

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Impacto social de la extracción del litio

Autor:

Valera Blanco, Pablo

Tutor:

Cáceres Gómez, Santiago

Departamento de Tecnología
Electrónica de la Universidad de
Valladolid

Valladolid, mayo 2025.

RESUMEN

Este trabajo analiza los impactos sociales asociados a la extracción de un recurso crítico en la industria moderna, como es el litio. Se revisa la importancia de llevar a cabo este tipo de evaluaciones en un contexto técnico, además de una exploración de sus propiedades para comprender su relevancia actual. Despues se investiga que métodos de extracción se utilizan y en que regiones, vislumbrando cuáles de ellos poseen mayores problemáticas sociales reportadas, a fin de evaluar un caso de estudio relevante. Finalmente se lleva a cabo una evaluación de impacto social del caso de estudio seleccionado, de acuerdo a una metodología apropiada y mediante una revisión bibliográfica. El objetivo es examinar críticamente los efectos sociales de este tipo de actividades y contribuir a la incorporación de criterios éticos y sostenibles en la práctica profesional de la ingeniería.

PALABRAS CLAVE

Litio, impacto social, evaluación, extracción, sostenibilidad.

ABSTRACT

This paper analyzes the social impacts associated with the extraction of a critical resource for modern industry: lithium. It begins with a review of the importance of incorporating such assessments into technical contexts, as well as an exploration of the properties that explain lithium's growing relevance. Next, the main extraction methods and the regions where they are applied are investigated, identifying which have the most reported social problems, in order to select a representative case study. Finally, a social impact assessment is carried out on the selected case, using an appropriate methodology and based on a comprehensive literature review. The aim is to critically examine the social effects of such activities and contribute to the integration of ethical and sustainable criteria into professional engineering practice.

KEY WORDS

Lithium, social impact, assessment, extraction, sustainability.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	13
Contexto y motivación	13
Objetivos del trabajo	21
Metodología de investigación	22
Estructura del trabajo.....	22
Capítulo 1: JUSTIFICACIÓN DEL ANÁLISIS DE IMPACTO SOCIAL EN LA INGENIERÍA	23
1.1 Breve definición de impacto social y análisis de impacto social aplicado a la ingeniería.....	23
1.2 Relevancia en proyectos industriales (ámbito profesional)	24
1.2.1 Reducción de conflictos e impactos negativos	24
1.2.2 Mejora de la sostenibilidad	25
1.2.3 Cumplimiento de normas y estándares internacionales.....	25
1.3 Principios éticos en la práctica de la ingeniería y competencias profesionales deseables en un ingeniero	26
1.3.1 Principios fundamentales del código de ética del NSPE.....	27
1.3.2 Graduate Attributes and Professional Competencies de la IEA	27
1.3.3 Relación entre los marcos y el impacto social	28
Capítulo 2: CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DEL LITIO EN LA INDUSTRIA, PRINCIPALES MÉTODOS Y REGIONES DE EXTRACCIÓN	30
2.1 Propiedades relevantes para sus distintas aplicaciones	30
2.1.1 Propiedades físico-químicas del litio	30
2.1.2 Aplicaciones del litio	33
2.2 Principales métodos de extracción.....	37
2.2.1 Minería en roca dura	38
2.2.2 A partir de salmueras	41
2.2.3 Comparación de métodos y conclusiones.....	42
2.3 Principales países y regiones extractores de litio.....	43
2.3.1 Sudamérica, el Triángulo del Litio	44
2.3.2 Australia.....	44
2.3.3 China.....	44
2.3.4 Otros países relevantes	45
2.3.5 Conclusiones, caso de estudio	45

Capítulo 3: SELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO SOCIAL	48
.....
3.1 Tipos de evaluación de impacto social	48
3.1.1 Social Life Cycle Assessment (S-LCA)	49
3.1.2 Evaluación de Impacto Social (EIS) promovida por la IAIA	53
3.2 Justificación de la metodología seleccionada	57
Capítulo 4: EVALUACIÓN DE IMPACTO SOCIAL APlicado A LA EXTRACCIÓN DEL LITIO.....	59
.....
4.1 Contexto	59
4.2 Fase 1: Definición de objetivo y alcance	61
4.2.1 Objetivo del estudio	61
4.2.2 Alcance del estudio	62
4.3 Fase 2: Inventario del ciclo de vida (S-LCI).....	70
4.3.1 Identificación de las fuentes	70
4.3.2 Recolección y sistematización de los distintos tipos de datos.....	73
4.3.3 Evaluación de la calidad de los datos	74
4.3.4 Análisis preliminar de impactos	75
4.4 Fase 3: Evaluación de impacto (S-LCIA)	76
4.4.1 Trabajadores/as	78
4.4.2 Comunidades locales	86
4.4.3 Sociedad	99
4.5 Fase 4: Interpretación.....	105
4.5.1 Síntesis de resultados por grupo de interés.....	106
4.5.2 Puntos críticos (<i>hotspots</i>).....	108
4.5.3 Recomendaciones	108
CONCLUSIONES	110
BIBLIOGRAFÍA	112

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. "Muestras de puntajes de SR de los estudiantes a lo largo del tiempo". (Bielefeldt & Canney, 2016, p. 5)	14
Ilustración 2. "Los 90 elementos naturales que lo componen todo" (EuChemS, 2023)	16
Ilustración 3. "Materias primas críticas (Materias primas estratégicas en cursiva)" (Grohol & Veeh, 2023, p. 7).....	16
Ilustración 4. "Materias primas estratégicas y críticas utilizadas en las tecnologías en alcance" (Carrara et al., 2023, p. 8).....	17
Ilustración 5. "Estructura general de la metodología de criticidad" (Grohol & Veeh, 2023, p. 22).....	17
Ilustración 6. "Cambios en SR y EI de materias primas de 2020 a 2023" (Grohol & Veeh, 2023, p. 43).....	18
Ilustración 7. "Previsión de demanda de materiales para todos los sectores: global" (Carrara et al., 2023, p. 13).....	19
Ilustración 8. "Resultados de la evaluación de riesgos sociales seleccionados de diferentes configuraciones de la cadena de suministro" (Thies, 2019, p. 296)	20
Ilustración 9. "Meta 12.6 del ODS 12" (United Nations, 2016)	26
Ilustración 10. "Tabla periódica de los elementos químicos" (Wikimedia Commons, 2009)	30
Ilustración 11. "Litio metálico flotando en aceite". (Real Sociedad Española de Química, 2019, p. 65).....	31
Ilustración 12. "Propiedades de los metales alcalinos". (Greenwood & Earnshaw, 1997, p. 75).....	32
Ilustración 13. "Los valores de las primeras energías de ionización de los elementos". (E. Housecroft & G. Sharpe, 2005, p. 61)	32
Ilustración 14. "Proporción del consumo de litio en diversos campos en 2021" (Y. Liu et al., 2023, p. 210).	33
Ilustración 15. "Selección de materias primas utilizadas en baterías de Li-ion y su función." (Carrara et al., 2023, p. 23)	34
Ilustración 16. "Densidad de energía gravimétrica y volumétrica específica de diversas tecnologías de baterías" (Lebedeva et al., 2020, p. 4)	35
Ilustración 17. "Características de energía específica y potencia específica de varias tecnologías de baterías" (Lebedeva et al., 2020, p. 4).....	35
Ilustración 18. "Recursos de litio". (Mojid et al., 2024, p. 3)	37
Ilustración 19. "Comparación de diferentes métodos de extracción de litio a partir de espodumena y lepidolita."(Y. Liu et al., 2023, p. 218).....	38
Ilustración 20. "Esquema de la recuperación de litio en salares mediante el proceso de evaporación/cristalización". (Flexer et al., 2018, p. 1191).....	41

Ilustración 21. "Capacidad de la mina de litio por ubicación y sede de la empresa propietaria en 2020" (Carrara et al., 2023, p. 29)	43
Ilustración 22. "Principales proveedores de CRM de la UE" (Grohol & Veeh, 2023, p. 14).....	46
Ilustración 23. "Descripción general de la producción y el comercio mundial de litio." (Sun et al., 2017, p. 5).....	46
Ilustración 24. "Alcance, tipos de impacto y objeto de estudio". (UNEP, 2020, p. 21)	49
Ilustración 25. "Lista de categorías de partes interesadas y subcategorías de impacto". (UNEP, 2020, p. 23)	50
Ilustración 26. "Fases del S-LCA". (UNEP, 2020, p. 21)	52
Ilustración 27. "Ciclo de proyecto típico y rol potencial de la EIS en cada fase" (Vanclay et al., 2015, p. 6)	54
Ilustración 28. "Las fases de la evaluación de impacto social" (Vanclay et al., 2015, p. 7).....	55
Ilustración 29. "Localización del Salar de Atacama dentro del triángulo del litio". (Obaya et al., 2024, p. 5).....	59
Ilustración 30. Sistema del producto. (Elaboración propia)	63
Ilustración 31. "Procesos productivos en el Salar de Atacama" (SQM Litio, 2022, p. 143).	64
Ilustración 32. "Área de influencia social Salar de Atacama" (SQM Litio, 2018, p. 7).	65
Ilustración 33. "Comunidades en torno al Salar de Atacama" (SQM Litio, 2022, p. 207).	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Calidad de los datos según la categoría asignada de fuente	74
Tabla 2. Síntesis de <i>hotspots</i> sociales preliminares	76
Tabla 3. Puntuación para determinar el desempeño social de la actividad de la empresa SQM en el Salar de Atacama correspondiente a cada subcategoría.....	77
Tabla 4. Resumen del desempeño social de SQM en el Salar de Atacama para: Trabajadores/as	106
Tabla 5. Resumen del desempeño social de SQM en el Salar de Atacama para: Comunidades locales.....	107
Tabla 6. Resumen del desempeño social de SQM en el Salar de Atacama para: Sociedad	107

INTRODUCCIÓN

Contexto y motivación

Los ingenieros desempeñan un papel fundamental en la realización de proyectos técnicos que transforman, o pueden transformar, el entorno circundante de múltiples maneras. Por lo tanto, es vital que estas personas desarrollen una conciencia social sólida desde las primeras etapas de formación. Es decir, no solo deben centrar su atención en la eficiencia y la viabilidad técnica de sus proyectos; sino que también han de considerar las consecuencias sociales y ambientales de sus decisiones (Canney & Bielefeldt, 2015).

El análisis de impacto social es vital por varias razones. En primer lugar, permite identificar y mitigar posibles efectos adversos sobre las comunidades locales, promoviendo así un desarrollo sostenible (Vanclay et al., 2013). En este sentido, integrar una perspectiva de responsabilidad social en la práctica de la ingeniería mejora la aceptación social además de fortalecer la reputación corporativa.

De acuerdo a diversos estudios, las empresas que demuestran un compromiso con la sostenibilidad y el bienestar social tienden a ganar mayor confianza y lealtad por parte de la comunidad y otros grupos de interés (Ali et al., 2024; Vanclay et al., 2013). Por otro lado, han demostrado que los proyectos con impactos sociales negativos pueden generar consecuencias económicas negativas. Por ejemplo, la resistencia y el rechazo de las comunidades pueden llevar a retrasos y aumentos de costos en los proyectos de infraestructura (Franks et al., 2014; Vanclay et al., 2015).

Como consecuencia de lo expuesto, las regulaciones internacionales y locales cada vez son más estrictas exigiendo evaluaciones de impacto social como parte integral de la planificación y ejecución de proyectos de ingeniería (IFC, 2012). Esto no solo trata de garantizar que los proyectos se lleven a cabo de manera ética, sino que también previene a las empresas de posibles sanciones y litigios, en el mencionado contexto de creciente rigor normativo.

La necesidad de que los ingenieros desarrollen las mencionadas habilidades se ven reflejadas en el “*Code of Ethics for Engineers*” de la *National Society of Professional Engineers* (NSPE) y el documento “*Graduate Attributes & Professional Competencies*” de la *International Engineering Alliance* (IEA). Donde señalan que estos tienen la responsabilidad de salvaguardar la salud, la seguridad y el bienestar del público y comprender los impactos sociales y ambientales de las soluciones tecnológicas que implementan (Code of Ethics | National Society of Professional Engineers, s. f.; IEA, 2021).

Para poder comprobar si estos principios se están fortaleciendo o no, se han desarrollado herramientas para medir la responsabilidad profesional en la ingeniería. Por ejemplo, estudios como el *"Validity and Reliability Evidence of the Engineering Professional Responsibility Assessment Tool"*, han llevado a cabo métodos para evaluar cómo los ingenieros consideran su responsabilidad social en la práctica profesional.

Este estudio destaca que los nuevos estudiantes de ingeniería están cada vez más predispuestos a evaluar las implicaciones sociales de sus proyectos, además de las técnicas. Sin embargo, revela un aspecto alarmante: durante el periodo de formación universitaria, la conciencia de responsabilidad social de los estudiantes tiende a decrecer, lo cual es preocupante dado el mencionado creciente enfoque en la ingeniería ética y sostenible (Bielefeldt & Canney, 2016). Esto sugiere que las instituciones educativas, a pesar de promover habilidades técnicas, podrían no estar reforzando adecuadamente la importancia de tener en consideración los impactos sociales, en los futuros ingenieros.

