancias que generará el litio, la investigación científica, la estructura del mercado mundial y el tipo de papel que jugará el litio (Agosin, 2023).

### ***Litio en Chile: Antecedentes***

El litio, al convertirse en un material clave en la revolución energética global, despertó interés en la agenda política del país y sugirió que debería ser utilizado como una puerta de entrada al uso sostenible de los recursos naturales, como consecuencia de la evolución de la política pública de litio en Chile, desde el inicio de la producción en los 80 y el posterior salto de producción en los 90. En este sentido, los principales hitos de la transformación se produjeron en la gobernanza nacional, dividiendo la investigación sobre el litio en cuatro etapas o períodos (Poveda, 2020):

- i) Etapa 1. Gobernanza jerárquica: Recurso estratégico (1970-1983)
- ii) Etapa 2. Gobernanza de mercado: Privatización y salto productivo (1984-2004)
- iii) Etapa 3. Gobernanza jerárquica: Hallazgo del litio (2005-2013)
- iv) Etapa 4. Gobernanza jerárquica: Auge del litio (2014-2019)

Según Agosin (2023), es evidente que la economía de Chile, después de experimentar un crecimiento a tasas "asiáticas" entre 1987 y 1998, ha comenzado a estancarse. De hecho, la tasa de crecimiento entre 2013 y 2019 fue apenas del 2,0%, lo que apenas supera la tasa de crecimiento de la población, que ha sido aproximadamente del 1,5% debido a la inmigración. Para reactivar el crecimiento, es crucial diversificar la producción y, dado que la economía chilena es pequeña y abierta, esto implica diversificar las exportaciones. En este sentido se han propuesto políticas que se centran en el desarrollo del hidrógeno verde, en lo cual Chile posee una clara ventaja comparativa potencial. Para lograr el éxito en este ámbito, el Estado debe tener la capacidad de coordinar a los diferentes actores públicos y privados para que contribuyan. Además, aprovechar los grandes depósitos de litio del país y aplicar una política decidida de transición hacia la minería verde, utilizando en parte el hidrógeno verde para reemplazar los combustibles basados en hidrocarburos, puede contribuir a que Chile revitalice su crecimiento en el sector exportador y no pierda sus ventajas comparativas en la industria minera.

### ***Método de extracción: Teoría y definiciones***

La extracción de litio de la salmuera a través de la evaporación solar es un proceso lento que consume grandes cantidades de agua y genera una gran cantidad de residuos, debido a esto, se han propuesto nuevos métodos de extracción, como el de extracción directa de litio, que va desde la extracción de litio mediante el bombeo de iones en celdas electroquímicas entrópicas de baterías de iones de litio de tipo catódico con electrodos de intercalación de  $\text{Li}^+$  (Calvo, 2023).

El litio se encuentra en salmueras y minerales, y la extracción para uso comercial se puede realizar de varias maneras. La extracción de salmuera es el método más económico y común de producción de minerales. Existen varios métodos para extraer litio de las salmueras, dependiendo de los niveles de otros elementos en el depósito que se extrae. El carbonato de

litio y el cloruro de litio se extraen de la salmuera para obtener hidróxido de litio y litio metálico. Para extraer la salmuera se utiliza una bomba para extraerla del piercing, luego se coloca en una piscina similar a un fregadero y se deja evaporar el agua, quedando la sal de mesa (cloruro de sodio) en forma sólida. Estos charcos de tonalidades azul y turquesa son característicos de la minería del litio y se encuentran en la región andina del norte de Argentina, Chile y Bolivia. Posteriormente, es necesario separar los diversos elementos, incluidos el potasio, el magnesio, la cal y el sulfato, para lo cual se utiliza la cal. Luego de la separación y reducción, se obtiene el litio líquido y se inicia la extracción por solventes en la planta de procesamiento con el objetivo de obtener litio con una pureza del 97%. Durante este proceso, se agrega carbonato de sodio a una temperatura entre 60° y 80° para extraer el carbonato de sodio remanente en el proceso, dando como resultado el producto final, carbonato de litio (Aguilar & Zeller, 2012).

### ***Marco regulatorio: Recursos estratégicos***

En Chile, la extracción de litio de los salares está sujeta a regulaciones específicas, debido a este marco normativo, desde la década de 1980, el Estado ha suscrito convenios con empresas privadas, las cuales corresponden a Albemarle y SQM, en los que se han establecido lineamientos de desarrollo, estipulando volúmenes territoriales y de extracción de salmuera, características de arriendo e impuestos de actividad (Obaya & Pascuini, 2020).

### ***Economía del litio y perspectivas***

Diversos trabajos como en Nacif (2018) muestran que China ha emergido como un actor destacado en la escena económica global en los últimos tiempos. Su relación con América Latina presenta tanto oportunidades concretas, como la demanda de recursos naturales y energía, lo que genera ingresos en divisas, pero también conlleva amenazas. Un fenómeno conocido como reprimarización ha surgido, desplazando la producción y exportación manufacturera y reproduciendo una dinámica de centro-periferia.

El análisis de este fenómeno se vuelve relevante en el caso del litio, ya que el triángulo conformado por los salares ricos en este mineral en Argentina, Bolivia y Chile se ha convertido en una fuente crucial para la transición energética. Empresas chinas, tanto estatales como privadas, han invertido en los tres países para asegurarse las reservas de litio.

Además, China es el principal demandante de litio, lo que le otorga un papel clave en toda la cadena de comercialización (Barberón, 2022; Fornillo & Gamba, 2019).

Aunque los tres países en estudio están progresando en la exportación de carbonato y en el caso de Chile también hidróxido de litio, hasta el momento los avances en la agregación de valor en la cadena son fragmentarios y limitados (Slipak & Urrutia, 2019).

### ***Comunidades y sociedad civil***

La entrada de la minería en las comunidades en las zonas sur y norte del Salar de Atacama ha provocado un impacto social que ha cambiado el ritmo de vida de los habitantes, tanto a través de las propias empresas extractivas como de quienes las atienden, generando una rotación masiva de trabajadores que a su vez ha significado la masculinización de la región (Azocar-Duarte, 2022).

### ***¿Cómo se hace en otros lares?***

En el triángulo del litio formado por Argentina, Bolivia y Chile se encuentra el 80% del litio mundial, un recurso estratégico altamente rentable y de fácil extracción. Estos países ven en el litio una oportunidad para impulsar la equiparación tecnológica y el desarrollo endógeno. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de los gobiernos progresistas de la región, persiste el enfoque neoextractivista que conlleva una sobreexplotación de los recursos naturales y una privatización de la economía. El litio representa un potencial para un desarrollo diferente, más allá del aumento del producto bruto nacional buscando la sostenibilidad ambiental y la equiparación con las sociedades modernas en términos de consumo (Fornillo, 2018).

### ***Miradas de la realidad chilena***

La minería de litio en los Salares de Atacama se basa en un proceso de despojo de intereses comunes. Tras el encierro estatal y su posterior privatización, las actividades extractivas alteraron niveles ecosistémicos donde estas prácticas culturales no podían seguir desarrollándose, generando los respectivos impactos socioambientales (Azócar-Duarte, 2022). La explotación del litio en el "triángulo de litio" se encuentra en distintas etapas de desarrollo, por ejemplo, entre el Salar de Uyuni en Bolivia, y el Salar de Atacama en Chile, en este último, la explotación de litio ha estado en marcha durante varias décadas. La extracción y el refinamiento del litio en el Salar de Atacama están en manos de dos empresas privadas:

la Sociedad Chilena de Litio (Rockwood Lithium), y la Sociedad Química y Minera de Chile (SQM), que tiene su origen como una empresa estatal. SQM es una de las principales compañías a nivel mundial dedicadas a la explotación, producción y venta de litio refinado en forma de carbonato e hidróxido de litio (Göbel, 2014; Azócar, 2022).

### ***Casos de éxito – Proyectos y financiamiento***

El Salar de Atacama es considerado el yacimiento de litio más atractivo a nivel mundial. Tiene las mayores reservas conocidas de litio y su explotación puede realizarse a costos más bajos que en otros lugares debido a ventajas como altas concentraciones, altas tasas de evaporación, baja presencia de magnesio y fácil acceso a puertos.

Actualmente, la extracción de litio en el Salar de Atacama está autorizada contractualmente a SOQUIMICH y SCL, pero representa solo una fracción pequeña de las reservas del salar (menos del 10%). Por lo tanto, se requiere una política nacional del litio que defina las modalidades y plazos para una explotación sustentable completa del recurso en el Salar de Atacama. La mejor forma de asegurar que los beneficios económicos del litio se queden en manos del Estado es mediante la creación de una Empresa Nacional del Litio, que se encargue de todas las reservas nacionales de este mineral (Titelman, 2013).

Finalmente, y habiendo revisado las principales contribuciones que aportan o han aportado a la línea de trabajo de este proyecto, es posible indicar que una oportunidad de desarrollo se encuentra en el hecho que no existe, para el caso de la Minería en Chile, información suficiente o certeza, respecto de las barreras existentes en la producción masiva de Litio. Lo que autoriza la siguiente como contribución para este proyecto de grado.

### **1.3 Contribución del trabajo**

Habiendo recorrido las bases teóricas fundamentales para este estudio, se propone entonces una priorización de barreras y la propuesta de un plan de desarrollo para abordarlas. En este sentido este trabajo contribuye a la comprensión de las variables estrategias o claves que están frenando un proceso de producción masiva de este mineral.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, este trabajo considera los siguientes como objetivo general y objetivos específicos para este trabajo de este proyecto de grado.

## **1.4 Objetivo general**

Analizar las percepciones de profesionales expertos en la producción del litio que se desempeñan activamente en producción minera chilena, para la determinación de las barreras y limitantes de carácter, político, social ambiental, económico y técnico, que han impedido que Chile lidere la producción de dicho mineral.

### **1.4.1 Objetivos específicos**

- Distinguir las barreras políticas que influyen en la capacidad de Chile para liderar la producción de litio, a través de las percepciones de los profesionales expertos en la minería chilena.
- Evaluar las limitaciones sociales que impactan el desarrollo de la producción de litio en Chile, según la experiencia de los profesionales involucrados en la producción minera.
- Determinar los desafíos ambientales que los expertos consideran críticos en la producción de litio en Chile, y cómo estos afectan el liderazgo del país en este campo.

## **1.5 Propuesta metodológica**

Se ha optado por utilizar una metodología cualitativa que busca comprender a fondo los fenómenos educativos y sociales (Flores-Cerna et al., 2022). Se empleó un enfoque interpretativo, considerado más apropiado por su capacidad de atribuir significado a los objetos de estudio y descubrir su importancia para quienes los han experimentado (Rojas-Romero et al., 2021). Con ello, se llevó a cabo un muestreo de casos típicos entre profesionales relacionados con la industria minera por su conveniencia. Se seleccionaron profesionales con más de 12 años de experiencia en promedio y participaron un total de 10 informantes clave. Este estudio se desarrolló en el ámbito de profesionales vinculados a la industria minera, cuyas conexiones permiten comprender la problemática desde diversas perspectivas, tanto operativas como estratégicas en términos empresariales, gubernamentales y geopolíticos. Para este estudio se utilizaron entrevistas semi estructuradas para explorar las perspectivas de los informantes sobre el tema de estudio, centrándose especialmente en las barreras percibidas en la explotación del litio. Además, se

empleó un grupo de enfoque para ampliar y complementar la información obtenida en las entrevistas, así como para validarla. Las entrevistas constaron de 5 preguntas las que se detallan a continuación.