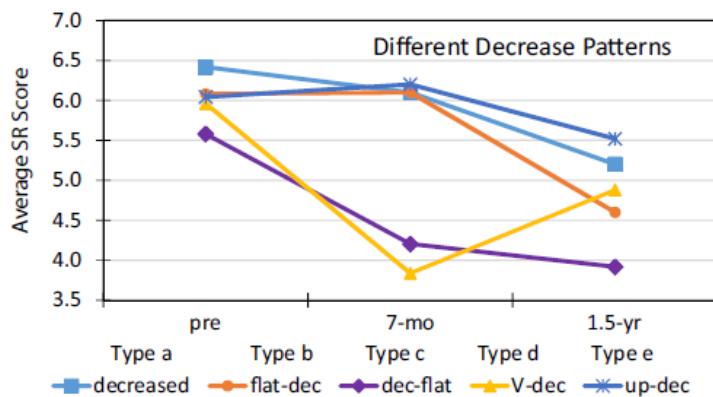


Ilustración 1. “Muestras de puntajes de SR de los estudiantes a lo largo del tiempo”. (Bielefeldt & Canney, 2016, p. 5)

Como se observa en la ilustración 1, el coeficiente de Responsabilidad Social (SR, por sus siglas en inglés) tiende a decrecer con el paso del tiempo para estudiantes de distintos grados en ingeniería. Este fenómeno resulta especialmente preocupante, dado que los desafíos globales como el cambio climático, la escasez de recursos naturales y las crecientes desigualdades sociales requieren de una ingeniería que esté alineada con los principios de sostenibilidad y responsabilidad ética.

En este contexto, la ingeniería posee un rol crucial en la transición hacia un futuro más sostenible. Esta tesitura adquiere aún mayor relevancia en sectores

industriales con potenciales altos impactos ambientales y sociales, donde cada fase de los proyectos puede tener repercusiones significativas en las comunidades y el entorno. Para comprender cómo estos principios se aplican en la práctica, resulta esencial analizar casos específicos que ilustren los desafíos y oportunidades inherentes a la ingeniería responsable.

De entre los diversos sectores industriales, aquellos dedicados a la producción de bienes destacan por la magnitud de sus implicaciones sociales y ambientales. Esto se debe a que el ciclo de vida de estos productos abarca múltiples fases (prefabricación, fabricación, uso y gestión de desechos) (Labuschagne & Brent, 2005), cada una de las cuales ya genera un impacto significativo por sí sola. Dichos impactos son tal, que la comisión europea ha elaborado el “Nuevo plan de acción para la economía circular” como marco para productos sostenibles (*Circular Economy Action Plan - European Commission, 2020*) con el objetivo de paliar los efectos negativos que estos pueden generar.

En particular, los productos que dependen de recursos naturales críticos, fundamentales para la economía global, requieren un análisis riguroso de sus implicaciones. Sin una gestión adecuada, los impactos negativos actuales pueden intensificarse y derivar en problemas aún más graves en el futuro.

Dada esta tesisura, donde los recursos naturales críticos pueden desempeñar un rol imprescindible, se ha decidido enfocar este trabajo en el litio, específicamente, en una fase crítica de su ciclo de vida: la extracción. Esta elección responde a varios factores que se van a exponer a continuación.

En primer lugar, se trata de un mineral omnipresente en la actual era digital (EuChemS, 2023). Como se muestra en la ilustración 2, es parte de los elementos que conforman la mayoría de dispositivos electrónicos que se fabrican hoy en día.

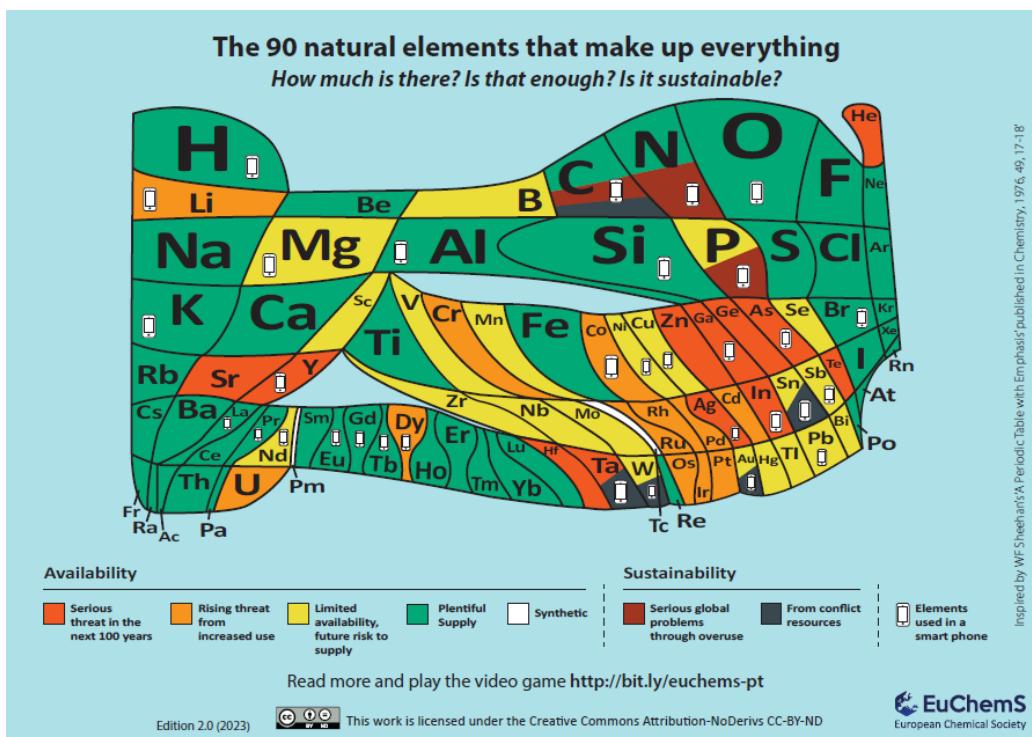


Ilustración 2. “Los 90 elementos naturales que lo componen todo” (EuChemS, 2023)

Aparece de color naranja en un tono claro, lo cual indica que hay una creciente amenaza en su disponibilidad debido al incremento en su uso.

El litio, según el informe de la Comisión Europea “Study on the critical Raw materials” (Grohol & Veeh, 2023), está catalogado dentro la categoría de materiales críticos y en específico como estratégico.

2023 Critical Raw Materials (<i>Strategic Raw Materials in italics</i>)			
aluminium/bauxite	coking coal	<i>lithium</i>	phosphorus
antimony	feldspar	<i>LREE</i>	scandium
arsenic	fluorspar	<i>magnesium</i>	<i>silicon metal</i>
baryte	<i>gallium</i>	<i>manganese</i>	strontium
beryllium	<i>germanium</i>	<i>natural graphite</i>	tantalum
<i>bismuth</i>	hafnium	niobium	<i>titanium metal</i>
<i>boron/borate</i>	helium	PGM	<i>tungsten</i>
<i>cobalt</i>	<i>HREE</i>	phosphate rock	vanadium
		<i>copper</i> *	<i>nickel</i> *

Ilustración 3. “Materias primas críticas (Materias primas estratégicas en cursiva)” (Grohol & Veeh, 2023, p. 7)

Este documento lo identifica como un recurso esencial debido a su papel en la transición energética y su uso en tecnologías punteras como las baterías de vehículos eléctricos, la energía renovable y dispositivos electrónicos avanzados.

Supply Risk	Raw material	Battery	Wind	Hydro	Oil	Gas	Solar	EV	Wind	Hydro	Oil	Gas	Solar	EV	Wind	Hydro	Oil	Gas	Solar	EV
4.8	Gallium				•				•	•	•			•	•	•	•	•	•	•
4.1	Magnesium		•							•	•	•		•	•	•	•	•	•	•
4.0	REE (magnets)	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•
3.8	Boron	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
2.7	PGM	•	•							•	•	•		•	•	•	•	•	•	•
1.9	Lithium	•								•	•	•		•	•	•	•	•	•	•

Ilustración 4. “Materias primas estratégicas y críticas utilizadas en las tecnologías en alcance” (Carrara et al., 2023, p. 8)

El litio es considerado crítico no solo por su escasez relativa y su creciente demanda, sino también por el riesgo que representa para las cadenas de suministro globales (Grohol & Veeh, 2023).

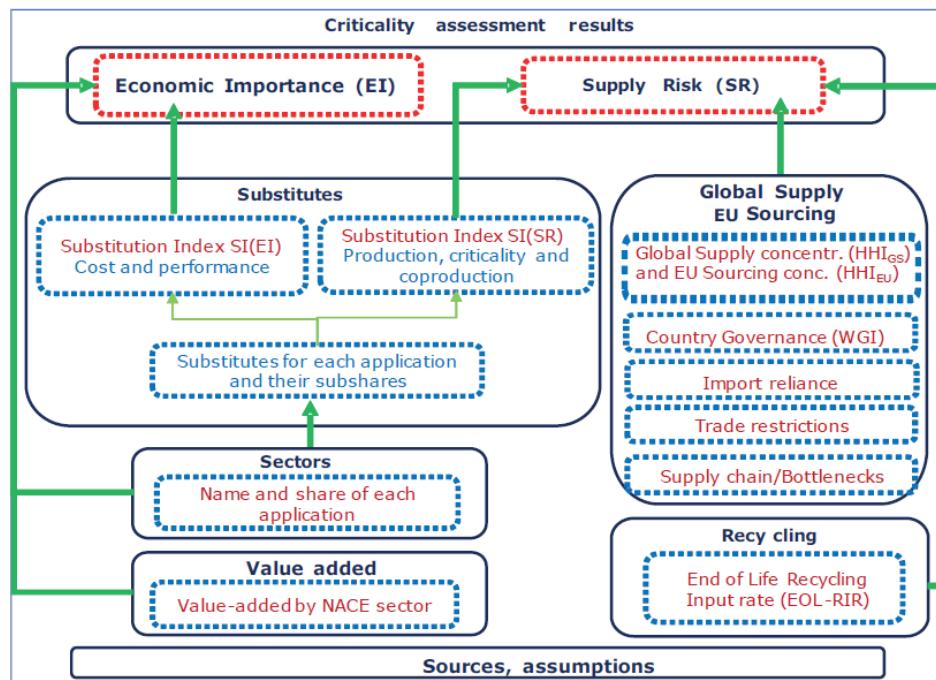


Ilustración 5. “Estructura general de la metodología de criticidad” (Grohol & Veeh, 2023, p. 22)

En la ilustración 5 se puede ver los dos parámetros para la evaluación de la criticidad de un material que utiliza este estudio y de qué dependen cada uno de ellos. De acuerdo a este informe, un material se considera crítico si posee un factor de “Importancia Económica” (EI, por sus siglas en inglés: *Economic Importance*) igual o superior a 2.8 y un factor de “Riesgo de Suministro” (SR, por sus siglas en

inglés: *Supply Risk*) mayor o igual a 1.0, cuanto mayores factores de ‘EI’ y de ‘SR’ posee un material más crítico se considera.

Por un lado, la “Importancia Económica” depende de varios elementos. Uno de ellos es el Valor Añadido (*Value Added*), que refleja la contribución de los sectores industriales al valor añadido, clasificados según el sistema NACE. También influyen los “Sectores” (*Sectors*), que identifican la participación de cada aplicación en la economía. Por último, los “Sustitutos” (*Substitutes*) consideran los índices de sustitución, que evalúan el costo y el desempeño de las posibles alternativas.

Por otro lado, el “Riesgo de Suministro” está determinado por tres factores principales. En primer lugar, El “Suministro global/Abastecimiento en la UE” (*Global Supply/EU Sourcing*), que incluye la concentración del suministro global, el gobierno de los países productores, la dependencia de las importaciones, las restricciones comerciales y los cuellos de botella en la cadena de suministro. En segundo lugar, el “Reciclaje” (*Recycling*) que considera la tasa de reciclaje al final de la vida útil de los productos, conocida como “Tasa de entrada de reciclaje al final de su vida útil” (EOL-RIR, por sus siglas en inglés: *End of Life Recycling Input Rate*). Por último, los “Sustitutos” (*Substitutes*) consideran los índices de sustitución que evalúan, en este caso, la producción, la criticidad y la coproducción de las posibles alternativas. A lo cual, repercute indirectamente los “Sectores” (*Sectors*) y el “Valor Añadido” (*Value Added*) ya descritos.

Lithium	SR: 1.6 to 1.9	SR at the processing stage increased slightly due to more precise information on the processing data at global level.
	EI: 3.1 to 3.9	EI increased due to changes in the value-added of NACE Rev. 2 sectors and reallocation of uses shares towards batteries and lubricating greases.

Ilustración 6. “Cambios en SR y EI de materias primas de 2020 a 2023” (Grohol & Veeh, 2023, p. 43)

Como se aprecia en la ilustración 6 el litio, que supera el umbral de criticidad notablemente, ha incrementado sus factores de “Importancia Económica” en un 0.3 y de “Riesgo de Suministro” en un 0.8 en el año 2023 en comparación con los valores registrados en 2020, es decir, ha adquirido mayor criticidad. Para ver la magnitud de este aumento, el 0.3 en “EI” supone el 30% del factor umbral correspondiente para que un material sea considerado crítico, mientras que el 0.8 en “SR” supone el 28,57% de su factor umbral.

El aumento del “SR” se debe a la incorporación de datos más precisos sobre las etapas de procesamiento del litio a nivel global, lo que ha permitido identificar con

mayor detalle los riesgos asociados a la cadena de suministro, como cuellos de botella o dependencias críticas en esta fase.

Por su parte, el incremento del “EI” está vinculado a cambios en el valor añadido de los sectores según la clasificación NACE Rev. 2. Asimismo, el aumento del uso de litio en diversas aplicaciones, como baterías y grasas lubricantes, ha fortalecido su relevancia económica, reflejando su papel cada vez más estratégico en estas industrias.

Adicionalmente, se prevé que el mercado del litio seguirá expandiéndose considerablemente en las próximas décadas. Como se observa en la ilustración 7, incluso en el escenario de baja demanda (LSD, por sus singlas en inglés) la predicción muestra un aumento masivo de su demanda para el año 2050 (Carrara et al., 2023). Por lo que, de acuerdo a estas tendencias, parece lógico pensar que se seguirán incrementando los factores de Importancia Económica y de Riesgo de Suministro y por ende su criticidad.

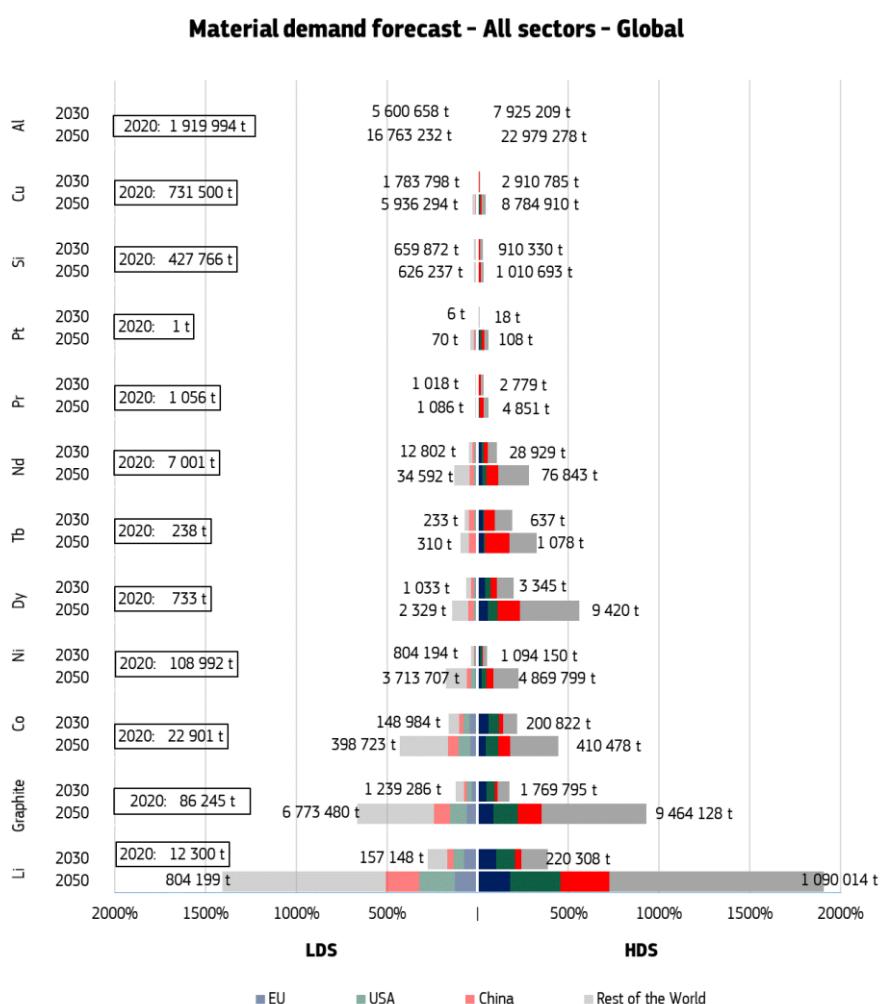


Ilustración 7. "Previsión de demanda de materiales para todos los sectores: global" (Carrara et al., 2023, p. 13)

En particular, se ha decidido centrar este trabajo en la etapa de extracción del litio, dado que es una de las fases del ciclo de vida del material con mayor impacto social. Como muestra un estudio sobre las baterías de iones de litio para vehículos (Thies et al., 2019), la etapa de extracción de materias primas es una de las que más contribuye al riesgo de trabajo infantil, riesgo de corrupción, riesgo de pobreza y riesgo de inhalación de elementos tóxicos.

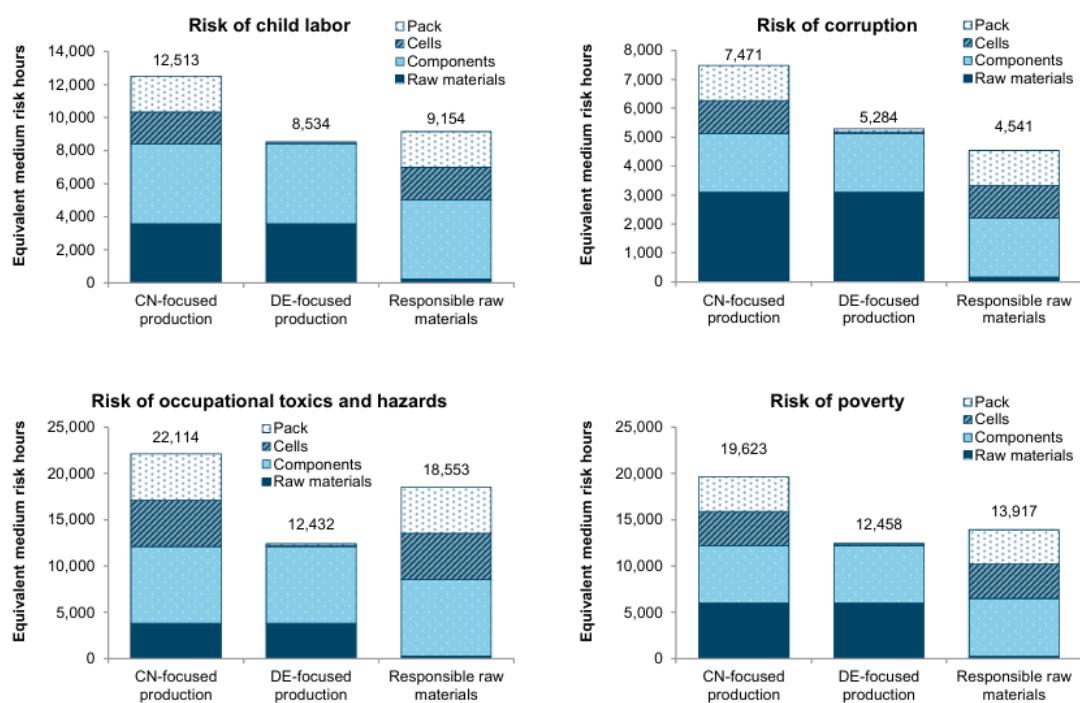


Ilustración 8. “Resultados de la evaluación de riesgos sociales seleccionados de diferentes configuraciones de la cadena de suministro” (Thies, 2019, p. 296)

Por otro lado, los conflictos sociales derivados de la extracción de litio no solo están relacionados con el acceso y gestión de los recursos naturales, sino también con las desigualdades económicas y los desequilibrios de poder entre las empresas mineras y las comunidades locales. Además, la extracción de este material en áreas remotas contribuye a la degradación de ecosistemas frágiles, lo que exacerba los desafíos para la sostenibilidad social y ambiental en estas regiones. (Agusdinata et al., 2018)

Por todo ello, un estudio del impacto social en cuestión resulta primordial para abordar estos problemas lo antes posible, pues dado el crecimiento acelerado de la demanda de litio, podría evitar que se convierta en una crisis difícil de gestionar en el futuro.

Objetivos del trabajo

El objetivo principal de este trabajo es analizar los impactos sociales derivados de la extracción de litio en una región relevante, como es el caso del Salar de Atacama (Chile), cuya selección se justificará en los capítulos siguientes. Este análisis busca contribuir al desarrollo de una industria del litio más sostenible y socialmente responsable, evaluando de forma crítica los efectos que tiene la extracción en las comunidades afectadas.

Además de este objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Argumentar la relevancia del análisis de impacto social en el ámbito industrial.
- Investigar el creciente papel del litio en la industria actual, considerando sus principales características.
- Explorar los principales métodos de extracción de litio, mencionando sus principales implicaciones sociales.
- Sintetizar dos de las metodologías de impacto social más extendidas, aplicables al proceso de extracción del litio, y seleccionar la más apropiada para este.
- Aplicar la metodología seleccionada para analizar los impactos sociales específicos del caso de estudio.

Estos objetivos se enmarcan dentro de la contextualización y justificación del objetivo principal. A partir de ellos, surgen una serie de interrogantes que guiarán el desarrollo del trabajo, entre los cuales destacan los siguientes:

- ¿Es importante la integración de evaluaciones de impacto social en proyectos industriales?
- ¿Por qué es tan demandado el litio?
- ¿Cuál es el método de extracción de litio con mayor potencial de causar impactos sociales negativos?
- ¿Qué metodología de impacto social, de las dos expuestas, es más adecuada para evaluar el caso de estudio?
- ¿Cuáles son los impactos sociales más significativos asociados a las actividades extractivas de litio en el Salar de Atacama?
- ¿Qué recomendaciones se pueden extraer de este análisis?

Metodología de investigación

Cabe reseñar que la investigación que se presenta a lo largo de todo este trabajo se basa en un enfoque de carácter secundario. En lugar de realizar experimentos o estudios de campo, se ha recopilado, analizado y sintetizado información disponible en fuentes existentes. Para ello, se han consultado bases de datos académicas reconocidas como Google Scholar, Scopus, y Web of Science, que ofrecen artículos y estudios revisados por pares (*peer-reviewed*). Además, se ha recurrido a la denominada literatura gris, que incluye informes de agencias gubernamentales, estudios de organizaciones no gubernamentales (ONGs), informes de instituciones internacionales y documentos industriales. Estos documentos proporcionan perspectivas adicionales sobre la extracción de litio y sus impactos.

Estructura del trabajo

El trabajo se organiza en los siguientes capítulos:

- Capítulo 1: Justificación de la importancia del análisis de impacto social en la ingeniería. Discute la relevancia de la inclusión de un análisis de impacto social en la ingeniería.
 - Capítulo 2: Características y aplicaciones del litio en la industria, principales métodos y regiones de extracción. Aquí se exploran las propiedades del litio y sus diversas aplicaciones en la industria. Además, describe los principales métodos y regiones extractoras del mismo, explorando sus posibles impactos.
 - Capítulo 3: Selección de la metodología de evaluación de impacto social. Se selecciona, de entre las principales metodologías existentes, una y se presenta dicha metodología estándar para evaluar el impacto social.
 - Capítulo 4: Evaluación de impacto social aplicado a la extracción de litio. Se aplican los conceptos anteriores para evaluar el impacto social de la extracción de litio en la región del Salar de Atacama (Chile).
- Conclusiones. Resumen de los hallazgos clave, reflexiones finales y recomendaciones para futuras investigaciones.
- Bibliografía. Listado completo de las fuentes consultadas.

Capítulo 1: JUSTIFICACIÓN DEL ANÁLISIS DE IMPACTO SOCIAL EN LA INGENIERÍA

El propósito de este capítulo reside en introducir el concepto de impacto social, entender por qué es importante un análisis del mismo en el ámbito industrial, así como de justificar su papel de acuerdo en una serie de principios ampliamente reconocidos en el sector.

1.1 Breve definición de impacto social y análisis de impacto social aplicado a la ingeniería

Se puede definir por un lado, qué es un impacto social y por otro en qué consiste un análisis de impacto social.

Si hacemos una síntesis de todas las definiciones que recoge Bonilla (Bonilla, 2007) el impacto social se podría definir como el cambio que ocurre en la sociedad como resultado de una intervención, ya sea un programa, un proyecto o una política. Este cambio puede manifestarse en la calidad de vida de la población, sus estructuras sociales y económicas, y su bienestar general. Dichas consecuencias económicas, culturales, políticas o ambientales, pueden ser previstas o imprevistas, positivas o negativas.