1. *¿De dónde viene la problemática asociada a la extracción del litio hoy?*
2. *¿En la práctica como opera hoy el marco regulatorio de su explotación?*
3. *¿Tiene propuestas específicas de mejora o cambio de corto plazo y alto impacto? ¿Cuáles?*
4. *Qué tipo de amenaza o riesgo podría provocar en la organización un plan de extracción masivo de litio?*
5. *¿Como ves la producción de litio en relación con la sustentabilidad?*

Para registrar la información, se emplearon diferentes fuentes como documentos escritos, registros de video y audio. Para analizar los datos recopilados, se llevó a cabo un proceso de categorización utilizando un enfoque deductivo. Se extrajeron criterios que permitieron observar el desarrollo del proceso de explotación del litio en sus diversas áreas. Además, se estuvo atento a posibles situaciones que pudieran surgir de estos documentos y observaciones, a través de un proceso inductivo. La categorización realizada consistió en una selección de factores y elementos relevantes, pero se reconoce que esta puede ser aún más diversa debido a la amplitud del constructo y su práctica. Se aseguró la participación informada y voluntaria de los profesionales involucrados, se tomaron medidas para garantizar la confidencialidad de la información y se validó con los propios participantes.

## **1.6 Organización y presentación de este trabajo**

Este trabajo de grado está estructurado en cuatro capítulos principales, organizados de la siguiente manera:

**Capítulo 1:** Se expone el marco conceptual del proyecto, proporcionando contexto, formulando los objetivos, y abordando desde la literatura la relevancia del enfoque de investigación, su contribución, y presentando el marco metodológico para su desarrollo e implementación.

**Capítulo 2:** Se enfoca en la recopilación de información, modelos y datos, detallando además los resultados obtenidos.

**Capítulo 3:** El proyecto se resume en un artículo académico que incluye:

1. Título
2. Resumen
3. Introducción
4. Metodología
5. Resultados
  - a. Discusión de resultados
6. Conclusiones
7. Referencias

**Capítulo 4:** Presenta las conclusiones generales del trabajo, junto con una dirección para futuras investigaciones, abordando las preguntas que no fueron respondidas en el estudio.

Referencias generales

Anexos

## **2 INFORMACIÓN Y RESULTADOS**

Para abordar este trabajo de investigación se ha optado por una aproximación cualitativa, que permite considerar la siguiente estructura para la presentación de la información y sus análisis:

### **2.1 Procedimiento de recogida y análisis de datos**

Esta investigación analiza las percepciones de profesionales expertos en la producción del litio que se desempeñan activamente en producción minera chilena. Por tal motivo, se llevó a cabo en el año 2023 entrevistas con preguntas abiertas con la finalidad de recoger información para su posterior análisis. En particular se solicitó responder preguntas y temáticas, explicando sus ideas y respuestas con sus palabras.

El método utilizado en este estudio es de carácter descriptivo exploratorio, dado que se miden y recolecta información de diferentes aspectos o dimensiones del elemento en la investigación.

#### **Fechas en que se recogieron los datos:**

Entre el 02 de mayo de 2023 y 07 de julio de 2023.

Entre el 09 de octubre de 2023 y 08 de enero de 2024.

#### **Coherencia con lo planificado:**

Le entrevista propuesta inicialmente, debió ser modificada parcialmente desde el piloteo de la entrevista, agregando y modificando preguntas en sus etapas, para hacerla más precisa y coherente.

Se aplicó el mismo instrumento a todos los intervinientes.

## **Fortalezas y debilidades del proceso:**

Fortalezas:

- Proceso rápido
- Con consentimiento informado, y transparencia
- Proceso ético
- Bien recibido por los participantes de las empresas
- Permitió dar respuesta a la pregunta de investigación

Las debilidades propias de la investigación de contexto se circunscriben a:

- Para generalizar resultados, la muestra debe ser mayor
- Considerar otras empresas del rubro
- Analizar más exhaustivamente la utilización de otros instrumentos como encuestas, y/o métodos matemáticos-estadísticos

## **Población y muestras**

Además de o planteado en el marco metodológico, en la sección de población sobre la que se efectuará el estudio, donde se identifica la muestra, se hace notar que para la selección de participantes se utilizó una muestra no probabilística e intencionada ya que se seleccionó a profesionales, porque se estimó que pudieran tener mayor conocimiento de la materia.

## **Instrumento.**

Como se indicó anteriormente, para recoger información sobre el problema y barreras asociadas a la producción del Litio, se utilizó una entrevista con base 5 preguntas, todas respuestas abiertas, de la misma forma como se muestra en la tabla siguiente.

1. *¿De dónde viene la problemática asociada a la extracción del litio hoy?*
2. *¿En la práctica como opera hoy el marco regulatorio de su explotación?*
3. *¿Tiene propuestas específicas de mejora o cambio de corto plazo y alto impacto? ¿Cuáles?*
4. *Qué tipo de amenaza o riesgo podría provocar en la organización un plan de extracción masivo de litio?*
5. *¿Como ves la producción de litio en relación con la sustentabilidad?*

Esta entrevista se aplicó como elemento de consulta durante las entrevistas personales realizadas, previo consentimiento informado. A partir de dichas instancias se provoca un espacio de conversación en relación con la preparación, barreras y estrategias de producción del Litio, además de conocer cómo se entienden las necesidades asociadas a dicha producción.

## **2.2 Proceso de recogida de información**

Como se ha indicado anteriormente, se aplicó un instrumento basado en una entrevista semi-estructurada, a través de un cuestionario de respuestas abiertas las que han permitido agrupar las respuestas por categorías claves, concentrando la información para analizarla posteriormente de forma cualitativa.

## **2.3 Los datos recogidos:**

La agrupación de resultados por categorías claves, agrupando la información para su posterior análisis queda dada por la siguiente tabla.

Tabla 1: Categorías y representaciones

Preguntas	Categorías
1. ¿De dónde viene la problemática asociada a la extracción del litio hoy?	Falta de tecnología
	Medioambiente y comunidades
2. ¿En la práctica como opera hoy el marco regulatorio de su explotación?	Regulado por el Estado
	Impuso privado
	No sabe / No responde
3. ¿Tiene propuestas específicas de mejora o cambio de corto plazo y alto impacto? ¿Cuáles?	Nuevas tecnologías
	No sabe / No responde
4. ¿Qué tipo de amenaza o riesgo podría provocar en la organización un plan de extracción masivo de litio?	Impacto social y ambiental
	Incumplimiento de políticas y normas
5. ¿Como ves la producción de litio en relación con la sustentabilidad?	Desafíos no abordables
	Proceso sustentable
	No sabe / No responde

## 2.4 Análisis e interpretación de los datos

En seguida, exhibimos los resultados correspondientes a las cinco preguntas evaluadas en el cuestionario. Con el objetivo de una exposición clara y una lectura más comprensible para este proyecto, se ha optado por incorporar únicamente los datos relevantes para este estudio.

### Ítem 1: ¿De dónde viene la problemática asociada a la extracción del litio hoy?

Si revisamos los resultados generales de la primera pregunta del cuestionario (Tabla I) nos encontramos que 6 de los 10 entrevistados asocia la problemática presente en la extracción de litio, a la falta de tecnología en los procesos de obtención del mineral y por lo tanto la poca eficiencia del proceso. En las respuestas categorizadas en este apartado, nos encontramos con frases muy similares entre los informantes claves:

*“Creo que la problemática asociada a la extracción de litio hoy proviene principalmente de la falta de tecnología en los procesos de extracción de salmuera”* (Entrevistado 5) y *“... la*

*problemática viene de los tiempos de procesamiento y obtención del mineral procesado, puesto que la demanda es alta y los tiempos de procesamientos son lentos, lo cual en un mediano plazo lleve a buscar un sustituto de menor valor y con un tiempo de procesamiento mucho más eficiente” (Entrevistado 3).*

Otra cuestión destacable en los resultados es que la segunda categoría se asocia al impacto ambiental y a las comunidades de los sectores aledaños a las zonas de extracción:

*“La mayor parte de extracción de litio es de desiertos áridos en donde se utiliza el agua, la cual es escasa y atenta contra la flora y fauna de ecosistemas vulnerables. Además, de comunidades autóctonas del sector” (Entrevistado 1) y “La problemática está en la contaminación de suelos con residuos peligrosos, modificación del flujo natural superficial del agua, alteración del balance hídrico y afectación de la flora autóctona y comunidades del sector” (Entrevistado 2).*

## **Ítem 2: ¿En la práctica como opera hoy el marco regulatorio de su explotación?**

Si revisamos los resultados generales de la segunda pregunta del cuestionario (Tabla I) nos encontramos casi el total de los entrevistados (7/10) se encuentra al tanto de cómo opera el marco regulatorio de la explotación de litio, siendo esta de manera público-privada y regulada por el Estado, además de conocer las dos empresas que actualmente están autorizadas para la extracción y comercialización del mineral. En las respuestas categorizadas en este apartado, nos encontramos con las siguientes frases de los informantes claves:

*“Desde 1979, la extracción y comercialización del litio quedó reservada al Estado al ser éste declarado no-concesionable, sin embargo, en 1980 se estableció en la constitución el primer contrato con Albemarle para explotar el litio mediante contratos especiales de explotación” (Entrevistado 1) y “Al ser declarado por el Estado como un mineral no concesible, su extracción queda reservada exclusivamente al estado, es por esto que actualmente existen solo dos empresas con permisos para su extracción en el Salar de Atacama, las cuales son SQM y Albemarle” (Entrevistado 5).*

## **Ítem 3: ¿Tiene propuestas específicas de mejora o cambio de corto plazo y alto impacto? ¿Cuáles?**

Los resultados generales de la tercera pregunta del cuestionario (Tabla I) muestran que 7 de los 10 entrevistados propone como eje central, la aplicación de nuevas tecnologías con el objetivo de reducir la contaminación, proteger los recursos naturales y disminuir el tiempo de procesamiento del mineral:

*“A mi parecer no existen mediadas a corto plazo más que la reducción de contaminación de los salares y el respeto por los pueblos autóctonos, Sin embargo, debiésemos innovar en tecnología que evite la evaporación de las salmueras y reduzca el tiempo de obtención del litio que es de aproximadamente 18 meses”* (Entrevistado 1) y *“Una gran mejora sería buscar nuevas tecnologías y cambiar los materiales para proteger las napas subterráneas, como una forma de proteger el Salar”* (Entrevistado 2).

Otra cuestión destacable en los resultados es que la segunda categoría se asocia a que se actualice la normativa legal y se permita la inversión privada en la industria, con el objetivo de mejorar los niveles productivos, sosteniendo, por ejemplo:

*“Que se incentive la inversión privada, con una buena recaudación fiscal, sin el aparato estatal operando directamente en la extracción, para eliminar gastos al estado y generar las ganancias fiscales por medio de incentivar a los privados a invertir y tener buenos niveles productivos”* (Entrevistado 5) y *“Actualizar la normativa legal, agilizar los procesos de adjudicación con normas claras, eficientes, incluyendo impacto ambiental, social y propuestas de mejoras por parte de los inversores privados. Incentivos en rebajas de impuesto, según niveles de producción que dejen recaudaciones fiscales de importancia, con lo cual se incentiva la producción, con una buena utilidad para los privados y para el fisco una buena entrada de recaudación”* (Entrevistado 3).

#### **Ítem 4: ¿Qué tipo de amenaza o riesgo podría provocar en la organización un plan de extracción masivo de litio?**

En este apartado, nos encontramos que 8 de los 10 entrevistados considera que un plan de extracción masivo de litio podría provocar un gran impacto ambiental y social, el cual podría acabar con una depredación del ecosistema y que además afectaría en gran medida a las comunidades del sector. En las respuestas categorizadas en este apartado, nos encontramos con frases muy similares entre los informantes claves:

*“Un plan de extracción masivo de litio produciría una depredación del ecosistema y de este recurso no renovable, generando un impacto negativo relacionado con la contaminación del ambiente y un desbalance hídrico del sector” (Entrevistado 1) y “Un plan de extracción masivo de litio provocaría una sobre explotación, acumulación de sobre stock de mineral, con su respectiva baja de precios y un impacto medio ambiental alto, además del impacto en las comunidades aledañas a los yacimientos” (Entrevistado 3).*

Por otra parte, algunos de los informantes claves opinan que un plan de extracción masivo llevaría a un incumplimiento de las normas que existen actualmente.