Por su parte, si atendemos a los lineamientos de varias metodologías de análisis de impacto social (UNEP, 2020; Vanclay et al., 2015), un análisis o evaluación de impacto social se podría definir como una metodología sistemática utilizada para identificar, prever y gestionar los efectos sociales derivados de intervenciones planeadas (políticas, programas, planes, proyectos) en sus diferentes etapas. Dicho análisis evalúa cómo esta intervención puede afectar los derechos y la calidad de vida de las comunidades afectadas, proporcionando herramientas para maximizar los beneficios sociales y mitigar las consecuencias negativas.

Por lo que la definición que se le podría dar en un contexto de ingeniería sería restringir en sendas definiciones la palabra “intervención” a “proyectos, productos o actividades de ingeniería”.

De una manera sintetizada tendríamos que, un impacto social en la ingeniería se refiere a los efectos que los proyectos, productos o actividades de ingeniería pueden tener sobre la vida de las personas, las comunidades y la sociedad en general. Este concepto incluye tanto los beneficios como los posibles perjuicios que pueden surgir en aspectos como el bienestar comunitario, el respeto a los derechos humanos, la equidad social, y el acceso a los recursos naturales y económicos.

Mientras que, el análisis o evaluación de impacto social (AIS o EIS) consistiría en una metodología sistemática que permite identificar, prever y gestionar los efectos sociales derivados de un proyecto, producto o actividad de ingeniería antes, durante y/o después de su implementación. Proporcionando herramientas para maximizar los beneficios sociales y mitigar las consecuencias negativas.

1.2 Relevancia en proyectos industriales (ámbito profesional)

En el ámbito de la ingeniería, los proyectos industriales son a menudo de gran dimensión y tienen la capacidad de transformar significativamente las comunidades y los entornos en los que se implementan. Entre ellos se puede encontrar la construcción de infraestructuras, la explotación de recursos naturales o la instalación de plantas industriales. La relevancia de un AIS en estos radica, como indica su definición, en su capacidad para prever, gestionar y mitigar los efectos negativos, al tiempo que se maximizan los beneficios para las comunidades involucradas. A continuación se presentan tres motivos por los cuales resulta conveniente llevar a cabo una evaluación de este tipo.

1.2.1 Reducción de conflictos e impactos negativos

El AIS permite identificar de manera temprana los posibles riesgos y conflictos que pueden surgir en las distintas fases del ciclo de vida de un proceso o proyecto industrial: inicio, planificación, construcción, operación y cierre. En especial la fase de inicio, donde se llevan a cabo evaluaciones ex-ante, posibilita identificar los efectos potenciales y establecer estrategias preventivas antes de que comience el proyecto (Vanclay et al., 2015). En proyectos que implican la extracción de recursos naturales, estas evaluaciones adquieren aún mayor importancia, ya que los cambios en el acceso a recursos como agua, tierra y empleo impactan directa e indirectamente en las comunidades locales (Agusdinata et al., 2018).

La falta de un AIS adecuado puede derivar en conflictos sociales, como protestas comunitarias, bloqueos de proyectos e incluso episodios de violencia. Este tipo de conflictos no solo implica un coste social, sino que también puede generar pérdidas económicas significativas debido a retrasos o paralización de los proyectos (Franks et al., 2014). Por lo que resulta un factor clave para el éxito financiero de los proyectos industriales.

En este sentido, parece lógico integrar las perspectivas de las partes interesadas locales desde el inicio. Al involucrar a las comunidades en el proceso de AIS, se pueden gestionar mejor sus expectativas y reducir la probabilidad de conflictos (Carroll & Shabana, 2010).

1.2.2 Mejora de la sostenibilidad

El Análisis de Impacto Social no solo permite minimizar impactos negativos, sino que también es una herramienta clave para la sostenibilidad de los proyectos industriales. Un AIS bien diseñado ayuda a integrar principios de sostenibilidad social, económica y ambiental desde la fase de planificación, asegurando que los proyectos no solo sean técnicamente viables, sino también aceptables para las comunidades afectadas (Vanclay et al., 2015).

Desde una perspectiva de sostenibilidad, el AIS contribuye a la creación de valor compartido, un concepto que reconoce que el éxito de las empresas está vinculado a su impacto en la sociedad. Es más, cuando las compañías incorporan estrategias de desarrollo social en su planificación, pueden reducir conflictos, mejorar la reputación corporativa y fortalecer su "licencia social para operar" (Boutilier, 2014).

Además, el AIS facilita la identificación de oportunidades para mejorar la sostenibilidad de un proyecto. Por ejemplo, mediante la planificación de estrategias de desarrollo local, como la contratación de trabajadores de la zona, el apoyo a proveedores locales y la inversión en infraestructura comunitaria, las empresas pueden generar beneficios tangibles para las comunidades y al mismo tiempo mejorar su eficiencia operativa (Esteves & Barclay, 2011).

1.2.3 Cumplimiento de normas y estándares internacionales

En muchos casos, los proyectos industriales están sujetos a regulaciones nacionales e internacionales que requieren una evaluación de impacto social como parte del proceso de aprobación. Cumplir con estos estándares no solo es una obligación legal, sino que también puede ser imprescindible para acceder a financiación, asegurar permisos y operar en conformidad con las expectativas globales de responsabilidad social corporativa.

Normas internacionales:

De acuerdo a la norma ISO 26000 (ISO, 2010) elaborada con la participación de expertos de más de 90 países y 40 organizaciones internacionales, las empresas involucradas en proyectos industriales, especialmente aquellas que operan en múltiples países, deben adherirse a principios de responsabilidad social corporativa (RSC) que incluyen el respeto a los derechos humanos, la protección del medio ambiente, y la contribución al desarrollo sostenible.

Acuerdos:

Existen diversos acuerdos internacionales como el Acuerdo de París que mencionan "el acceso equitativo al desarrollo sostenible" (*El Acuerdo de París | Naciones Unidas*, 2015).

12

PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES



12.6 Alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las empresas transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes

Ilustración 9. "Meta 12.6 del ODS 12" (United Nations, 2016)

Por otra parte, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) subrayan la importancia de integrar consideraciones sociales y ambientales en el desarrollo industrial como podemos encontrar claramente reflejado en el ODS 12: "Producción y Consumo Responsables" en concreto en la Meta 12.6: "Alentar a las empresas, especialmente a las grandes y transnacionales, a adoptar prácticas sostenibles e integrar la información de sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes" (United Nations, 2016).

Leyes:

Ley de Diligencia Debida (*Due Diligence*). La Directiva sobre la Diligencia Debida de las Empresas en Materia de Sostenibilidad (CSDDD) ha sido adoptada por el Parlamento Europeo y el Consejo de la UE el 13 de junio de 2024. Esta ley exige a las grandes empresas que operan en la UE que identifiquen y aborden los efectos negativos de sus operaciones en los derechos humanos, laborales y sociales, así como del medio ambiente; incluso en sus cadenas de suministro globales. La ley entró en vigor el 5 de julio de 2024 y los Estados miembros deben incorporarla a su legislación nacional. (Directiva (UE) 2024/1760 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de junio de 2024, sobre diligencia debida de las empresas en materia de sostenibilidad y por la que se modifican la Directiva (UE) 2019/1937 y el Reglamento (UE) 2023/2859 (Texto pertinente a efectos del EEE), 2024)

Organismos financieros:

Organismos como el Banco Mundial, la Corporación Financiera Internacional (IFC), y otros bancos de desarrollo exigen evaluaciones de impacto social como condición para el financiamiento de proyectos (IFC, 2012; World Bank, 2016).

1.3 Principios éticos en la práctica de la ingeniería y competencias profesionales deseables en un ingeniero

Por otra parte existen códigos normativos en la ingeniería que tienen el propósito de guiar el comportamiento profesional de los ingenieros y asegurar que sus prácticas no solo sean técnicamente sólidas, sino también socialmente

responsables. El “*Code of Ethics for Engineers*” del NSPE (National Society of Professional Engineers) y las directrices de la *International Engineering Alliance* (IEA) son dos marcos ampliamente reconocidos que poseen en común el énfasis en la responsabilidad del ingeniero hacia la sociedad y el medio ambiente.

1.3.1 Principios fundamentales del código de ética del NSPE

El código de ética del NSPE aboga a que “los ingenieros deben desempeñarse bajo un estándar de comportamiento profesional que requiere el cumplimiento de los más altos principios de conducta ética”. Estos principios se articulan en tres secciones principales: I. Cánones Fundamentales, II. Reglas de Práctica, y III. Obligaciones Profesionales (NSPE, 2019). Estas secciones hacen referencia a los siguientes principios:

Prioridad de la seguridad, salud y bienestar público (Canon Fundamental 1, Reglas de práctica 1)

El principio establece que los ingenieros deben mantener como prioridad la seguridad, la salud y el bienestar del público. Esto significa que deben evaluar con rigor cómo sus decisiones técnicas impactan a las personas y las comunidades, y actuar de manera proactiva para identificar y mitigar posibles riesgos que puedan surgir durante el desarrollo de proyectos.

Integridad en el servicio (Canon Fundamental 5 y 6, Regla de práctica 5, Obligación Profesional 1 y 3)

La integridad en el servicio implica actuar con honestidad e imparcialidad, evitando cualquier conducta que pueda ser engañosa o poco ética. Los ingenieros deben mantener una relación de transparencia y responsabilidad hacia todas las partes interesadas, asegurando que sus prácticas sean honestas y éticamente correctas.

Compromiso con la sostenibilidad (Obligación Profesional 2)

Los ingenieros tienen el deber de considerar el impacto ambiental y promover principios de desarrollo sostenible en sus proyectos. Esto implica tomar decisiones que protejan los recursos naturales y minimicen las consecuencias negativas para las futuras generaciones.

1.3.2 Graduate Attributes and Professional Competencies de la IEA

La IEA establece un marco de competencias y atributos que deben guiar la formación y práctica profesional de los ingenieros. Su documento *Graduate Attributes and Professional Competencies* (IEA, 2021) define los conocimientos, actitudes y competencias que los egresados y profesionales de la ingeniería deben demostrar para abordar problemas complejos.

Dicho documento insta a que estos problemas han de ser abordados de manera ética, socialmente responsable y sostenible. A continuación, se resumen los principios más relevantes donde esto se ve reflejado:

Consideración del impacto social, ambiental y ético en problemas complejos (WA6, WP2, EA4)

Los ingenieros deben considerar tanto aspectos técnicos como no técnicos, tales como sostenibilidad, ética, y necesidades futuras (WP2).

Además, tienen la responsabilidad de evaluar los impactos de sus soluciones en el desarrollo sostenible (WA6), considerando aspectos económicos, sociales, ambientales, legales y de salud. Esto es fundamental para minimizar los riesgos y maximizar los beneficios sociales, especialmente en actividades con consecuencias significativas para la sociedad y el medio ambiente (EA4).

Resolución ética, inclusiva y colaborativa de problemas (WA7, WP6, WK9, EC8)

Los ingenieros han de aplicar principios éticos en todas sus decisiones demostrando un conocimiento de la necesidad de diversidad e inclusión (WA7, EC8).

La resolución de problemas complejos requiere la colaboración interdisciplinaria y la integración de perspectivas diversas (WP6). Esto incluye trabajar con múltiples partes interesadas para encontrar soluciones inclusivas y sostenibles que satisfagan las necesidades de grupos con intereses contrapuestos. Asimismo, deben demostrar sensibilidad hacia la diversidad cultural, de género y de capacidades físicas (WK9), fomentando entornos inclusivos en todas las etapas del proyecto.

Compromiso con la sostenibilidad (WK7, WA2, WA3, EC6)

La práctica profesional de los ingenieros debe estar guiada por un conocimiento profundo de su responsabilidad hacia la seguridad pública, el desarrollo sostenible (WK7) y la búsqueda de resultados sostenibles (EC6).

Esto implica fundamentar sus decisiones en bases científicas y matemáticas sólidas, integrando consideraciones holísticas que promuevan el mencionado desarrollo sostenible (WA2).

Al diseñar soluciones creativas y originales para problemas complejos, los ingenieros deben incorporar aspectos clave como la seguridad pública, el costo de ciclo de vida, la sostenibilidad ambiental y la sensibilidad cultural y social (WA3).

1.3.3 Relación entre los marcos y el impacto social

Ambos marcos, el del NSPE y el de la IEA, se relacionan estrechamente con la evaluación del impacto social, a continuación vemos los puntos que lo reflejan:

Consideración del impacto social y ambiental

El NSPE establece que la seguridad, la salud y el bienestar público deben ser prioridad en la práctica de la ingeniería (Canon Fundamental 1). Esto está alineado con el principio de la IEA (WA6), que insta a los ingenieros a evaluar los impactos de sus soluciones en el desarrollo sostenible, considerando aspectos sociales, económicos y ambientales. Esta responsabilidad ética garantiza que los proyectos no solo resuelvan problemas técnicos, sino que también beneficien a la sociedad y minimicen los riesgos ambientales.