*“Un plan de extracción masivo de litio podría llevar a que se incumplieran las políticas y normas regulatorias, lo mismo que ha ocurrido con la extracción del cobre en nuestro país” (Entrevistado 5).*

### **Ítem 5: ¿Como ves la producción de litio en relación con la sustentabilidad?**

Para esta pregunta, casi el total de los entrevistados afirma que la producción de litio puede ser un gran aporte para el logro de reducir la huella de carbono, pero que sin embargo existen muchos desafíos asociados para ese logro, lo queda de manifiesto en opiniones como:

*“La producción de litio puede desempeñar un papel importante en la transición hacia una economía baja en carbono y sostenibles. Sin embargo, para garantizar la sustentabilidad, es fundamental abordar los desafíos ambientales, sociales y económicos asociados con su extracción y producción. Esto significa adoptar practicas sostenibles, respetar los derechos de las comunidades locales y promover el desarrollo económico equitativo” (Entrevistado 2) y “Las empresas deben tener una visión de sustentabilidad, respeto al medio ambiente y a las comunidades juntamente con una tecnología innovadora aplicable a la explotación y extracción del litio, agregar valor a la extracción o a la obtención de riquezas, incentivando creación de la industria de productos relacionados con el litio y así crear empleo y dar valor agregado a la materia prima” (Entrevistado 5).*

## **2.5 Discusión de resultados**

Los resultados obtenidos desde este estudio exploratorio muestran hallazgos interesantes respecto de cómo es percibida la industria del litio en Chile, como, por ejemplo, la falta de

tecnología en los procesos de obtención del mineral y por lo tanto la poca eficiencia del proceso, mostrando preocupación por el impacto ambiental y las comunidades. En particular por una posible extracción masiva de litio, que podría provocar un gran impacto además de ambiental, del tipo social. Se muestra también un profundo conocimiento de la operación público-privada que es regulada por el Estado, y la necesidad de reducción de la contaminación medioambiental, y de la protección de los recursos naturales, así como de la disminución del tiempo de procesamiento del mineral, percibiendo además una fuerte limitante en la necesidad de disponer de una actualización de la normativa legal que permita agilizar la inversión privada en la industria, y que redundan en dificultades respecto de la reducción de la huella de carbono. Estos hallazgos están de acuerdo con los resultados propuestos por (Cepal, 2023; Romero et al., 2021), donde se sostiene para diferentes entornos las mismas preocupaciones.

### **3 ARTÍCULO**

El presente apartado, recoge la investigación contextualizada motivo de este proyecto de grado, y es presentada en formato de artículo académico. Se trata de un artículo conciso, escrito en el formato típico de revistas especializadas o de conferencias, de acuerdo con reglas específicas definidas por la dirección del programa.

El artículo, ha sido cuidadosamente redactado con el fin de que se haga fácilmente entendible y logre expresar de un modo claro y sintético lo que se pretende comunicar, considerando las citas y referencias respectivas de los estudios que lo fundamentan. El trabajo realizado, se sintetiza entonces como artículo, para facilitar al trabajo de quienes puedan estar interesados en consultar la obra original.

Este trabajo, considera y discute, a través de un proyecto aplicado, desarrollado en un contexto de realidad profesional, la integración de herramientas y conocimientos que se han adquirido en las líneas de desarrollo del programa. Lo que se consolida en una investigación profesional contextualizada a la realidad profesional que se expone, la que se relacionada con líneas y ámbitos específicos abordados en el plan de estudios del programa, permitiendo integrar, de manera adecuada, los conocimientos teóricos y metodológicos desarrollados en él.

# EL LITIO EN CHILE. ¿PROBLEMAS PARA SU PRODUCCIÓN? PERCEPCIONES QUE INVOLUCRAN AL RECURSO ESTRATÉGICO Y AL BIEN COMÚN

Camila Grace Romero Stevens<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Graduada del programa de Magister en Ingeniería Industrial y de Sistemas, Facultad de Ingeniería, Universidad de Desarrollo, camromeros@udd.cl*

## Resumen:

Este trabajo presenta un análisis de percepciones que provoca la acelerada demanda del litio y su creciente utilización debido a avances tecnológicos, y cómo dicha demanda coloca a las reservas del norte chileno, en los salares, en el centro de debates que involucran formas de explotación y comercialización. El objetivo de esta investigación es analizar las percepciones de profesionales expertos en la producción del litio, para la determinación de las barreras que han impedido que Chile lidere la producción de dicho mineral. Para lograrlo se propone una aproximación cualitativa bajo un paradigma interpretativo y con base en 10 entrevistas semiestructuradas a profesionales y ejecutivos del ámbito minero para la determinación de cómo y porque se ha retrasado la explotación del litio tan demandado y necesario para el desarrollo tecnológico mundial. Los datos revelan que las diversas posturas predominantes tienden a neutralizarse entre sí. Por un lado, se encuentra el modelo económico extractivista que busca fortalecer y hacer rentable la oportunidad nacional, considerando a la minería como un recurso estratégico para la industria. Por otro lado, existen enfoques político ambientalistas que buscan condicionar el proceso a regulaciones más estrictas o a consultas territoriales enfocadas en el bien común, lo que ralentiza el avance de la extracción en términos políticos. En síntesis, las diferentes concepciones en torno al litio son una representación de modelos ideológicos en pugna, donde el debate económico y el político ambiental no han terminado de definir lo que es bueno para nuestro país, y requieren revisarse para no perder una oportunidad estratégica relevante.

**Palabras clave:** Litio; Recurso estratégico; Desarrollo tecnológico; Bien común; Salares y territorios

## 1. Introducción

La acelerada demanda de los recursos ha suscitado en Chile y el mundo no pocos debates sobre las formas del aprovechamiento del recurso litio, con posiciones que van desde defender la soberanía del recurso (mirada política y otras) y su potencial para industrializarlo (mirada extractiva) y convertirlo en un eje de nuevos desarrollos en el país para nuevas tecnologías. Inclusive solo para utilizarlo directamente para la exportación como materia prima, aprovechando las ganancias rápidas que brinda, y las necesidades mundiales ya mencionadas (Argento & Zícari, 2017). Asimismo, los temas ambientales y las disputas territoriales son relevantes para el litio, las preguntas sobre los roles asignados al capital transnacional y los tipos de políticas públicas que podrían implementarse, los diferentes tipos de actores en el conflicto como

quedó de manifiesto en la política estratégica del litio comunicada en 2023 (Estrategia Nacional del Litio, 2023).

En todos los casos, estas dificultades implican la determinación de qué tipo de modelo de crecimiento económico adoptar, cómo distribuir el exceso de ganancias que generará el litio, la investigación científica, la estructura del mercado mundial y el tipo de papel que jugará el litio (Agosin, 2023).

### *Litio en Chile: Antecedentes*

El litio, al convertirse en un material clave en la revolución energética global, despertó interés en la agenda política del país y sugirió que debería ser utilizado como una puerta de entrada al uso sostenible de los recursos naturales, como consecuencia de la evolución de la política pública de litio en Chile, desde el inicio de la producción en los 80 y el posterior salto

de producción en los 90. En este sentido, los principales hitos de la transformación se produjeron en la gobernanza nacional, dividiendo la investigación sobre el litio en cuatro etapas o períodos (Poveda, 2020):

Etapa 1. Gobernanza jerárquica: Recurso estratégico (1970-1983)

Etapa 2. Gobernanza de mercado: Privatización y salto productivo (1984-2004)

Etapa 3. Gobernanza jerárquica: Hallazgo del litio (2005-2013)

Etapa 4. Gobernanza jerárquica: Auge del litio (2014-2019)

Según Agosin (2023), es evidente que la economía de Chile, después de experimentar un crecimiento a tasas "asiáticas" entre 1987 y 1998, ha comenzado a estancarse. De hecho, la tasa de crecimiento entre 2013 y 2019 fue apenas del 2,0%, lo que apenas supera la tasa de crecimiento de la población, que ha sido aproximadamente del 1,5% debido a la inmigración. Para reactivar el crecimiento, es crucial diversificar la producción y, dado que la economía chilena es pequeña y abierta, esto implica diversificar las exportaciones. En este sentido se han propuesto políticas que se centran en el desarrollo del hidrógeno verde, en lo cual Chile posee una clara ventaja comparativa potencial. Para lograr el éxito en este ámbito, el Estado debe tener la capacidad de coordinar a los diferentes actores públicos y privados para que contribuyan. Además, aprovechar los grandes depósitos de litio del país y aplicar una política decidida de transición hacia la minería verde, utilizando en parte el hidrógeno verde para reemplazar los combustibles basados en hidrocarburos, puede contribuir a que Chile revitalice su crecimiento en el sector exportador y no pierda sus ventajas comparativas en la industria minera.

#### *Método de extracción: Teoría y definiciones*

La extracción de litio de la salmuera a través de la evaporación solar es un proceso lento que consume grandes cantidades de agua y genera una gran cantidad de residuos, debido a esto, se han propuesto nuevos métodos de extracción, como el de extracción directa de litio, que va desde la extracción de litio mediante el bombeo de iones en celdas electroquímicas entrópicas de baterías de iones de litio de tipo catódico con electrodos de intercalación de Li<sup>+</sup> (Calvo, 2023).

El litio se encuentra en salmueras y minerales, y la extracción para uso comercial se puede realizar de

varias maneras. La extracción de salmuera es el método más económico y común de producción de minerales. Existen varios métodos para extraer litio de las salmueras, dependiendo de los niveles de otros elementos en el depósito que se extrae. El carbonato de litio y el cloruro de litio se extraen de la salmuera para obtener hidróxido de litio y litio metálico. Para extraer la salmuera se utiliza una bomba para extraerla del piercing, luego se coloca en una piscina similar a un fregadero y se deja evaporar el agua, quedando la sal de mesa (cloruro de sodio) en forma sólida. Estos charcos de tonalidades azul y turquesa son característicos de la minería del litio y se encuentran en la región andina del norte de Argentina, Chile y Bolivia. Posteriormente, es necesario separar los diversos elementos, incluidos el potasio, el magnesio, la cal y el sulfato, para lo cual se utiliza la cal. Luego de la separación y reducción, se obtiene el litio líquido y se inicia la extracción por solventes en la planta de procesamiento con el objetivo de obtener litio con una pureza del 97%. Durante este proceso, se agrega carbonato de sodio a una temperatura entre 60° y 80° para extraer el carbonato de sodio remanente en el proceso, dando como resultado el producto final, carbonato de litio (Aguilar & Zeller, 2012).

#### *Marco regulatorio: Recursos estratégicos*

En Chile, la extracción de litio de los salares está sujeta a regulaciones específicas, debido a este marco normativo, desde la década de 1980, el Estado ha suscrito convenios con empresas privadas, las cuales corresponden a Albemarle y SQM, en los que se han establecido lineamientos de desarrollo, estipulando volúmenes territoriales y de extracción de salmuera, características de arriendo e impuestos de actividad (Obaya & Pascuini, 2020).

#### *Economía del litio y perspectivas*

Diversos trabajos como en Nacif (2018) muestran que China ha emergido como un actor destacado en la escena económica global en los últimos tiempos. Su relación con América Latina presenta tanto oportunidades concretas, como la demanda de recursos naturales y energía, lo que genera ingresos en divisas, pero también conlleva amenazas. Un fenómeno conocido como reprimarización ha surgido, desplazando la producción y exportación manufacturera y reproduciendo una dinámica de centro-periferia.

El análisis de este fenómeno se vuelve relevante en el caso del litio, ya que el triángulo conformado por los

salares ricos en este mineral en Argentina, Bolivia y Chile se ha convertido en una fuente crucial para la transición energética. Empresas chinas, tanto estatales como privadas, han invertido en los tres países para asegurarse las reservas de litio. Además, China es el principal demandante de litio, lo que le otorga un papel clave en toda la cadena de comercialización (Barberón, 2022; Fornillo & Gamba, 2019).

Aunque los tres países en estudio están progresando en la exportación de carbonato y en el caso de Chile también hidróxido de litio, hasta el momento los avances en la agregación de valor en la cadena son fragmentarios y limitados (Slipak & Urrutia, 2019).

#### *Comunidades y sociedad civil*

La entrada de la minería en las comunidades en las zonas sur y norte del Salar de Atacama ha provocado un impacto social que ha cambiado el ritmo de vida de los habitantes, tanto a través de las propias empresas extractivas como de quienes las atienden, generando una rotación masiva de trabajadores que a su vez ha significado la masculinización de la región (Azocar-Duarte, 2022).

#### *¿Cómo se hace en otros lares?*

En el triángulo del litio formado por Argentina, Bolivia y Chile se encuentra el 80% del litio mundial, un recurso estratégico altamente rentable y de fácil extracción. Estos países ven en el litio una oportunidad para impulsar la equiparación tecnológica y el desarrollo endógeno. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de los gobiernos progresistas de la región, persiste el enfoque neoextractivista que conlleva una sobreexplotación de los recursos naturales y una privatización de la economía. El litio representa un potencial para un desarrollo diferente, más allá del aumento del producto bruto nacional buscando la sostenibilidad ambiental y la equiparación con las sociedades modernas en términos de consumo (Fornillo, 2018).

#### *Miradas de la realidad chilena*

La minería de litio en los Salares de Atacama se basa en un proceso de despojo de intereses comunes. Tras el encierro estatal y su posterior privatización, las actividades extractivas alteraron niveles ecosistémicos donde estas prácticas culturales no podían seguir desarrollándose, generando los respectivos impactos socioambientales (Azócar-Duarte, 2022). La explotación del litio en el "triángulo de litio" se encuentra en distintas etapas de desarrollo, por

ejemplo, entre el Salar de Uyuni en Bolivia, y el Salar de Atacama en Chile, en este último, la explotación de litio ha estado en marcha durante varias décadas. La extracción y el refinamiento del litio en el Salar de Atacama están en manos de dos empresas privadas: la Sociedad Chilena de Litio (Rockwood Lithium), y la Sociedad Química y Minera de Chile (SQM), que tiene su origen como una empresa estatal. SQM es una de las principales compañías a nivel mundial dedicadas a la explotación, producción y venta de litio refinado en forma de carbonato e hidróxido de litio (Göbel, 2014; Azócar, 2022).

#### *Casos de éxito – Proyectos y financiamiento*

El Salar de Atacama es considerado el yacimiento de litio más atractivo a nivel mundial. Tiene las mayores reservas conocidas de litio y su explotación puede realizarse a costos más bajos que en otros lugares debido a ventajas como altas concentraciones, altas tasas de evaporación, baja presencia de magnesio y fácil acceso a puertos.

Actualmente, la extracción de litio en el Salar de Atacama está autorizada contractualmente a SOQUIMICH y SCL, pero representa solo una fracción pequeña de las reservas del salar (menos del 10%). Por lo tanto, se requiere una política nacional del litio que defina las modalidades y plazos para una explotación sustentable completa del recurso en el Salar de Atacama. La mejor forma de asegurar que los beneficios económicos del litio se queden en manos del Estado es mediante la creación de una Empresa Nacional del Litio, que se encargue de todas las reservas nacionales de este mineral (Titelman, 2013).

Entendida esta realidad, y considerando la revisión de la literatura presentada, es posible efectuar el siguiente cuestionamiento de contexto: ¿Cuáles son las variables que explican las barreras que impiden la producción masiva de litio en Chile? En efecto, la principal motivación para realizar esta investigación ha sido que el litio en su calidad de mineral estratégico, y su relativa escases puede ser considerado como un mineral insustituible o difícilmente sustituible, además de estar desigualmente distribuido. Por un lado, la demanda creciente en la confección de baterías para distintos artefactos tecnológicos y de la industria automotriz, puede transformarlo en mineral escaso en tiempo acotado, pero se debe considerar que Chile posee las mayores reservas globales de este mineral, lo que necesariamente invita a la generación de un plan que aborde exitosamente las barreras productivas.

Se propone entonces una priorización de barreras y la propuesta de un plan de desarrollo para abordarlas. En este sentido este trabajo contribuye a la comprensión de las variables estrategias o claves que están frenando un proceso de producción masiva de este mineral.

Entendido esto, el objetivo de este trabajo es analizar las percepciones de profesionales expertos en la producción del litio que se desempeñan activamente en producción minera chilena, para la determinación de las barreras y limitantes de carácter, político, social ambiental, económico y técnico, que han impedido que Chile lidere la producción de dicho mineral.

## **2. Materiales y Métodos**

Se ha optado por utilizar una metodología cualitativa que busca comprender a fondo los fenómenos educativos y sociales (Flores-Cerna et al., 2022) Se empleó un enfoque interpretativo, considerado más apropiado por su capacidad de atribuir significado a los objetos de estudio y descubrir su importancia para quienes los han experimentado (Rojas-Romero et al., 2021). Con ello, se llevó a cabo un muestreo de casos típicos entre profesionales relacionados con la industria minera por su conveniencia. Se seleccionaron profesionales con más de 12 años de experiencia en promedio y participaron un total de 10 informantes clave. Este estudio se desarrolló en el ámbito de profesionales vinculados a la industria minera, cuyas conexiones permiten comprender la problemática desde diversas perspectivas, tanto operativas como estratégicas en términos empresariales, gubernamentales y geopolíticos. Para este estudio se utilizaron entrevistas semi estructuradas para explorar las perspectivas de los informantes sobre el tema de estudio, centrándose especialmente en las barreras percibidas en la explotación del litio. Además, se empleó un grupo de enfoque para ampliar y complementar la información obtenida en las entrevistas, así como para validarla. Las entrevistas constaron de 5 preguntas las que se detallan a continuación.

**1.** *¿De dónde viene la problemática asociada a la extracción del litio hoy?*

**2.** *¿En la práctica como opera hoy el marco regulatorio de su explotación?*

**3.** *¿Tiene propuestas específicas de mejora o cambio de corto plazo y alto impacto? ¿Cuáles?*

**4.** *¿Qué tipo de amenaza o riesgo podría provocar en la organización un plan de extracción masivo de litio?*

**5.** *¿Como ves la producción de litio en relación con la sustentabilidad?*

Para registrar la información, se emplearon diferentes fuentes como documentos escritos, registros de video y audio. Para analizar los datos recopilados, se llevó a cabo un proceso de categorización utilizando un enfoque deductivo. Se extrajeron criterios que permitieron observar el desarrollo del proceso de explotación del litio en sus diversas áreas. Además, se estuvo atento a posibles situaciones que pudieran surgir de estos documentos y observaciones, a través de un proceso inductivo. La categorización realizada consistió en una selección de factores y elementos relevantes, pero se reconoce que esta puede ser aún más diversa debido a la amplitud del constructo y su práctica. Se aseguró la participación informada y voluntaria de los profesionales involucrados, se tomaron medidas para garantizar la confidencialidad de la información y se validó con los propios participantes.

## **3. Resultados y discusión**

En este apartado, se exhiben los resultados correspondientes a las cinco preguntas evaluadas en el cuestionario.

**Ítem 1: ¿De dónde viene la problemática asociada a la extracción del litio hoy?**

Si revisamos los resultados generales de la primera pregunta del cuestionario (Tabla I) nos encontramos que 6 de los 10 entrevistados asocia la problemática presente en la extracción de litio, a la falta de tecnología en los procesos de obtención del mineral y por lo tanto la poca eficiencia del proceso. En las respuestas categorizadas en este apartado, nos encontramos con frases muy similares entre los informantes claves:

*“Creo que la problemática asociada a la extracción de litio hoy proviene principalmente de la falta de tecnología en los procesos de extracción de salmuera” (Entrevistado 5) y “... la problemática viene de los tiempos de procesamiento y obtención del mineral procesado, puesto que la demanda es alta y los tiempos de procesamientos son lentos, lo cual en un mediano plazo lleve a buscar un sustituto de menor valor y con un tiempo de procesamiento mucho más eficiente” (Entrevistado 3).*

Tabla I: Categorías y representaciones

Preguntas	Categorías
1. ¿De dónde viene la problemática asociada a la extracción del litio hoy?	Falta de tecnología
	Medioambiente y comunidades
2. ¿En la práctica como opera hoy el marco regulatorio de su explotación?	Regulado por el Estado
	Impuso privado
	No sabe / No responde
3. ¿Tiene propuestas específicas de mejora o cambio de corto plazo y alto impacto? ¿Cuáles?	Nuevas tecnologías
	No sabe / No responde
4. ¿Qué tipo de amenaza o riesgo podría provocar en la organización un plan de extracción masivo de litio?	Impacto social y ambiental
	Incumplimiento de políticas y normas
5. ¿Como ves la producción de litio en relación con la sustentabilidad?	Desafíos no abordables
	Proceso sustentable
	No sabe / No responde

Otra cuestión destacable en los resultados es que la segunda categoría se asocia al impacto ambiental y a las comunidades de los sectores aledaños a las zonas de extracción:

*“La mayor parte de extracción de litio es de desiertos áridos en donde se utiliza el agua, la cual es escasa y atenta contra la flora y fauna de ecosistemas vulnerables. Además, de comunidades autóctonas del sector” (Entrevistado 1) y “La problemática está en la contaminación de suelos con residuos peligrosos, modificación del flujo natural superficial del agua, alteración del balance hídrico y afectación de la flora autóctona y comunidades del sector” (Entrevistado 2).*

**Ítem 2: ¿En la práctica como opera hoy el marco regulatorio de su explotación?**

Si revisamos los resultados generales de la segunda pregunta del cuestionario (Tabla I) nos encontramos casi el total de los entrevistados (7/10) se encuentra al tanto de cómo opera el marco regulatorio de la explotación de litio, siendo esta de manera público- dos empresas que actualmente están autorizadas para la extracción y comercialización del mineral. En las

respuestas categorizadas en este apartado, nos encontramos con las siguientes frases de los informantes claves:

*“Desde 1979, la extracción y comercialización del litio quedó reservada al Estado al ser éste declarado no-concesionable, sin embargo, en 1980 se estableció en la constitución el primer contrato con Albemarle para explotar el litio mediante contratos especiales de explotación” (Entrevistado 1) y “Al ser declarado por el Estado como un mineral no concesible, su extracción queda reservada exclusivamente al estado, es por esto que actualmente existen solo dos empresas con permisos para su extracción en el Salar de Atacama, las cuales son SQM y Albemarle” (Entrevistado 5).*

**Ítem 3: ¿Tiene propuestas específicas de mejora o cambio de corto plazo y alto impacto? ¿Cuáles?**

Los resultados generales de la tercera pregunta del cuestionario (Tabla I) muestran que 7 de los 10 entrevistados propone como eje central, la aplicación de nuevas tecnologías con el objetivo de reducir la contaminación, proteger los recursos naturales y disminuir el tiempo de procesamiento del mineral:

*“A mi parecer no existen mediadas a corto plazo más que la reducción de contaminación de los salares y el respeto por los pueblos autóctonos, Sin embargo, debiésemos innovar en tecnología que evite la evaporación de las salmueras y reduzca el tiempo de obtención del litio que es de aproximadamente 18 meses” (Entrevistado 1) y “Una gran mejora sería buscar nuevas tecnologías y cambiar los materiales para proteger las napas subterráneas, como una forma de proteger el Salar” (Entrevistado 2).*

Otra cuestión destacable en los resultados es que la segunda categoría se asocia a que se actualice la normativa legal y se permita la inversión privada en la industria, con el objetivo de mejorar los niveles productivos, sosteniendo, por ejemplo:

*“Que se incentive la inversión privada, con una buena recaudación fiscal, sin el aparato estatal operando directamente en la extracción, para eliminar gastos al estado y generar las ganancias fiscales por medio de incentivar a los privados a invertir y tener buenos niveles productivos” (Entrevistado 5) y “Actualizar la normativa legal, agilizar los procesos de adjudicación con normas claras, eficientes, incluyendo impacto ambiental, social y propuestas de mejoras por parte de los inversores privados. Incentivos en rebajas de impuesto, según niveles de producción que dejen recaudaciones fiscales de importancia, con lo cual se incentiva la producción, con una buena utilidad para los privados y para el fisco una buena entrada de recaudación” (Entrevistado 3).*

#### **Ítem 4: ¿Qué tipo de amenaza o riesgo podría provocar en la organización un plan de extracción masivo de litio?**

En este apartado, nos encontramos que 8 de los 10 entrevistados considera que un plan de extracción masivo de litio podría provocar un gran impacto ambiental y social, el cual podría acabar con una depredación del ecosistema y que además afectaría en gran medida a las comunidades del sector. En las respuestas categorizadas en este apartado, nos encontramos con frases muy similares entre los informantes claves:

*“Un plan de extracción masivo de litio produciría una depredación del ecosistema y de este recurso no renovable, generando un impacto negativo relacionado con la contaminación del ambiente y un desbalance hídrico del sector” (Entrevistado 1) y “Un plan de extracción masivo de litio provocaría una sobre explotación, acumulación de sobre stock de mineral, con su respectiva baja de precios y un impacto medio*

*ambiental alto, además del impacto en las comunidades aledañas a los yacimientos” (Entrevistado 3).*

Por otra parte, algunos de los informantes claves opinan que un plan de extracción masivo llevaría a un incumplimiento de las normas que existen actualmente.