Resolución ética, inclusiva y colaborativa de problemas

Ambos marcos éticos destacan la importancia de la diversidad, inclusión y colaboración interdisciplinaria en la resolución de problemas complejos. El NSPE promueve la integridad y transparencia en el servicio (Canon Fundamental 5), lo que implica que los ingenieros deben actuar de manera ética y garantizar que todas las partes interesadas, especialmente las comunidades vulnerables, tengan una voz en el proceso. Lo cual también se refleja en el principio de la IEA (WP6), que subraya la necesidad de colaboración con diversos grupos para encontrar soluciones inclusivas. Así como que la sensibilidad cultural, de género y de capacidades físicas también es esencial para fomentar entornos inclusivos y respetuosos (WK9).

Compromiso con la sostenibilidad

El NSPE destaca la responsabilidad profesional de los ingenieros para proteger los recursos naturales y minimizar el impacto ambiental (Obligación Profesional 2). Esta perspectiva está alineada con el principio de la IEA (WA2), que requiere que las decisiones sean fundamentadas en principios científicos y sostenibles, considerando el uso eficiente de los recursos y el impacto a largo plazo. La IEA también enfatiza la importancia de diseñar soluciones innovadoras que integren la seguridad pública, la sostenibilidad ambiental y la equidad social (WA3).

Cumplimiento normativo

Ambos marcos subrayan que los ingenieros deben cumplir con las leyes, locales e internacionales, y regulaciones aplicables. Que, como se ha mencionado anteriormente, exigen que se aborden los efectos negativos de sus operaciones en los derechos humanos, laborales y sociales.

En definitiva, tanto el Código de Ética del NSPE como el marco de competencias de la IEA proporcionan una base sólida para la justificación de la integración de la evaluación de impacto social en la ingeniería. Mientras que el NSPE establece los principios éticos que deben guiar la toma de decisiones, la IEA define las competencias clave que permiten a los ingenieros abordar problemas complejos de manera sostenible y socialmente responsable.

En este sentido, la evaluación del impacto social no debe considerarse un proceso externo a la ingeniería, sino una herramienta esencial que permite a los ingenieros cumplir con sus responsabilidades éticas y aplicar sus competencias de manera efectiva.

Capítulo 2: CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DEL LITIO EN LA INDUSTRIA, PRINCIPALES MÉTODOS Y REGIONES DE EXTRACCIÓN

2.1 Propiedades relevantes para sus distintas aplicaciones

Para comprender por qué el litio es tan altamente demandado, hay que explorar las distintas propiedades que este material posee, las cuales, lo hacen tan cotizado en la industria actual. Para ello, a continuación, se van a citar dichas propiedades razonando por qué estas resultan ventajosas para sus distintos usos.

2.1.1 Propiedades físico-químicas del litio

El litio es un elemento de la naturaleza de color blanco plateado, de símbolo químico “Li”, perteneciente al grupo 1 de la tabla periódica y forma parte de los denominados metales alcalinos.

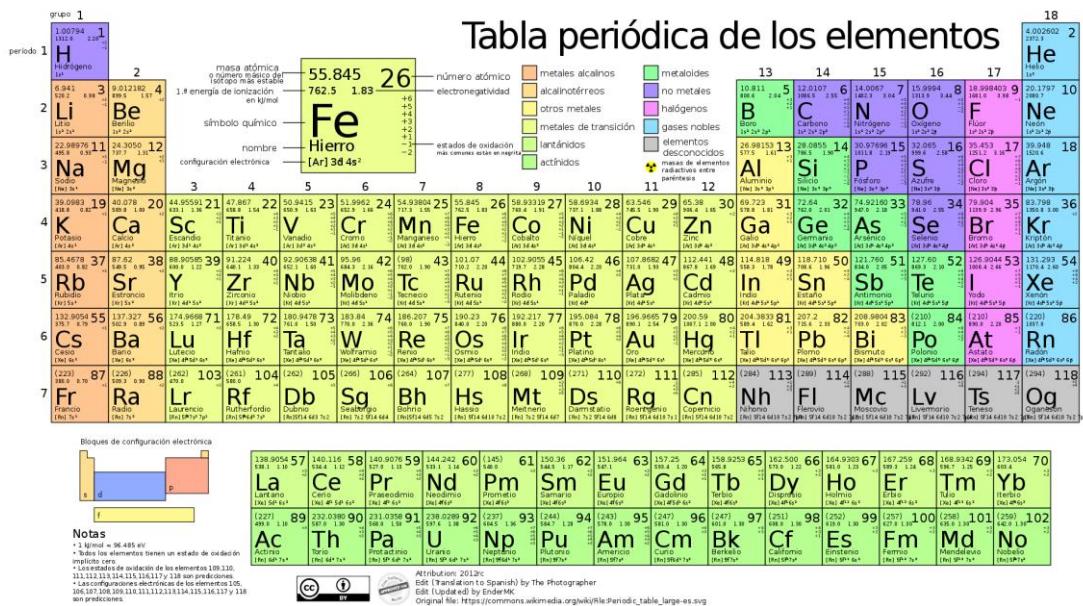


Ilustración 10. "Tabla periódica de los elementos químicos" (Wikimedia Commons, 2009)

Este grupo de metales se caracteriza por ser generalmente brillantes, blandos y maleables, motivo por el que se pueden cortar con facilidad. Además, son ligeros y poseen una alta reactividad. Por otra parte, son buenos conductores de la electricidad y del calor (E. Housecroft & G. Sharpe, 2005).

De entre las múltiples propiedades que posee el litio, las que lo hacen especialmente útil en la industria incluyen:

Ligereza

Bajo condiciones estándar es el metal y elemento sólido más ligero, con una densidad de aproximadamente de 0.534 g/cm^3 (Real Sociedad Española de Química, 2019), es decir, aproximadamente la mitad que la del agua, lo cual es relevante en aplicaciones donde el peso es determinante.



Ilustración 11. "Litio metálico flotando en aceite". (Real Sociedad Española de Química, 2019, p. 65)

Conductividad térmica y eléctrica, calor específico

Posee una excelente conductividad eléctrica, es decir baja resistividad (E. Housecroft & G. Sharpe, 2005). Por otra parte, posee el mayor calor específico de cualquier elemento sólido (Lide, 1995) además de ser un buen conductor térmico. Estas propiedades resultan beneficiosas para aplicaciones que requieran un flujo de corriente y para usos de transferencia eficiente de calor.

Property	Li	Na	K	Rb	Cs
MP/°C	180.6	97.8	63.7	39.5	28.4
BP/°C	1342	883	759	688	671
Density (20°C)/g cm ⁻³	0.534	0.968	0.856	1.532	1.90
$\Delta H_{\text{fus}}/\text{kJ mol}^{-1}$	2.93	2.64	2.39	2.20	2.09
$\Delta H_{\text{vap}}/\text{kJ mol}^{-1}$	148	99	79	76	67
ΔH_{f} (monatomic gas)/kJ mol ⁻¹	162	108	89.6	82.0	78.2
Electrical resistivity (25°C)/ $\mu\text{ohm cm}$	9.47	4.89	7.39	13.1	20.8

Ilustración 12. "Propiedades de los metales alcalinos". (Greenwood & Earnshaw, 1997, p. 75)

Reactividad química

El litio es un elemento fuertemente electropositivo dado su gran tendencia a perder su electrón más externo. Como se muestra en la ilustración 13, este posee una baja energía de ionización, es decir, requiere de una baja energía para perder el electrón más externo de un átomo.

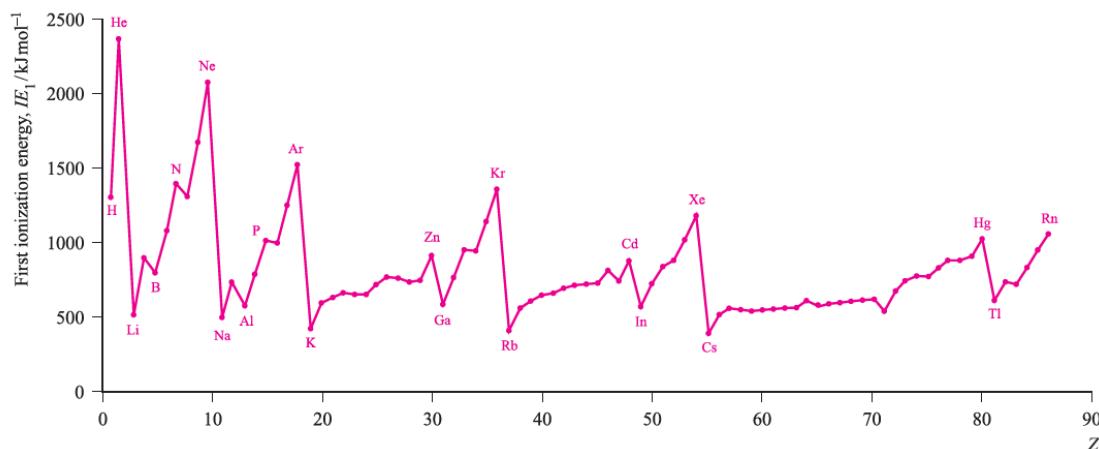


Ilustración 13. "Los valores de las primeras energías de ionización de los elementos". (E. Housecroft & G. Sharpe, 2005, p. 61)

Este hecho hace que el litio sea un elemento muy reactivo, que experimenta un gran número de reacciones, tanto con agentes químicos orgánicos como inorgánicos. Esto explica porqué en la mayoría de los casos no se encuentra puro en la naturaleza, sino que aparece siempre en composición con otros elementos (Lide, 1995).

Esta reactividad es fundamental en usos en los que se necesita una alta densidad energética ya que, al ceder electrones con facilidad, permite almacenar gran cantidad de energía por unidad de masa. No obstante, esta misma propiedad lo hace susceptible a reacciones peligrosas con el agua o el aire, lo que implica desafíos técnicos que requieren estrictas medidas de seguridad (Lebedeva et al., 2020).

2.1.2 Aplicaciones del litio

El litio se utiliza principalmente en aplicaciones de almacenamiento de energía, como las baterías de iones de litio, que representan la mayor parte de la demanda actualmente. Además, se emplea en la fabricación de cerámicas, vidrio de alta resistencia, aleaciones para la industria aeroespacial y ciertos componentes electrónicos. Según estudios recientes, el 74% de la demanda total de litio en 2021 se destinó a la producción de baterías, un 14% a la fabricación de cerámicas y vidrios, y el resto a aplicaciones como aleaciones, grasas lubricantes, etc. (Carrara et al., 2023; Y. Liu et al., 2023).

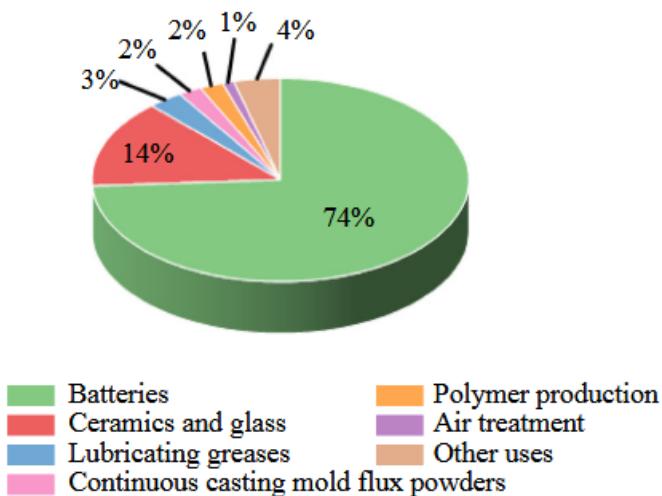


Ilustración 14. "Proporción del consumo de litio en diversos campos en 2021" (Y. Liu et al., 2023, p. 210)

2.1.2.1 Baterías de iones de litio

El uso más significativo del litio en la industria actual, como ya se ha mencionado, es en la fabricación de baterías de iones de litio. Estas baterías son la tecnología dominante en el almacenamiento de energía, dispositivos electrónicos y en vehículos eléctricos.

Como se puede apreciar en la ilustración 15, el litio está presente en muchos de las partes que conforman una batería.

Lo encontramos en el cátodo de la batería, en forma de óxidos metálicos de litio (como LiCoO_2 , LiFePO_4 o LiNiMnCoO_2), donde participa en las reacciones electroquímicas que permiten la liberación y almacenamiento de energía. Además, durante la descarga, los iones de litio se desplazan desde el ánodo hacia el cátodo a través del electrolito, facilitando el flujo de electrones en el circuito externo y generando energía útil. Dicho electrolito a menudo contiene sales de litio

disueltas en solventes orgánicos.

Por si esto fuera poco el ánodo, que actualmente está formado en su gran mayoría por grafito, podría ser sustituido por el propio litio, permitiendo así unas baterías con mayor densidad energética y menor peso, aunque de momento se enfrenta a ciertos desafíos técnicos y de seguridad (Lebedeva et al., 2020).

Figure 7. Selection of raw materials used in Li-ion batteries and their function

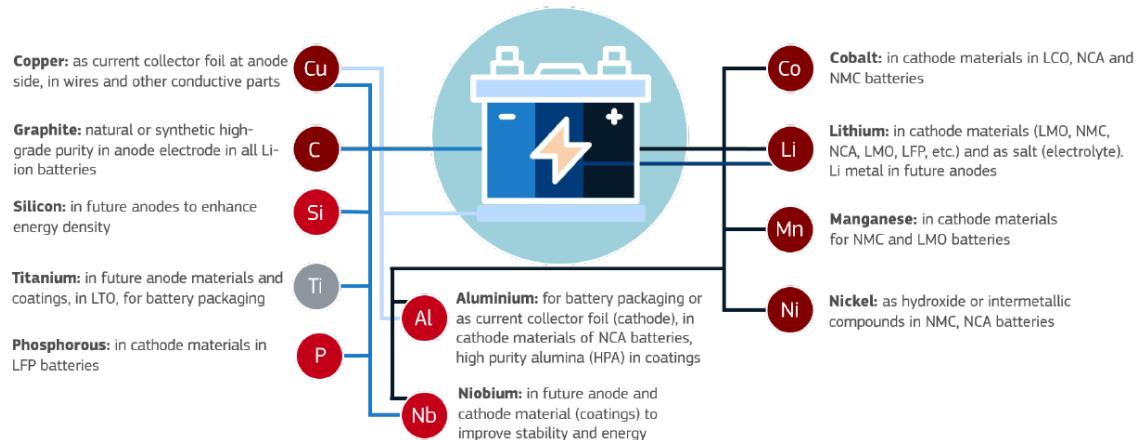


Ilustración 15. “Selección de materias primas utilizadas en baterías de Li-ion y su función.” (Carrara et al., 2023, p. 23)

Las baterías de iones de litio destacan por su alta densidad de energía gravimétrica, una medida que representa la cantidad de energía almacenada por unidad de masa (Wh/kg). Esta característica es fundamental en aplicaciones donde la relación peso-energía es determinante, como en los vehículos eléctricos, donde cada kilogramo de la batería puede afectar directamente la autonomía y la eficiencia energética del vehículo.

Asimismo, posee una alta densidad de energía volumétrica, que representa la cantidad de energía almacenada por unidad de volumen (Wh/L). Esta propiedad resulta altamente apreciada en usos donde la relación tamaño-energía es crucial, como puede ser en los teléfonos móviles y otros dispositivos electrónicos.

Como se aprecia en la ilustración 16, las baterías de iones de litio poseen una densidad de energía gravimétrica de entre 150 y 250 Wh/kg y una densidad de energía volumétrica de entre 400 y 700 Wh/L, es decir, permiten una alta capacidad de almacenamiento con un peso y tamaño reducidos (Lebedeva et al., 2020).

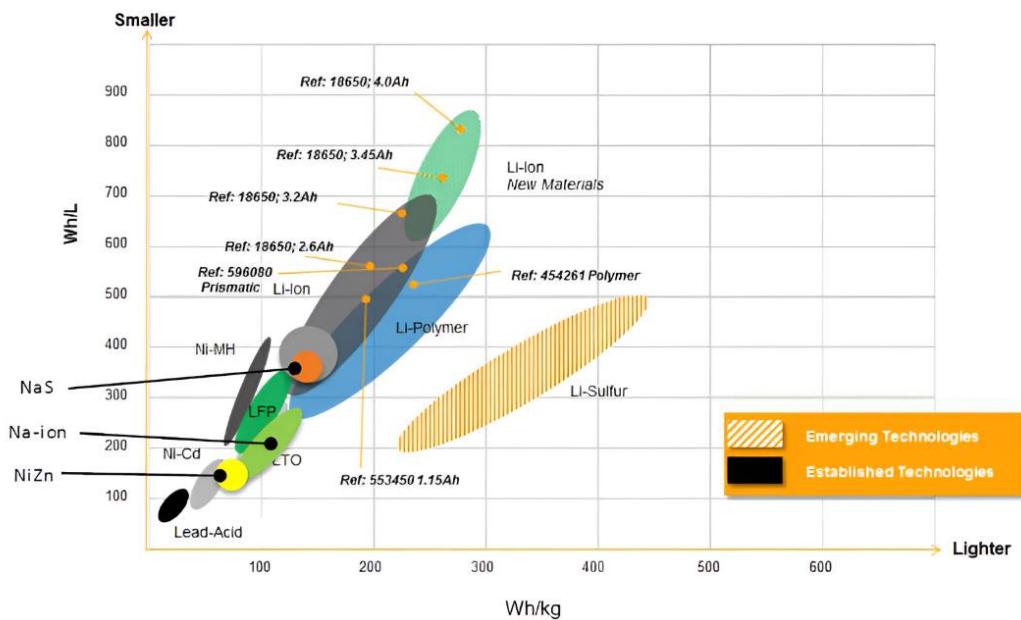


Ilustración 16. “Densidad de energía gravimétrica y volumétrica específica de diversas tecnologías de baterías” (Lebedeva et al., 2020, p. 4)

Además de esto, dichas baterías también presentan una elevada potencia específica (W/kg) (ilustración 17), lo que significa que pueden entregar o recibir energía rápidamente por unidad de masa (Lebedeva et al., 2020). Esta propiedad permite ciclos de carga y descarga más rápidos que otras tecnologías, pues la potencia específica y la velocidad de carga están inversamente relacionadas.

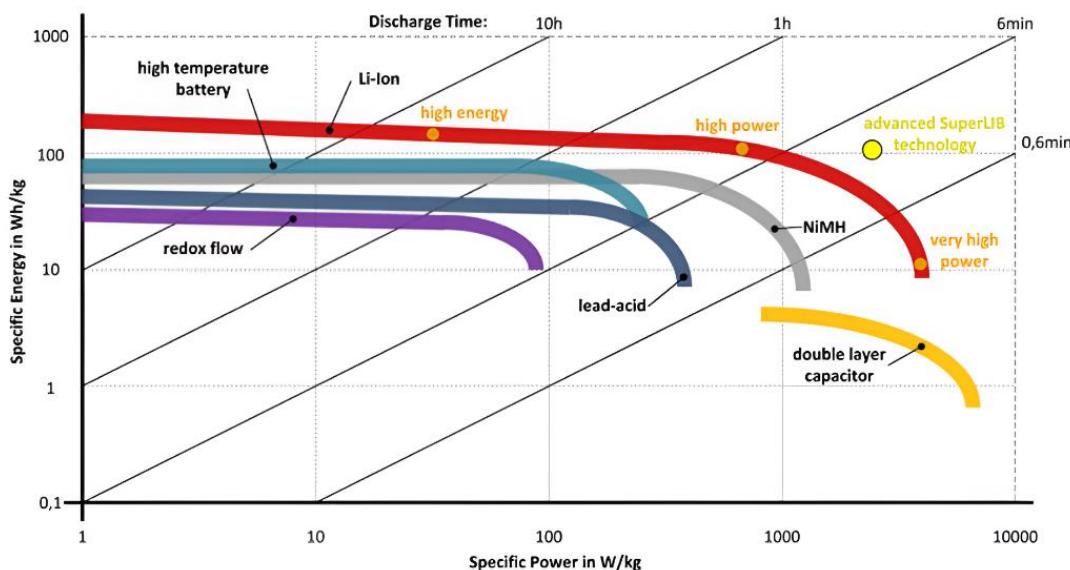


Ilustración 17. “Características de energía específica y potencia específica de varias tecnologías de baterías” (Lebedeva et al., 2020, p. 4)

Estas características, de alta capacidad de almacenamiento con un peso y tamaño reducidos además de una rápida carga, que ofrecen las baterías de iones de litio, las otorga una ventaja competitiva frente a otro tipo de baterías. El hecho de que la demanda de estas últimas no pare de crecer, explica el papel, cada vez más crucial, que desempeña el litio en la industria tecnológica actual.

2.1.2.2 Aplicaciones adicionales del litio en la industria

Además de su empleo en baterías, el litio se utiliza en diversas aplicaciones industriales que aprovechan sus propiedades, como son:

-Industria del vidrio y la cerámica: Se trata de un componente esencial en la producción de vidrio y cerámica de alta resistencia. Al añadir litio a ciertos materiales mejora su estabilidad estructural, logrando una mayor resistencia al choque térmico y una durabilidad superior (Carrara et al., 2023).

-Aleaciones en dispositivos: La baja densidad del litio permite reducir significativamente el peso de ciertos componentes, lo cual es especialmente relevante en aplicaciones donde el peso impacta directamente la eficiencia energética. Estas aleaciones logran estructuras más ligeras sin comprometer la resistencia, optimizando el rendimiento energético de aeronaves y otros dispositivos de alta tecnología como los drones (Carrara et al., 2023).

-Lubricantes: Ciertas sales de litio y ácido esteárico, como el estearato de litio, se emplean en la fabricación de lubricantes resistentes a elevadas temperaturas (P. Kudryavtsev, 2016).

-Aire acondicionado y sistemas de refrigeración: Sales de litio utilizadas en desecantes para eliminar la humedad (Carrara et al., 2023)

-Medicina: En el tratamiento de trastornos bipolares y otras condiciones psiquiátricas (P. Kudryavtsev, 2016).

-Fusión nuclear controlada: Pese que a día de hoy este no suponga una de las principales demandas, el litio puede jugar un papel indispensable en la fusión nuclear controlada. Dicha fusión, conocida como “sol artificial”, se considera una tecnología clave para resolver los problemas energéticos. Esta, consiste en la reacción entre el deuterio y el tritio. El deuterio es abundante y fácil de extraer en el agua de mar natural, mientras que el tritio está casi ausente en la naturaleza. Ahí es donde aparece el litio, que se trata de una materia prima indispensable para la producción de este último (Youssef et al., 2022).

Aunque actualmente la producción de baterías representa el mayor porcentaje de la demanda global de litio, estas otras aplicaciones continúan siendo relevantes. En

un contexto de crecimiento acelerado de la demanda, los usos emergentes como su potencial papel en la fusión nuclear controlada, podrían incrementar la presión sobre este recurso estratégico. Esta competencia, que aumenta el riesgo de suministro identificado por la Comisión Europea (estima que para el año 2029 la demanda de litio supere a la oferta (European Commission, s. f.)), podría dar lugar a cuellos de botella que afecten a la industria tecnológica y por ende a la transición hacia energías renovables.

2.2 Principales métodos de extracción

Como se ha visto en el apartado anterior, debido a la alta reactividad del litio, este siempre se encuentra en la naturaleza ligado con otros elementos, formando compuestos. Con el propósito de conseguir una pureza adecuada para poder utilizarlo en sus distintas aplicaciones, es necesario extraerlo y procesarlo. Estos procesos se realizan mediante diversos métodos, los cuales dependen principalmente del tipo de recurso del que se extrae.

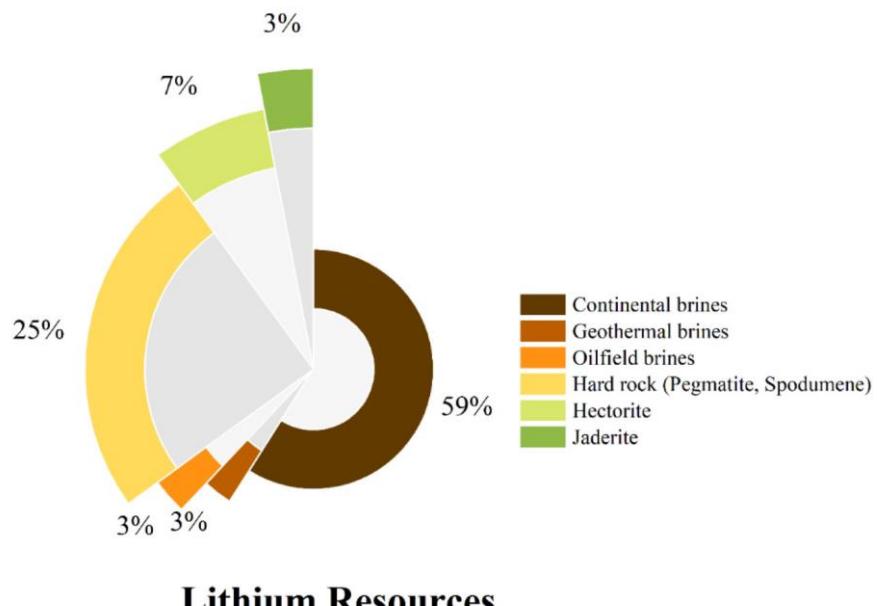


Ilustración 18. "Recursos de litio". (Mojid et al., 2024, p. 3)

En este apartado se tratarán los métodos de extracción más utilizados en las principales explotaciones. Como se aprecia en la ilustración 18, el litio se obtiene, mayoritariamente, de recursos de salmuera (59%) y de roca dura (25%). Partiendo de estos dos principales tipos de recurso de los que se extrae, se detallará en qué regiones se encuentran, los pasos durante el proceso de extracción, ventajas y

desafíos. Además, se mencionará a qué problemáticas se enfrenta cada uno de ellos, de acuerdo a la bibliografía existente.