*“Un plan de extracción masivo de litio podría llevar a que se incumplieran las políticas y normas regulatorias, lo mismo que ha ocurrido con la extracción del cobre en nuestro país” (Entrevistado 5).*

#### **Ítem 5: ¿Como ves la producción de litio en relación con la sustentabilidad?**

Para esta pregunta, casi el total de los entrevistados afirma que la producción de litio puede ser un gran aporte para el logro de reducir la huella de carbono, pero que sin embargo existen muchos desafíos asociados para ese logro, lo queda de manifiesto en opiniones como:

*“La producción de litio puede desempeñar un papel importante en la transición hacia una economía baja en carbono y sostenibles. Sin embargo, para garantizar la sustentabilidad, es fundamental abordar los desafíos ambientales, sociales y económicos asociados con su extracción y producción. Esto significa adoptar practicas sostenibles, respetar los derechos de las comunidades locales y promover el desarrollo económico equitativo” (Entrevistado 2) y “Las empresas deben tener una visión de sustentabilidad, respeto al medio ambiente y a las comunidades juntamente con una tecnología innovadora aplicable a la explotación y extracción del litio, agregar valor a la extracción o a la obtención de riquezas, incentivando creación de la industria de productos relacionados con el litio y así crear empleo y dar valor agregado a la materia prima” (Entrevistado 5).*

#### **Discusión de resultados**

*Los resultados obtenidos desde este estudio exploratorio muestran hallazgos interesantes respecto de cómo es percibida la industria del litio en Chile, como, por ejemplo, la falta de tecnología en los procesos de obtención del mineral y por lo tanto la poca eficiencia del proceso, mostrando preocupación por el impacto ambiental y las comunidades. En particular por una posible extracción masiva de litio, que podría provocar un gran impacto además de ambiental, del tipo social. Se muestra también un profundo conocimiento de la operación público-privada que es regulada por el Estado, y la necesidad de reducción de la contaminación medioambiental, y de la protección de los recursos*

naturales, así como de la disminución del tiempo de procesamiento del mineral, percibiendo además una fuerte limitante en la necesidad de disponer de una actualización de la normativa legal que permita agilizar la inversión privada en la industria, y que redundan en dificultades respecto de la reducción de la huella de carbono. Estos hallazgos están de acuerdo con los resultados propuestos por (Cepal, 2023; Romero et al., 2021), donde se sostiene para diferentes entornos las mismas preocupaciones.

#### 4. Conclusiones

Este trabajo establece que las variables percibidas como más importantes y que explican las barreras que impiden la producción masiva de litio en Chile de manera priorizada son:

- Falta de tecnología apropiada para los procesos de obtención del mineral
- Actualización de la normativa legal que permita agilizar la inversión privada
- Impacto medioambiental
- La necesidad de una reducción de la huella de carbono
- Implicancias sociales y comunitarias

Para ello se analizaron las percepciones de profesionales expertos en la producción del litio, para la determinación de estas barreras priorizadas que han impedido que Chile lidere la producción de dicho mineral en las últimas décadas. En efecto la falta de incorporación de tecnologías y de una normativa que aúne los esfuerzos que focalicen el desarrollo sostenible de esta industria minera, lo que no ha pasado con el cobre, son distinguidos como los principales obstáculos. En consecuencia, este estudio contribuye a mejorar la comprensión de las estrategias o factores determinantes que están obstaculizando la producción masiva de este mineral en Chile, considerando la perspectiva de los principales de profesionales involucrados en el proceso. Para abordar dichas barreras se sugiere una revisión del marco regulatorio, que incentive la inversión privada, y que esto a su vez sea el motor de la incorporación de tecnologías limpias que permita dar cuenta de las necesidades y restricciones medioambientales sociales y comunitarias.

**Agradecimientos y financiamiento:** La autora principal de este trabajo, desea agradecer al programa

de Magister en Ingeniería Industrial y de Sistemas, y a la Dirección de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Desarrollo de Chile, por el apoyo económico y administrativo brindado para el desarrollo y publicación de este trabajo.

#### Referencias

- Agosin, M. R. (2023). Política de desarrollo productivo para Chile: una alternativa al estancamiento. *Revista CEPAL* 139, <https://repository.eclac.org/handle/11362/48799>
- Aguiar, F., & Zeller, L. (2012). Litio. *El Nuevo Horizonte Minero. Dimensiones Sociales, Económicas y Ambientales*. Córdoba: Centro de Derechos Humanos y Ambiente.
- Argento, M., & Zícari, J. (2017). Las disputas por el litio en la Argentina: ¿materia prima, recurso estratégico o bien común?. *Prácticas de Oficio. Investigación y reflexión en Ciencias Sociales*, (19).
- Azócar, R. (2022). Litio, un mineral en estado líquido para la electromovilidad: Carga y descarga de salmuera en el salar de atacama. *Cargar y descargar en el desierto de Atacama*, 51.
- Azócar-Duarte, R. (2022). La instalación de la minería de litio en el Salar de Atacama y su relación inicial con las comunidades atacameñas: obreros, campamentos y asistencialismo (Chile, 1962-1998). *Estudios atacameños*, 68. [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-10432022000100111&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-10432022000100111&script=sci_arttext)
- Barberón, A. (2022). El litio en Argentina. Impacto productivo y políticas científico-tecnológicas. *Ciencia, Tecnología y Política (UNLP)*, 5(9).
- Calvo, E. J. (2023). *Electroquímica Del Litio: Desde La Extracción Sostenible De Salmueras A Las Baterías Avanzadas De Li-O2*. Libro De Resúmenes Xxiii Cafqi.
- CEPAL, N. (2023). Extracción e industrialización del litio: oportunidades y desafíos para América Latina y el Caribe.
- Estrategia Nacional del Litio (2023). Recuperado 27 de octubre de 2022, de Litio por Chile website: <https://www.gob.cl/litioporchile/>
- Flores-Cerna, Fernando, Sanhueza-Salazar, Víctor-Manuel, Valdés-González, Héctor-Moisés, & Reyes-Bozo, Lorenzo. (2022). Metodologías ágiles: un análisis de los desafíos organizacionales para su

- implementación. *Revista científica*, (43), 38-49. Epub February 18, 2022. <https://doi.org/10.14483/23448350.18332>
- Fornillo, B. (2018). La energía del litio en Argentina y Bolivia: comunidad, extractivismo y posdesarrollo. *Colombia Internacional*, (93), 179-201. <https://revistas.uniandes.edu.co/index.php/colombia-int/article/view/2861>
- Fornillo, B. y Gamba, M. (2019). Industria, ciencia y política en el Triángulo del Litio. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 38(58), 1-38.
- Göbel, B. (2014). La minería de litio en Atacama: disputas sociales alrededor de un nuevo mineral estratégico. *Extractivismo minero en Colombia y América Latina*, 167-193.
- Nacif, F. (2018). El abc del litio sudamericano. *Revista de ciencias sociales, segunda época*, 34, 49- 67.
- Obaya, M., & Pascuini, P. (2020). Estudio comparativo de los modos de gobernanza del litio en la Argentina, Chile y el Estado Plurinacional de Bolivia. La gobernanza del litio y el cobre en los países andinos, 17-85.
- Poveda Bonilla, R. (2020). Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en Chile, *Serie Recursos Naturales y Desarrollo* No. 195. <https://repository.eclac.org/handle/11362/45683>
- Rojas-Romero, Rolando, Valdés-González, Héctor, & Reyes-Bozo, Lorenzo. (2021). Digital Transformation: Opportunity or Threat to Employability?. *Revista Facultad de Ingeniería*, 30(56), e104. Epub September 22, 2021. <https://doi.org/10.19053/01211129.v30.n56.2021.1329>
- Romero, A., Aylwin, J., & Didier, M. (2021). Globalización de las empresas de energía renovable: extracción de litio y derechos de los pueblos indígenas en Argentina, Bolivia y Chile (Triángulo del Litio). *Observatorio Ciudadano*.
- Slipak, A. y Urrutia Reveco, S. (2019). Historias de extracción, dinámicas jurídico-tributarias y el litio en los modelos de desarrollo de Argentina, Bolivia y Chile. In Fornillo, B. (coord.), *Litio en Sudamérica. Geopolítica, energía y territorios*. Buenos Aires. El Colectivo, 83-123.
- Titelman, E. (2013). Algunas Reflexiones para una Política Nacional del Litio. *Políticas Públicas*, 5(2).

## **4 CONCLUSIONES GENERALES**

Este trabajo establece que las variables percibidas como más importantes y que explican las barreras que impiden la producción masiva de litio en Chile de manera priorizada son:

- Falta de tecnología apropiada para los procesos de obtención del mineral
- Actualización de la normativa legal que permita agilizar la inversión privada
- Impacto medioambiental
- La necesidad de una reducción de la huella de carbono
- Implicancias sociales y comunitarias

Para ello se analizaron las percepciones de profesionales expertos en la producción del litio, para la determinación de estas barreras priorizadas que han impedido que Chile lidere la producción de dicho mineral en las últimas décadas. En efecto la falta de incorporación de tecnologías y de una normativa que aúne los esfuerzos que focalicen el desarrollo sostenible de esta industria minera, lo que no ha pasado con el cobre, son distinguidos como los principales obstáculos.

Se distinguieron las barreras políticas que influyen en la capacidad de Chile para liderar la producción de litio, a través de las percepciones de los profesionales expertos en la minería chilena, lo cual se logró mediante un análisis cualitativo acotado en entrevista de 10 actores claves del segmento experto en el área.

Se evaluaron las limitaciones sociales que impactan el desarrollo de la producción de litio en Chile, según la experiencia de los profesionales involucrados en la producción minera, esto se llevó a cabo través de análisis de expertos en el sector y profesionales de la minería.

Se determinaron los desafíos ambientales que los expertos consideraron críticos en la producción de litio en Chile, y cómo estos afectan el liderazgo del país en este campo.

En consecuencia, este estudio contribuye a mejorar la comprensión de las estrategias o factores determinantes que están obstaculizando la producción masiva de este mineral en Chile, considerando la perspectiva de los principales de profesionales involucrados en el proceso. Para abordar dichas barreras se sugiere una revisión del marco regulatorio, que incentive la inversión privada, y que esto a su vez sea el motor de la incorporación de tecnologías limpias que permita dar cuenta de las necesidades y restricciones medioambientales sociales y comunitarias.

#### **4.1 Propuesta para trabajos futuros**

Como continuación de este trabajo de tesis, hay varias líneas de desarrollo que quedan pendientes, y en las que es posible continuar trabajando; algunas de ellas, están más directamente relacionadas con este trabajo de tesis y son el resultado de preguntas que han ido surgiendo durante el proceso de investigación, como otras que son más tangenciales a la investigación. A continuación, revisaremos trabajos futuros que pueden investigarse como conclusión de esta investigación:

- Ampliar la línea de investigación hacia más actores clave dentro de la industria del litio en Chile, incluyendo a ministerios y agencias gubernamentales.
- Profundizar la investigación en la percepción pública y social sobre la industria en Chile.
- Abrir una nueva línea de investigación que se centre en planes de sostenibilidad y en gestión ambiental.
- Ampliar el alcance de la investigación a los mercados internacionales, enfocándose en otros países que son productores de litio.
- Incorporar a los métodos de investigación técnicas cuantitativas que proporcionen mayor robustez estadística a los resultados.

## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agosin, M. R. (2023). Política de desarrollo productivo para Chile: una alternativa al estancamiento. Revista CEPAL 139, <https://repository.eclac.org/handle/11362/48799>
- Aguilar, F., & Zeller, L. (2012). Litio. El Nuevo Horizonte Minero. Dimensiones Sociales, Económicas y Ambientales. Córdoba: Centro de Derechos Humanos y Ambiente.
- Argento, M., & Zícari, J. (2017). Las disputas por el litio en la Argentina: ¿ materia prima, recurso estratégico o bien común?. Prácticas de Oficio. Investigación y reflexión en Ciencias Sociales, (19).
- Azócar, R. (2022). Litio, un mineral en estado líquido para la electromovilidad: Carga y descarga de salmuera en el salar de atacama. Cargar y descargar en el desierto de Atacama, 51.
- Azócar-Duarte, R. (2022). La instalación de la minería de litio en el Salar de Atacama y su relación inicial con las comunidades atacameñas: obreros, campamentos y asistencialismo (Chile, 1962-1998). Estudios atacameños, 68. [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-10432022000100111&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-10432022000100111&script=sci_arttext)
- Barberón, A. (2022). El litio en Argentina. Impacto productivo y políticas científico-tecnológicas. Ciencia, Tecnología y Política (UNLP), 5(9).
- Calvo, E. J. (2023). Electroquímica Del Litio: Desde La Extracción Sostenible De Salmueras A Las Baterías Avanzadas De Li-O2. Libro De Resúmenes Xxiii Cafqi.
- CEPAL, N. (2023). Extracción e industrialización del litio: oportunidades y desafíos para América Latina y el Caribe.
- Estrategia Nacional del Litio (2023). Recuperado 27 de octubre de 2022, de Litio por Chile website: <https://www.gob.cl/litioporchile/>
- Flores-Cerna, Fernando, Sanhueza-Salazar, Víctor-Manuel, Valdés-González, Héctor-Moisés, & Reyes-Bozo, Lorenzo. (2022). Metodologías ágiles: un análisis de los

- desafíos organizacionales para su implementación. Revista científica, (43), 38-49. Epub February 18, 2022. <https://doi.org/10.14483/23448350.18332>
- Fornillo, B. (2018). La energía del litio en Argentina y Bolivia: comunidad, extractivismo y posdesarrollo. Colombia Internacional, (93), 179-201. <https://revistas.uniandes.edu.co/index.php/colombia-int/article/view/2861>
- Fornillo, B. y Gamba, M. (2019). Industria, ciencia y política en el Triángulo del Litio. Ciencia, Docencia y Tecnología, 38(58), 1-38.
- Göbel, B. (2014). La minería de litio en Atacama: disputas sociales alrededor de un nuevo mineral estratégico. Extractivismo minero en Colombia y América Latina, 167-193.
- Nacif, F. (2018). El abc del litio sudamericano. Revista de ciencias sociales, segunda época, 34, 49- 67.
- Obaya, M., & Pascuini, P. (2020). Estudio comparativo de los modos de gobernanza del litio en la Argentina, Chile y el Estado Plurinacional de Bolivia. La gobernanza del litio y el cobre en los países andinos, 17-85.
- Poveda Bonilla, R. (2020). Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en Chile, Serie Recursos Naturales y Desarrollo No. 195. <https://repository.eclac.org/handle/11362/45683>
- Rojas-Romero, Rolando, Valdés-González, Héctor, & Reyes-Bozo, Lorenzo. (2021). Digital Transformation: Opportunity or Threat to Employability?. Revista Facultad de Ingeniería, 30(56), e104. Epub September 22, 2021. <https://doi.org/10.19053/01211129.v30.n56.2021.1329>
- Romero, A., Aylwin, J., & Didier, M. (2021). Globalización de las empresas de energía renovable: extracción de litio y derechos de los pueblos indígenas en Argentina, Bolivia y Chile (Triángulo del Litio). Observatorio Ciudadano.
- Slipak, A. y Urrutia Reveco, S. (2019). Historias de extracción, dinámicas jurídico-tributarias y el litio en los modelos de desarrollo de Argentina, Bolivia y Chile. In Fornillo, B. (coord.), Litio en Sudamérica. Geopolítica, energía y territorios. Buenos Aires. El Colectivo, 83-123.

Titelman, E. (2013). Algunas Reflexiones para una Política Nacional del Litio. *Políticas Públicas*, 5(2).

## 6 ANEXO: REPORTE DE PLAGIO

El reporte de posibilidad de plagio de este trabajo, con otros trabajos publicados entrega un porcentaje de similitud de: 10%



### Plagiarism Checker X - Report

Originality Assessment

**10%**



**Overall Similarity**

**Date:** ene. 14, 2025 (04:24 p. m.)  
**Matches:** 442 / 4310 words  
**Sources:** 19

**Remarks:** Low similarity detected, consider making necessary changes if needed.

**Verify Report:**  
Scan this QR Code



## **7 ARTÍCULO PUBLICADO EN LA REVISTA**

Romero Stevens, C. G., & Valdés-González, H. (2023). Lithium production issues in Chile: Perceptions involving the strategic resource and the common good. *Renewable Energy, Biomass & Sustainability*, 5(2), 24-31. <https://doi.org/10.56845/rebs.v5i2.85>

## Lithium production issues in Chile: Perceptions involving the strategic resource and the common good

Camila Romero-Stevens<sup>\*</sup> and Héctor Valdés-González

Faculty of Engineering, Universidad del Desarrollo, Santiago, Chile

<sup>\*</sup> Corresponding author: [camromeros@udd.cl](mailto:camromeros@udd.cl)

Received: December 6, 2023 Accepted: December 28, 2023 Published: December 30, 2023

DOI: <https://doi.org/10.56845/rebs.v5i2.85>

**Abstract:** This paper presents an analysis of the perceptions of the accelerated demand for lithium and its growing use due to technological advances, and how this demand places the reserves in the northern Chilean salars at the center of debates involving methods of exploitation and commercialization. The objective of this research is to analyze the perceptions of expert professionals in lithium production, to determine the barriers that have prevented Chile from leading the production of this highly demanded mineral. To achieve this, a qualitative approach is proposed under an interpretive paradigm, based on 30 semi-structured interviews with professionals and executives in the mining sector. The data reveals that the predominant positions tend to neutralize each other. On one hand, there is the extractivist economic model that considers mining as a strategic resource for national industry and seeks to strengthen it and make it profitable. On the other hand, there are political-environmental approaches that seek to limit the process through stricter regulations or territorial consultations focused on the common good. In summary, the different conceptions around lithium represent competing ideological models, where the economic and political-environmental debate has not yet defined what is good for our country and needs to be reviewed so as not to miss out on a potentially beneficial strategic opportunity.

**Keywords:** lithium; strategic resource; technological development; common good; salars and territories.

### Introduction

The accelerated demand for resources has sparked numerous debates in Chile and around the world about the ways of harnessing lithium resources, with positions ranging from defending the sovereignty of the resource (political perspective and others) to its potential for industrialization (extractive perspective) and turning it into a focal point for new developments in the country for new technologies. This includes direct use for export as a raw material, taking advantage of the quick profits it offers, and the previously mentioned global needs (Argento and Zicari, 2017). Similarly, environmental issues and territorial disputes are significant for lithium, raising questions about the roles assigned to transnational capital and the types of public policies that could be implemented, as well as the different types of actors in the conflict as evidenced in the strategic lithium policy communicated in 2023 (National Lithium Strategy, 2023). In all cases, these difficulties imply determining what type of economic growth model to adopt, how to distribute the surplus profits generated by lithium, scientific research, the structure of the global market, and the role lithium will play (Agosin, 2023).

*Lithium in Chile - Background:* As lithium became a key material in the global energy revolution, it aroused interest in the country's political agenda and it was suggested that it should be used as a gateway to the sustainable use of natural resources. The lithium public policy in Chile has evolved since the beginning of production in the 1980s with a subsequent production leap in the 1990s. In this regard, the main milestones of the transformation occurred in national governance, dividing lithium research into four stages or periods (Poveda, 2020): i) Stage 1. Hierarchical Governance: Strategic Resource (1970-1983) ii) Stage 2. Market Governance: Privatization and Production Leap (1984-2004) iii) Stage 3. Hierarchical Governance: Discovery of Lithium (2005-2013) iv) Stage 4. Hierarchical Governance: Lithium Boom (2014-2019). According to Agosin (2023), it is clear that Chile's economy, after experiencing growth at "Asian" rates between 1987 and 1998, has begun to stagnate. In fact, the growth rate between 2013 and 2019 was just 2.0%, barely exceeding the population growth rate, which has been approximately 1.5% due to immigration. To rekindle growth, it is crucial to diversify production and, given that the Chilean economy is small and open, this implies diversifying exports. In this regard, policies focusing on the development of green hydrogen, in which Chile possesses a clear potential comparative advantage, have been proposed. To succeed in this field, the State must coordinate public and private contributions. Additionally, leveraging the country's large lithium deposits and applying a decisive policy of transition towards green mining, partly using green hydrogen to replace hydrocarbon-based fuels, could contribute to Chile revitalizing its growth in the export sector and not losing its comparative advantages in the mining industry.

*Method of Extraction - Theory and Definitions:* The extraction of lithium from brine through solar evaporation is a slow process that consumes large amounts of water and generates a significant amount of waste. As a result, new extraction methods have been proposed, such as direct lithium extraction, ranging from lithium extraction through the pumping of ions in entropic electrochemical cells of cathodic-type lithium-ion batteries with Li<sup>+</sup> intercalation electrodes (Calvo, 2023).

Lithium is found in brines and minerals, and commercial extraction can be performed in various ways. Brine extraction is the most economical and common method of mineral production. There are several methods for extracting lithium from brines, depending on the levels of other elements in the extracted deposit. Lithium carbonate and lithium chloride are extracted from brine to obtain lithium hydroxide and metallic lithium. A pump is used to extract the brine, which is transported via pipes to a pool similar to a sink and left for the water to evaporate, leaving table salt (sodium chloride) in solid form. These pools, characterized by their blue and turquoise hues, are typical of lithium mining and are found in the Andean region of northern Argentina, Chile, and Bolivia. Subsequently, it is necessary to separate the various elements, including potassium, magnesium, lime, and sulfate, for which lime is used. After separation and reduction, liquid lithium is obtained, and solvent extraction begins in the processing plant to achieve lithium with a purity of 97%. During this process, sodium carbonate is added at a temperature between 60°C and 80°C to extract the remaining sodium carbonate in the process, resulting in the final product, lithium carbonate (Aguilar and Zeller, 2012).

*Regulatory Framework - Strategic Resources:* In Chile lithium extraction from salars is subject to specific regulations. Due to this normative framework, since the 1980s, the State has signed agreements with private companies, namely Albemarle and SQM, in which development guidelines have been established, stipulating territorial volumes and brine extraction rates, rental characteristics, and activity taxes (Obaya and Pascuini, 2020).

*Economy of Lithium and Perspectives:* Various studies, such as Nacif (2018), show that China has emerged as a prominent actor in the global economic scene recently. Its relationship with Latin America presents concrete opportunities, such as the demand for natural resources and energy, generating foreign currency income, but also brings threats. A phenomenon known as reprimarization has emerged, displacing manufacturing production and export, and reproducing a center-periphery dynamic.