Cabe reseñar que, con la mencionada creciente demanda de litio, la industria está explorando métodos más eficientes como la extracción directa de litio (*DEL*, por sus siglas en inglés), pero no se abordarán en este trabajo.

2.2.1 Minería en roca dura

La minería en roca dura hace referencia a la obtención de litio a partir de minerales sólidos como la espodumena, la lepidolita, la petalita, etc. los cuales se encuentran mayoritariamente en formaciones rocosas conocidas como pegmatitas. Entre los mencionados minerales, la espodumena y la lepidolita son los más utilizados, debido a su elevado porcentaje de litio presente y a la abundancia de yacimientos disponibles en la naturaleza (Y. Liu et al., 2023).

Por lo general, este tipo de extracción implica dos fases principales, que son:

1. Extracción del mineral: El proceso comienza con la remoción de la capa superficial de tierra y roca para exponer el depósito de litio. Este material se extrae utilizando maquinaria pesada como excavadoras, perforadoras y camiones (minería a cielo abierto).
2. Tratamiento del mineral: El mineral extraído se trata con el fin de obtener el litio presente en el mismo. Dicho tratamiento se puede realizar utilizando diferentes técnicas, cada cual con sus pros y sus contras.

Mineral	Method	Advantages	Disadvantages
Spodumene	Lime roasting	Wide applicability, low requirements of lithium content, inexpensive excipients	Large amount of solid waste, relatively low lithium extraction
	Phase transition and sulfuric acid digestion	Simple purification process, high lithium extraction	High energy consumption, large dosage of sulfuric acid
	Direct acid leaching	Low energy consumption	Extremely large dosage of acid, difficult purification process
	High-pressure alkaline leaching	Low energy consumption, high-value utilization of residues	Harsh reaction conditions, large dosage of leaching agents
	Salt roasting	Simple reaction conditions, high lithium extraction	High energy consumption, large dosage of salts, low processing capacity, difficult purification process
Lepidolite	Sulfate roasting	Simple reaction conditions, high lithium extraction	Low rubidium and cesium extraction, low processing capacity
	Chlorination roasting	Simple reaction conditions, high lithium, rubidium, and cesium extraction	Large dosage of chlorinating agents, environmental pollution, equipment corrosion
	Sulfuric acid digestion	Simple reaction conditions, high lithium, rubidium, and cesium extraction	Difficult purification process, large dosage of sulfuric acid
	Diluted acid leaching	Low energy consumption	Extremely large dosage of acid, difficult purification process
	High-pressure alkaline leaching	Low energy consumption, high-value utilization of residues	Harsh reaction conditions, large dosage of leaching agents

Ilustración 19. “Comparación de diferentes métodos de extracción de litio a partir de espodumena y lepidolita.” (Y. Liu et al., 2023, p. 218)

Los diferentes métodos de extracción de litio a partir de espodumena y lepidolita varían significativamente en términos de eficiencia y sostenibilidad. Los procesos como la lixiviación directa con ácido y la digestión con ácido sulfúrico destacan por su simplicidad y alta extracción de litio. Sin embargo, estos métodos implican un uso intensivo de ácidos y generan residuos difíciles de purificar, lo que puede aumentar el riesgo de contaminación del suelo y el agua, así como generar problemas de gestión de desechos. Otros métodos, como el tostado con sal y el tostado con sulfato, presentan condiciones de reacción más sencillas, pero requieren grandes cantidades de sales o agentes clorantes, lo que no solo implica un alto consumo de energía, sino también riesgos de corrosión en el equipo y emisiones contaminantes (Y. Liu et al., 2023).

Por otro lado, los métodos de lixiviación alcalina a alta presión y el tostado con cal ofrecen ventajas en términos de menor consumo energético y mayor aprovechamiento de residuos, lo que reduce el volumen de desechos finales. No obstante, estos procesos enfrentan condiciones de reacción más severas y el uso de grandes cantidades de agentes de lixiviación, lo que podría representar un impacto ambiental significativo si no se implementan medidas adecuadas de mitigación (Y. Liu et al., 2023). La elección de un método u otro tiene implicaciones directas en la generación de residuos, el consumo de energía, las emisiones contaminantes y por tanto en los impactos generados.

Como se puede apreciar, existen numerosas técnicas para obtener el litio del mineral de origen. A continuación, vamos a mencionar brevemente los pasos que se siguen en los métodos más utilizados, a día de hoy, para cada mineral.

2.2.1.1 Extracción de litio a partir de mineral de espodumena, método de transición de fase y digestión con ácido sulfúrico.

La espodumena ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$) es un silicato de litio y aluminio con una alta concentración teórica de óxido de litio (Li_2O), que puede variar entre el 2,9% y el 7,6% del peso (Y. Liu et al., 2023). Este alto contenido relativo de litio, junto con su abundancia en depósitos de roca dura asociados con minerales como cuarzo, feldespato y mica, ha convertido a la espodumena en el recurso más relevante de la extracción de litio mediante minería convencional. Una vez extraído este mineral, entre los diferentes tratamientos existentes, el de transición de fase y digestión con ácido sulfúrico destaca por diversos motivos expuestos al final de este apartado, dicho método consiste en:

1. Transición de fase: La espodumena se calcina a una temperatura alta (mayor a 1000°C) para transformarla de la fase α (monoclínica) a la fase β (tetragonal).
2. Molienda: La espodumena transformada se muele hasta obtener partículas de menos de $74\text{ }\mu\text{m}$.

3. Digestión con ácido sulfúrico: La espodumena molida se mezcla con ácido sulfúrico concentrado (140% en peso) y se digiere a aproximadamente 250 °C.
4. Lixiviación: Los productos de la digestión se lixivian con agua para obtener una solución de sulfato de litio ($Li_2 SO_4$).
5. Neutralización y purificación: La solución de sulfato de litio ($Li_2 SO_4$) se neutraliza y purifica.
6. Precipitación de carbonato de litio: El sulfato de litio se convierte en carbonato de litio ($Li_2 CO_3$) mediante una solución saturada de carbonato de sodio ($NA_2 CO_3$).

Como principales ventajas encontramos que se trata de un proceso de purificación simple y que posee una alta tasa de extracción de litio. Es principalmente por esto último, por lo que es el más utilizado actualmente. Sin embargo, posee relevantes inconvenientes como son un alto consumo de energía, así como, de la utilización de una gran cantidad de ácido sulfúrico.

2.2.1.2 Extracción de litio a partir de lepidolita, método de tostado con sulfato.

La lepidolita es el siguiente mineral más recurrente que contiene litio después de la espodumena. De entre los numerosos métodos utilizados para el tratamiento de este mineral para la obtención del litio, destaca el método de tostado con sulfato, cuyo procedimiento es el siguiente:

1. Mezcla con sulfatos: La lepidolita se mezcla con sulfato de sodio ($NA_2 SO_4$) y, en algunos casos, con otros sulfatos como el de calcio ($CA SO_4$).
2. Tostado: La mezcla se tuesta a una temperatura alta (alrededor de 1000 °C) durante un tiempo específico (por ejemplo, 30 minutos).
3. Lixiviación con agua: El material tostado se lixivia con agua para disolver los sulfatos de litio formados.
4. Precipitación de carbonato de litio: La solución de sulfato de litio ($Li_2 SO_4$) obtenida se trata con carbonato de sodio ($NA_2 CO_3$) para precipitar carbonato de litio ($Li_2 CO_3$).
5. Purificación: Se purifica la solución para eliminar impurezas y obtener el producto final de carbonato de litio.

Al igual que el método más utilizado para la espodumena, para el caso de la lepidolita presenta beneficios similares, es decir, condiciones de reacción simples y una alta tasa de extracción de litio. Por otro lado, este método implica una baja extracción de rubidio y cesio de alto valor (que están contenidos en la lepidolita) y se desperdicia un 70%, aproximadamente, de su totalidad.

2.2.1.3 Impactos asociados a la extracción del litio mediante minería en roca dura.

La minería en roca dura genera impactos ambientales significativos debido al uso intensivo de energía y productos químicos, además de emisiones contaminantes durante las etapas de calcinación y procesamiento. Para depósitos de alta pureza, las emisiones asociadas a la producción de un kilogramo de carbonato de litio alcanzan aproximadamente los 17,1 kg de CO₂ equivalente, mientras que en depósitos de baja pureza este valor se eleva a los 22,33 kg de CO₂ equivalente (Mas-Fons et al., 2024), debido principalmente a la necesidad de tratar mayor cantidad de mineral.

En términos de huella hídrica, la minería en roca dura tiene un impacto menor en comparación con otros métodos. Por ejemplo, el consumo de agua requerido para procesar depósitos de espodumena va desde los 0,2 m³ hasta los 0,5 m³ por kilogramo de carbonato de litio producido (Mas-Fons et al., 2024).

2.2.2 A partir de salmueras

Este método se basa en la extracción de salmueras ricas en litio de los salares. La técnica más frecuente es la evaporación solar, donde la salmuera se concentra en estanques de evaporación utilizando el calor del sol.

Por lo general el proceso implica una serie de pasos que se pueden resumir en:

1. Bombeo: Las salmueras ricas en litio se bombean desde acuíferos subterráneos y se canalizan hacia grandes estanques en la superficie.
2. Evaporación solar: La salmuera se deja evaporar al sol durante un período de meses o incluso años en los mencionados estanques.

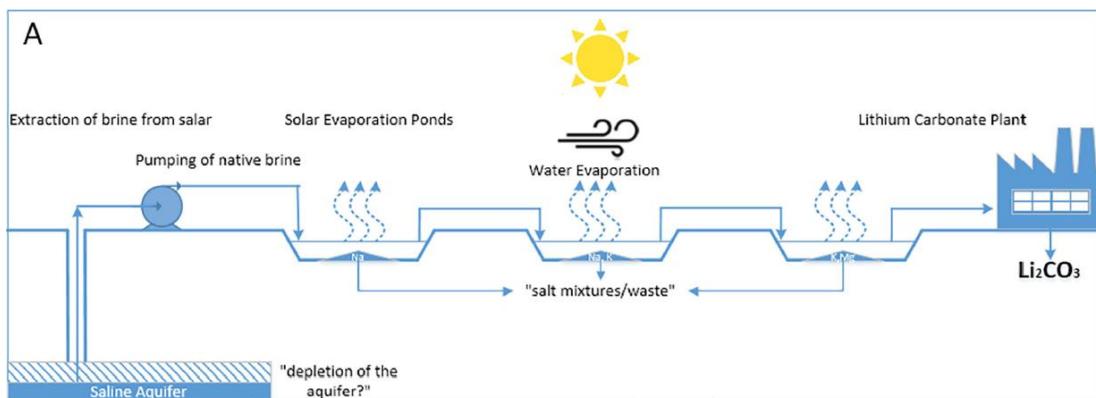


Ilustración 20. “Esquema de la recuperación de litio en salares mediante el proceso de evaporación/cristalización”. (Flexer et al., 2018, p. 1191)

3. Cristalización y precipitación: Con el tiempo, el litio se cristaliza y precipita en forma de cloruro de litio.

4. Purificación y conversión: El cloruro de litio se purifica y se convierte en carbonato de litio mediante procesos químicos.

Este método de extracción requiere generalmente menos energía en comparación con la minería y el procesamiento de minerales (Krishnan & Gopan, 2024). Por otro lado, se trata de un proceso lento y dependiente del clima, en particular de la luz solar, la temperatura y las precipitaciones, haciendo que sea vulnerable a cambios climáticos impredecibles, lo cual puede afectar su composición y por tanto a su viabilidad (Disu et al., 2024). A esto se le suma el riesgo de alteraciones en los ecosistemas locales y en los acuíferos debido a su elevado consumo hídrico (Mas-Fons et al., 2024).

2.2.2.1 Impactos asociados a la extracción del litio mediante salmueras

La extracción de litio a partir de salmueras, aunque menos intensiva en términos de consumo energético que la minería en roca dura, presenta un impacto ambiental considerable debido a sus emisiones de carbono, especialmente en depósitos de baja pureza. Las salmueras de alta pureza generan emisiones relativamente bajas, con una huella de carbono de aproximadamente 4,96 kg de CO₂ equivalente por kilogramo de carbonato de litio producido. Sin embargo, en depósitos de baja pureza, las emisiones aumentan significativamente, alcanzando 25,04 kg de CO₂ equivalente por kilogramo de carbonato de litio, un valor superior incluso al de los depósitos de espodumena de baja pureza (Mas-Fons et al., 2024). Este incremento está directamente relacionado con el mayor volumen de salmuera que debe ser procesado y los requerimientos energéticos del bombeo y la evaporación solar.

Además, este método se caracteriza por ser muy intensivo en consumo de agua, con valores que van desde los 0,2 m³ hasta 7,7 m³ por kilogramo de carbonato de litio producido (Mas-Fons et al., 2024). Como consecuencia, la extracción a gran escala puede alterar los ecosistemas locales y afectar los acuíferos, generando posibles riesgos ambientales y sociales (Krishnan & Gopan, 2024).