The analysis of this phenomenon becomes relevant in the case of lithium, as the triangle formed by the lithium-rich salars in Argentina, Bolivia, and Chile has become a crucial source for energy transition. Chinese companies, both state-owned and private, have invested in all three countries to secure lithium reserves. Moreover, China is the main demander of lithium, giving it a key role in the entire marketing chain (Barberón, 2022; Fornillo and Gamba, 2019).

Although the three countries under study are progressing in exporting carbonate and, in the case of Chile, also lithium hydroxide, advances in adding value to the chain are so far fragmentary and limited (Slipak and Urrutia, 2019).

According to information collected by the Undersecretary of International Economic Relations (2023), during 2021, the value of exports of lithium carbonate with a purity equal to or greater than 99.2% amounted to 535.2 million US dollars, while in 2022 this value reached 3,647.5 million dollars, which represents an increase of 581%. Regarding lithium hydroxide with a purity equal to or greater than 56.5%, its exports increased from 95.4 million dollars in 2021 to 437.2 million dollars in 2022, equivalent to an increase of 358%.

This considerable increase in the total exported value can be explained by the increase in prices at the beginning of 2022. For example, the average price of lithium carbonate with a purity greater than 99.2% was 6,721 dollars in 2021, while in 2022 increased to an average of 34,370 dollars.

In terms of volumes, although a slight upward trend is observed, they did not increase as significantly as prices. In 2021, 79,628 tons of carbonate with a purity greater than 99.2% were exported, while in 2022 this figure rose to 106,125 tons. Regarding lithium hydroxide, the exported volume increased from 11,264 tons in 2021 to 14,988 tons in 2022, while the exported value increased from 95.4 million to 437.2 million dollars between 2021 and 2022.

*Impact on Local Communities and the Environment:* The lithium triangle formed by Argentina, Bolivia, and Chile contains 80% of the world's lithium, a highly profitable and easily extractable strategic resource. These countries see

lithium as an opportunity to promote technological equalization and endogenous development. The introduction of mining in the southern and northern communities of the Salar de Atacama, for example, has caused a social impact that has changed the pace of life of the inhabitants, both through the extractive companies themselves and those who serve them, generating a massive turnover of workers, which in turn has led to the masculinization of the region (Azocar-Duarte, 2022). However, despite the efforts of the region's progressive governments, the neo-extractivist approach persists, leading to the overexploitation of natural resources and privatization of the economy. Lithium represents the potential for a different kind of development, beyond increasing the gross national product, seeking environmental sustainability and equalization with modern societies in terms of consumption (Fornillo, 2018).

*The Chilean Context:* Lithium mining in the Salars de Atacama is based on a process of dispossession of common interests. After state enclosure and subsequent privatization, extractive activities altered ecosystem levels where these cultural practices could no longer continue, generating respective socio-environmental impacts (Azócar-Duarte, 2022). Lithium exploitation in the "lithium triangle" is at different stages of development, for example, between the Salar de Uyuni in Bolivia and the Salar de Atacama in Chile, the latter having been involved in lithium exploitation for several decades. Lithium extraction and refining in the Salar de Atacama are in the hands of two private companies: Sociedad Chilena de Litio (Rockwood Lithium) and Sociedad Química y Minera de Chile (SQM), which originated as a state-owned company. SQM is one of the world's leading companies dedicated to the exploitation, production, and sale of refined lithium in the form of lithium carbonate and hydroxide (Göbel, 2014; Azócar, 2022).

*Success Cases:* The Salar de Atacama is considered the most attractive lithium deposit in the world. It holds the largest known lithium reserves, and its exploitation can be carried out at lower costs than other locations due to advantages such as high concentrations, high evaporation rates, low presence of magnesium, and easy access to ports. Currently, lithium extraction in the Salar de Atacama is contractually authorized to SOQUIMICH and SCL, but it represents only a small fraction of the salar's reserves (less than 10%). Therefore, a national lithium policy is needed to define the modalities and timelines for complete sustainable exploitation of the resource in the Salar de Atacama. The best way to ensure that the economic benefits of lithium remain in the hands of the State is through the creation of a National Lithium Company, which would manage all national reserves of this mineral (Titelman, 2013).

Understanding this reality, and considering the literature review presented, the following contextual question can be raised: What are the variables that explain the barriers preventing the mass production of lithium in Chile? Indeed, the main motivation for conducting this research has been the recognition of lithium as a strategic mineral, and its scarcity can be considered as an irreplaceable or hardly replaceable mineral, in addition to being unevenly distributed. On one hand, the growing demand for the manufacture of batteries for various technological devices and the automotive industry could make it a scarce mineral in a limited time, but it must be considered that Chile possesses the world's largest reserves of this mineral, which necessarily invites the creation of a plan to successfully address productive barriers.

Therefore, a prioritization of barriers and the proposal of a development plan to address them is proposed. In this sense, this work contributes to the understanding of the strategic or key variables that are hindering a process of mass production of this mineral. Understanding this, the objective of this work is to analyze the perceptions of expert professionals in lithium production who are actively involved in Chilean mining production, to determine the barriers and limitations of a political, social-environmental, economic, and technical nature that have prevented Chile from leading the production of this mineral.

### Materials and Methods

A qualitative methodology was chosen as it is most appropriate for understanding social phenomena in depth (Flores-Cerna *et al.*, 2022). An interpretive approach was employed, since it would allow us to attribute meaning to the objects of study and to uncover their importance to those who have experienced them (Rojas-Romero *et al.*, 2021). With this, typical case sampling among professionals related to the mining industry was carried out for convenience. Professionals with an average of more than 12 years of experience were selected, and a total of 30 key informants participated. This study was conducted in the field of professionals linked to the mining industry, whose connections allow understanding of the problem from various perspectives - operational and strategic in business, governmental, and geopolitical terms. Semi-structured interviews were used to explore the informants' perspectives, focusing especially on the perceived

barriers in lithium exploitation. In addition, a focus group was used to expand and complement the information obtained in the interviews, as well as to validate it. The interviews consisted of 5 questions, which are detailed below.

1. *Where does the problem associated with lithium extraction today come from?*
2. *In practice, how does the regulatory framework for its exploitation operate today?*
3. *Do you have specific proposals for short-term, high-impact improvement or change? What are they?*
4. *What kind of threat or risk could a massive lithium extraction plan pose to the organization?*
5. *How do you see lithium production in relation to sustainability?*

To record the information, different sources such as written documents, video, and audio recordings were used. To analyze the collected data, a process of categorization using a deductive approach was carried out. Criteria were extracted that allowed observing the development of the lithium exploitation process in its various areas. In addition, attention was paid to possible situations that could arise from these documents and observations, through an inductive process. The categorization performed consisted of selecting relevant factors and elements, but it is recognized that this can be even more diverse due to the breadth of the construct and its practice. Informed and voluntary participation of the professionals involved was ensured, measures were taken to guarantee the confidentiality of the information, and the findings were validated with the participants themselves.

### Results and Discussion

Below, we present the results corresponding to the five guiding questions of the questionnaire. With the aim of clear exposition and more comprehensible reading for this project, we have chosen to incorporate only the data relevant to this study. Figure 1 show the main categories into which the responses to each interview question were organized. In the following section, the different responses for each category are presented in more detail; in order to ensure clarity, only the data that was considered relevant to each question is incorporated.

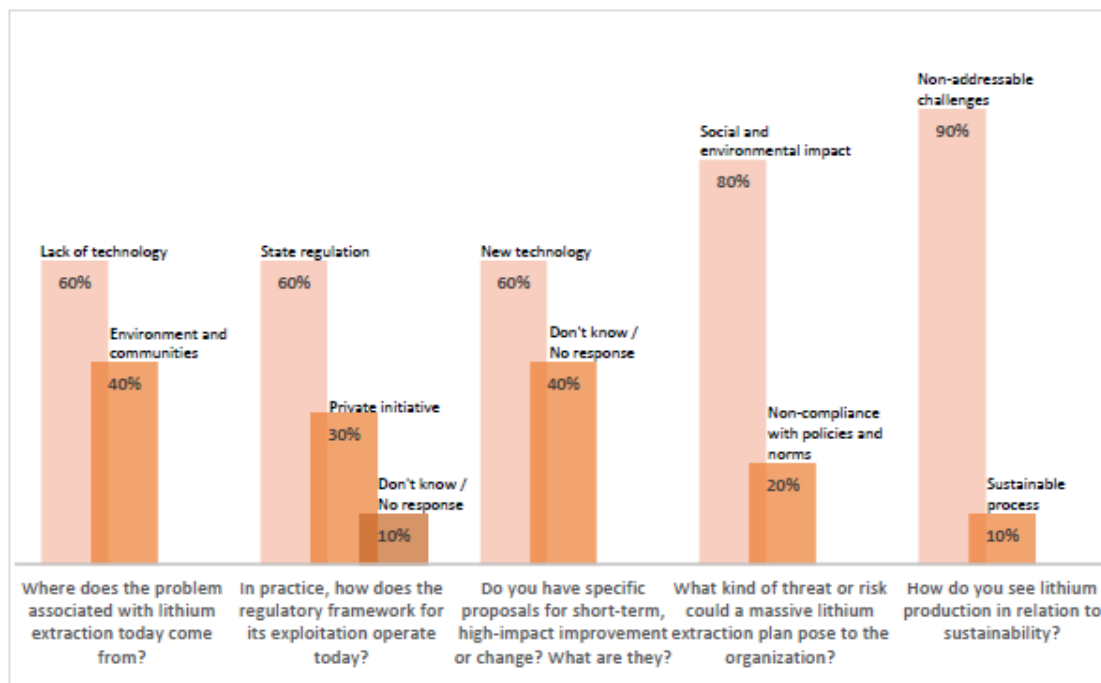


Figure 1. Categories and Representations

---

*Item 1: Where does the problem associated with lithium extraction today come from?*

Reviewing the general results of the first question of the questionnaire (Table I), we find that 18 of the 30 respondents associate the current problem in lithium extraction with the lack of technology in the mineral extraction processes, and hence the inefficiency of the process. In the responses categorized in this section, we find very similar phrases among the key informants, such as:

*"I believe that the problem associated with lithium extraction today mainly comes from the lack of technology in the brine extraction processes" (Interviewee 10) and "The problem comes from the processing times and obtaining the processed mineral, since the demand is high and the processing times are slow, which in the medium term leads to looking for a substitute of lower value and with much more efficient processing time" (Interviewee 6).*

The other notable issue in the results was associated with environmental impact and communities in the areas surrounding the extraction zones, as reflected in comments like these:

*"The majority of lithium extraction is from arid deserts where water is used, which is scarce and threatens the flora and fauna of vulnerable ecosystems. In addition, it affects indigenous communities in the area" (Interviewee 3) and "The problem lies in soil contamination with hazardous waste, alteration of the natural surface water flow, disruption of the water balance, and impact on native flora and communities in the area" (Interviewee 7).*

*Item 2: In practice, how does the regulatory framework for its exploitation operate today?*

Reviewing the general results of the second question of the questionnaire (Table I), we find that most of the respondents (21/30) are aware of how the regulatory framework for lithium exploitation operates, being public-private and regulated by the State, as well as knowing the two companies that are currently authorized for the extraction and marketing of the mineral. The responses in this category included:

*"Since 1979, the extraction and marketing of lithium have been reserved by the State as it was declared non-concessionable; however, in 1980 the first contract with Albemarle was established in the constitution to exploit lithium through special exploitation contracts" (Interviewee 4) and "As it has been declared by the State as a non-concessionable mineral, its extraction is reserved exclusively for the State, that is why currently there are only two companies with permits for its extraction in the Salar de Atacama, which are SQM and Albemarle" (Interviewee 15).*

*Item 3: Do you have specific proposals for short-term, high-impact improvement or change? What are they?*

In their responses to this question, 21 of the 30 respondents propose as a central axis, the application of new technologies with the goal of reducing pollution, protecting natural resources, and shortening the mineral processing time. Here are some examples of their comments:

*"In my opinion, there are no short-term measures other than reducing the contamination of the salars and respecting indigenous peoples. However, we should innovate in technology to avoid the evaporation of the brines and reduce the lithium extraction time, which is about 18 months" (Interviewee 3) and "A major improvement would be to seek new technologies and change materials to protect underground aquifers, as a way of protecting the Salar" (Interviewee 8).*

Another notable issue in the results is that the second category is associated with updating legal regulations and allowing private investment in the industry, with the aim of improving productivity levels, as stated, for example:

*"To encourage private investment, with good tax collection, without the State apparatus directly operating in the extraction, to eliminate State expenses and generate tax revenues by encouraging private parties to invest and have good productivity levels" (Interviewee 15) and "To update the legal regulations, streamline the*

*awarding processes with clear, efficient rules, including for the environmental and social impact, and improvement proposals from private investors. Incentives in tax reductions, according to production levels that leave significant tax revenues, thus encouraging production, with good profitability for private parties and for the treasury a good source of revenue" (Interviewee 9).*

**Item 4: What kind of threat or risk could a massive lithium extraction plan pose to the organization?**

In this section, 24 of the 30 respondents mentioned that a massive lithium extraction plan could cause considerable environmental and social impact, which could lead to the devastation of the ecosystem and significantly affect the communities in the area. Some typical responses included:

*"A massive lithium extraction plan would produce a devastation of the ecosystem and this non-renewable resource, generating a negative impact related to environmental pollution and a water imbalance in the sector" (Interviewee 1) and "A massive lithium extraction plan would lead to overexploitation, accumulation of excess mineral stock, with the respective drop in prices and a high environmental impact, in addition to the impact on communities near the deposits" (Interviewee 11).*

On the other hand, some key informants believe that a massive extraction plan would lead to non-compliance with current regulations:

*"A massive lithium extraction plan could lead to non-compliance with policies and regulatory norms, the same thing that has happened with copper extraction in our country" (Interviewee 16).*

**Item 5: How do you see lithium production in relation to sustainability?**

For this question, almost all of the respondents affirmed that lithium production can be a great contribution to reducing the carbon footprint, but that there are many challenges associated with achieving this, as evidenced by opinions such as:

*"Lithium production can play an important role in the transition to a low-carbon and sustainable economy. However, to ensure sustainability, it is essential to address the environmental, social, and economic challenges associated with its extraction and production. This means adopting sustainable practices, respecting the rights of local communities, and promoting equitable economic development" (Interviewee 12) and "Companies must have a vision of sustainability, respect for the environment and communities, along with innovative technology applicable to lithium exploitation and extraction, adding value to the extraction or obtaining of wealth, encouraging the creation of the industry of products related to lithium and thus create employment and add value to the raw material" (Interviewee 25).*

The results obtained from this exploratory study show interesting findings regarding how the lithium industry in Chile is perceived, such as the lack of advanced technology for obtaining the mineral, and therefore the inefficiency of the process, and concern for environmental impact and communities. Particularly concerning is the possibility of massive lithium extraction, which could cause significant environmental and social impacts. There is also understanding of the public-private operation regulated by the State, and the need to reduce environmental pollution and protect natural resources, as well as to decrease the processing time of the mineral. It is perceived that the lack of an update in legal regulations to facilitate up private investment in the industry is resulting in difficulties in reducing the carbon footprint. These findings are in line with the results proposed by (ECLAC, 2023; Romero *et al.*, 2019), where the same concerns are held for different contexts.

The study of perceptions reveals several key challenges in lithium production, highlighting the need to comprehensively address technological development, infrastructure, and the training of qualified personnel. Special attention must be paid to extraction costs, as these could exceed those of nearby competitors (Amato *et al.*, 2021), which could affect the economic viability of lithium production.

In terms of environmental impact, lithium exploitation has been criticized, especially due to the use of non-renewable resources, such as water, and its impact on the environment. Lithium extraction is directly linked to water resource management, becoming a strategic natural resource with direct implications for national interests and the country's capabilities. In addition, extraction infrastructure can have significant impacts on the flora and fauna of previously unaffected areas, turning these impacts into socio-environmental problems (Kaunda, 2020).

Another critical aspect is the perception and tensions generated in local communities. Although the industrialization of lithium could boost the country's economic development, concerns and debates within local communities and environmental groups have generated social and political tensions. The relativization of impacts and the compensation of social shortcomings to neutralize possible claims in favor of environmental preservation are phenomena present in this scenario (Liu and Agusdinata, 2020).

In the national context, Chile perceives itself as the world's leading lithium producer, and the National Strategy proposed in 2023 seeks to enhance the country's wealth through the development of this key industry. This approach is seen as a fundamental step in linking Chile's economic growth with the transition to a global green economy, highlighting the strategic importance of lithium in the government's agenda (National Lithium Strategy, 2023). However, to become the main global lithium producer, or to sustain that productive role, the recently proposed strategy is perceived as insufficient and would require a review to speed up private investment in this industry.

## Conclusions

This study establishes that the variables perceived as most important and explaining the barriers preventing the mass production of lithium in Chile in a prioritized manner are:

- Lack of appropriate technology for the processes of obtaining the mineral;
- Updating the legal regulations to speed up private investment;
- Environmental impact;
- The need to reduce the carbon footprint;
- Social and community implications.

To this end, the perceptions of expert professionals in lithium production were analyzed to determine the main barriers that have prevented Chile from leading the production of this mineral in recent decades. Indeed, the lack of incorporation of technologies and a regulatory framework that unites efforts focused on the sustainable development of this mining industry, which has not happened with copper, are identified as the main obstacles. Consequently, this study contributes to improving the understanding of the strategies or determining factors that are hindering the mass production of this mineral in Chile, considering the perspectives of the professionals involved in the process. To address these barriers, a review of the regulatory framework is suggested, which incentivizes private investment, and in turn, this should be the driver for the incorporation of clean technologies that meet environmental, social, and community needs and restrictions.

**Acknowledgments and Funding:** The principal author of this work wishes to thank the Master's Program in Industrial and Systems Engineering, and the Head of Research at the Faculty of Engineering, Universidad del Desarrollo de Chile, for the financial and administrative support provided for the development and publication of this work.

**Author contributions:** V.G.-H. and R.S.-C.: review, editing and writing; V.G.-H. and R.S.-C.: interview and survey; V.G.-H.: supervision; R.S.-C.: analysis of strategies. Both authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

## References

- Agosin, M. R. (2023). Política de desarrollo productivo para Chile: una alternativa al estancamiento. *Revista CEPAL*, 139, <https://repository.eclac.org/handle/11362/48799>
- Aguilar, F., & Zeller, L. (2012). Litio. El Nuevo Horizonte Minero. Dimensiones Sociales, Económicas y Ambientales. Córdoba: Centro de Derechos Humanos y Ambiente.
- Amato, A., Becci, A., Villen-Guzman, M., Vereda-Alonso, C., & Beolchini, F. (2021). Challenges for sustainable lithium supply: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 300, 126954. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126954>

- Argento, M., & Zicari, J. (2017). Las disputas por el litio en la Argentina: ¿materia prima, recurso estratégico o bien común?. *Prácticas de Oficio. Investigación y reflexión en Ciencias Sociales*, (19).
- Azócar, R. (2022). Litio, un mineral en estado líquido para la electromovilidad: Carga y descarga de salmuera en el salar de atacama. *Cargar y descargar en el desierto de Atacama*, 51.
- Azócar-Duarte, R. (2022). La instalación de la minería de litio en el Salar de Atacama y su relación inicial con las comunidades atacameñas: obreros, campamentos y asistencialismo (Chile, 1962-1998). *Estudios atacameños*, 68. [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=50718-10432022000100111&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=50718-10432022000100111&script=sci_arttext)
- Barberón, A. (2022). El litio en Argentina. Impacto productivo y políticas científico-tecnológicas. *Ciencia, Tecnología y Política (UNLP)*, 5(9).
- Calvo, E. J. (2023). Electroquímica Del Litio: Desde La Extracción Sostenible De Salmueras A Las Baterías Avanzadas De Li-O2. *Libro De Resúmenes Xxiii Cafqi*.
- CEPAL, N. (2023). Extracción e industrialización del litio: oportunidades y desafíos para América Latina y el Caribe.
- Estrategia Nacional del Litio (2023). Recuperado 27 de octubre de 2022, de Litio por Chile website: <https://www.gob.cl/litiorporchile/>
- Flores-Cerna, Fernando, Sanhueza-Salazar, Víctor-Manuel, Valdés-González, Héctor-Moisés, & Reyes-Bozo, Lorenzo. (2022). Metodologías ágiles: un análisis de los desafíos organizacionales para su implementación. *Revista científica*, (43), 38-49. Epub February 18, 2022. <https://doi.org/10.14483/23448350.18332>
- Fornillo, B. (2018). La energía del litio en Argentina y Bolivia: comunidad, extractivismo y posdesarrollo. *Colombia Internacional*, (93), 179-201. <https://revistas.uniandes.edu.co/index.php/colombia-int/article/view/2861>
- Fornillo, B. y Gamba, M. (2019). Industria, ciencia y política en el Triángulo del Litio. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 38(58), 1-38.
- Göbel, B. (2014). La minería de litio en Atacama: disputas sociales alrededor de un nuevo mineral estratégico. *Extractivismo minero en Colombia y América Latina*, 167-193.
- Kaunda, R. B. (2020). Potential environmental impacts of lithium mining. *Journal of energy & natural resources law*, 38(3), 237-244. <https://doi.org/10.1080/02646811.2020.1754596>
- Liu, W., & Agusdinata, D. B. (2020). Interdependencies of lithium mining and communities sustainability in Salar de Atacama, Chile. *Journal of Cleaner Production*, 260, 120838. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120838>
- Nacif, F. (2018). El abc del litio sudamericano. *Revista de ciencias sociales, segunda época*, 34, 49- 67.
- Obaya, M., & Pascuini, P. (2020). Estudio comparativo de los modos de gobernanza del litio en la Argentina, Chile y el Estado Plurinacional de Bolivia. *La gobernanza del litio y el cobre en los países andinos*, 17-85.
- Poveda Bonilla, R. (2020). Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en Chile, *Serie Recursos Naturales y Desarrollo*, 195. <https://repository.eclac.org/handle/11362/45683>
- Subsecretaría de Relaciones Económicas Internacionales.(07 de julio de 2023). Radiografía del mercado del litio una perspectiva desde el comercio internacional.[https://www.subrei.gob.cl/docs/default-source/default-document-library/informe-evolucion-exportaciones-litio.pdf?sfvrsn=cb40735f\\_0](https://www.subrei.gob.cl/docs/default-source/default-document-library/informe-evolucion-exportaciones-litio.pdf?sfvrsn=cb40735f_0)
- Rojas-Romero, Rolando, Valdés-González, Héctor, & Reyes-Bozo, Lorenzo. (2021). Digital Transformation: Opportunity or Threat to Employability?. *Revista Facultad de Ingeniería*, 30(56), e104. Epub September 22, 2021. <https://doi.org/10.19053/01211129.v30.n56.2021.1329>
- Romero, A., Aylwin, J., & Didier, M. (2019). Globalización de las empresas de energía renovable: Extracción de litio y derechos de los pueblos indígenas en Argentina, Bolivia y Chile ("Triángulo del Litio"). *Centro de Información sobre Empresas y Derechos Humanos/Observatorio Ciudadano*, 1-58. [https://media.business-humanrights.org/media/documents/files/documents/INFORME\\_LITIO\\_FINAL\\_PARA\\_WEB.pdf](https://media.business-humanrights.org/media/documents/files/documents/INFORME_LITIO_FINAL_PARA_WEB.pdf)
- Slipak, A. y Urrutia Reveco, S. (2019). Historias de extracción, dinámicas jurídico-tributarias y el litio en los modelos de desarrollo de Argentina, Bolivia y Chile. In Fornillo, B. (coord.), *Litio en Sudamérica. Geopolítica, energía y territorios*. Buenos Aires. El Colectivo, 83-123.
- Titelman, E. (2013). Algunas Reflexiones para una Política Nacional del Litio. *Políticas Públicas*, 5(2).