2.2.3 Comparación de métodos y conclusiones

Una vez expuestos los principales métodos de extracción, podemos concluir que, aunque tanto la minería en roca dura como la extracción de litio a partir de salmueras presentan desafíos significativos, el método con mayor potencial de impactos sociales negativos es la extracción de litio a partir de salmueras. Este método, ampliamente utilizado en el Triángulo del Litio (Argentina, Chile y Bolivia), implica un consumo intensivo de agua (Mas-Fons et al., 2024), un recurso escaso en las áreas desérticas donde generalmente se encuentran estos salares. La alta

demanda de agua puede afectar a las comunidades locales, especialmente a aquellas que dependen del agua para la agricultura y el consumo humano (Blair et al., 2024). Además, las comunidades indígenas han señalado la falta de beneficios económicos directos y el deterioro de los ecosistemas locales como consecuencias preocupantes de la explotación (Petavratzi et al., 2022). Por otro lado, la minería en roca dura, aunque genera emisiones y residuos tóxicos, teniendo así un mayor potencial de impacto ambiental en la fase del procesamiento (Tian-ming et al., 2023), suele estar más regulada y se encuentra en regiones menos vulnerables como Australia. De hecho, no hay datos actualmente de que existan conflictos sociales relevantes asociados a este método de extracción (Ciftci & Lemaire, 2023).

A medida que se avance en el análisis de impacto social, este trabajo se centrará en la extracción de salmueras como el método de estudio principal, dado su potencial de conflictos sociales y de tensiones entre el desarrollo económico y la sostenibilidad de los recursos en regiones y comunidades más vulnerables.

2.3 Principales países y regiones extractores de litio

La extracción de litio se concentra en varias regiones del mundo, cada una con características geológicas y económicas particulares. A continuación, se exploran los principales países y regiones involucrados en su extracción, teniendo en cuenta tanto su producción actual como sus proyecciones.

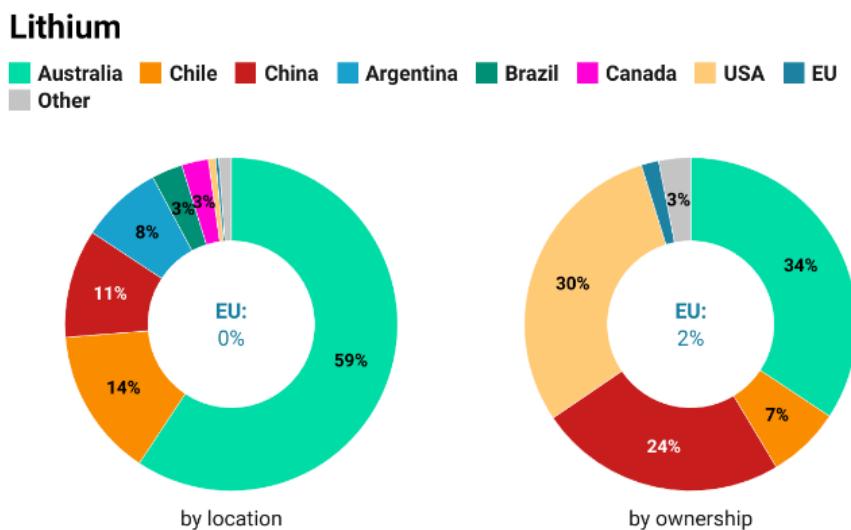


Ilustración 21. “Capacidad de la mina de litio por ubicación y sede de la empresa propietaria en 2020” (Carrara et al., 2023, p. 29)

2.3.1 Sudamérica, el Triángulo del Litio

El Triángulo del Litio comprende parte de Argentina, Chile y Bolivia. Esta región alberga una de las mayores reservas mundiales de litio, principalmente en forma de salmuera. Sin embargo, cada país enfrenta desafíos específicos en la gestión y explotación de este recurso.

Chile

Es uno de los mayores productores mundiales de litio (U.S. Geological Survey, 2024), en el norte de este país se encuentran alrededor de 60 salares, algunos de los cuales ya están siendo explotados, como es el caso del Salar de Atacama, y otros, de grandes dimensiones, albergan proyectos futuros para la extracción del litio, como el Salar de Maricunga. Principalmente dos grandes empresas (SQM y Albemarle) dominan la extracción en esta región, utilizando grandes estanques de evaporación solar para obtener carbonato de litio de alta pureza (Rehner et al., 2023).

Argentina

La producción se concentra en salares como Hombre Muerto y Olaroz. Por su parte, Argentina ha adoptado una política activa para atraer inversión extranjera y acelerar nuevos proyectos. Empresas como Livent, Allkem y Orocobre se encargan de la extracción de salmueras en el país, que ha experimentado un crecimiento significativo en la última década (Díaz Paz et al., 2023).

Bolivia

Posee las mayores reservas de litio no explotadas del mundo (U.S. Geological Survey, 2024), en forma de salares, como el de Uyuni. Sin embargo, la extracción comercial ha sido limitada debido a varios motivos entre los que se encuentran: las dificultades técnicas, principalmente debido a las temporadas de lluvia; falta de infraestructura y tensiones políticas que obligaron a rescindir contratos relevantes ya acordados. A pesar de ello, se están explorando acuerdos con empresas extranjeras para potenciar la producción (Aguirre B., 2022).

2.3.2 Australia

Lidera la producción mundial de litio a partir de roca dura, particularmente a partir del mineral espodumena. Destaca por haber implementado prácticas más sostenibles, con tecnologías de eficiencia energética y procesos de reducción del impacto ambiental (Y. Liu et al., 2023). La industria australiana se está diversificando para incluir también plantas de refinación en el país, buscando reducir su dependencia de los mercados asiáticos para el procesamiento del litio.

2.3.3 China

Aunque actualmente no posee grandes reservas de litio explotadas, China es un actor fundamental en la cadena de suministro global gracias a su capacidad de procesamiento y producción de baterías de litio. Importa la mayor parte de este mineral desde Australia y Chile, consolidándose como el principal destino de estos

recursos (Sun et al., 2017).

Por otra parte, está desarrollando nuevos proyectos de minería tanto dentro como fuera de su territorio para asegurar su control sobre el mercado (Zhang, 2022).

2.3.4 Otros países relevantes

Portugal

Es el mayor productor de litio en Europa, con minas concentradas en el norte del país. Actualmente, la producción se destina principalmente a usos industriales no energéticos (cerámica y vidrio). Pero hay proyectos en marcha para ampliar la extracción destinada a baterías, lo cual está generando opiniones controversiales entre la población local (Chaves, 2021).

Estados Unidos

Tiene un gran potencial en depósitos en Nevada, donde se planea incrementar significativamente la producción para reducir su dependencia de importaciones (Castor & Henry, 2020).

Canadá

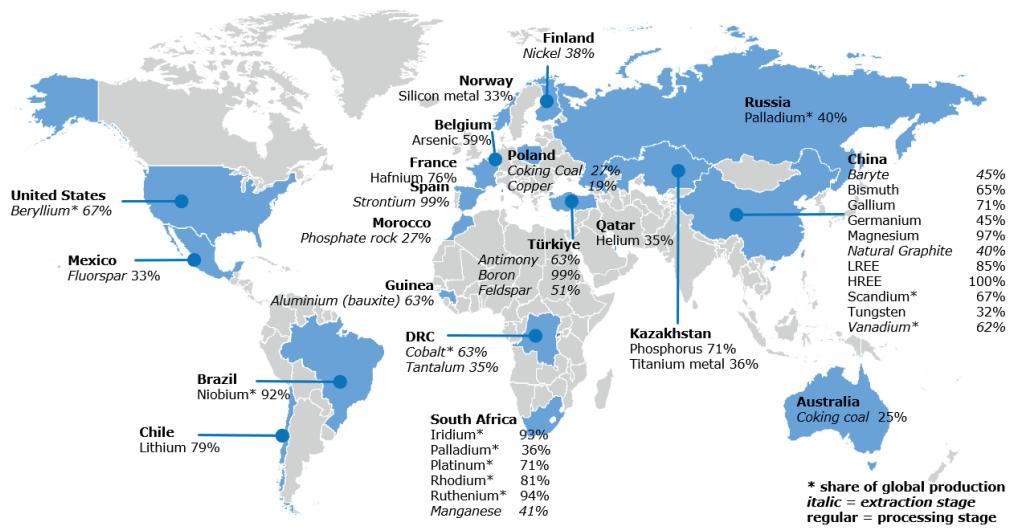
Está emergiendo como un actor clave, con varios proyectos de extracción a partir de espodumena en desarrollo, especialmente en las provincias de Quebec y Ontario. El gobierno está apostando por políticas de minería sostenible y por crear una cadena de suministro propia para la fabricación de baterías (Dessemond et al., 2019).

2.3.5 Conclusiones, caso de estudio

Una vez concluido en el apartado 2.2.3 que la extracción mediante salmuera tiene mayor potencial de impactos sociales negativos, se observa que el Triángulo del Litio es la principal región donde este método se emplea de manera significativa. Por lo tanto, el análisis de impacto social debe centrarse en uno de los tres países que lo conforman.

Bolivia, aunque alberga las mayores reservas de litio (U.S. Geological Survey, 2024), la mayoría están sin explotar. Argentina, por su parte, ha experimentado un rápido crecimiento en su producción. Sin embargo, los conflictos sociales y ambientales asociados a la extracción de salmueras son más evidentes en Chile, pues se trata, a día de hoy, del líder mundial en este método de extracción.

Chile, con su alta producción, se enfrenta a graves tensiones sociales debido al impacto en comunidades locales y al uso intensivo de agua en una región extremadamente árida (Blair et al., 2024), lo que lo posiciona como uno de los casos más representativos para un análisis detallado del impacto social de la extracción de litio.



Source: "European Commission, Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023–Final Report"

Ilustración 22. "Principales proveedores de CRM de la UE" (Grohol & Veeh, 2023, p. 14)

Otro factor reseñable para su elección es que Chile se trata del mayor proveedor de litio de la Unión Europea, en concreto aporta el 79% de este mineral (Grohol & Veeh, 2023) como se observa en la ilustración 22. También es el principal proveedor de China, como ya se ha mencionado anteriormente, siendo esta la mayor productora de baterías de iones de litio así como de otros productos que lo requieren (Sun et al., 2017).

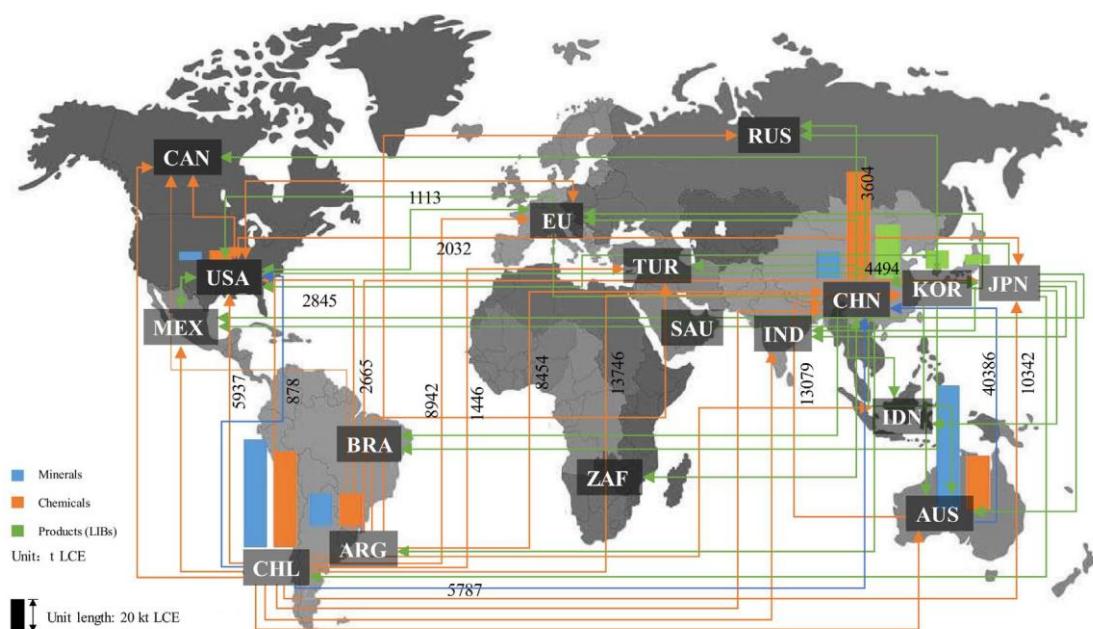


Ilustración 23. "Descripción general de la producción y el comercio mundial de litio." (Sun et al., 2017, p. 5)

Esta posición clave en la cadena de suministro global refuerza la importancia de examinar las implicaciones sociales de la extracción de litio en esta región, dado que cualquier alteración en su capacidad productiva podría afectar tanto a los mercados internacionales como a la transición energética en Europa.

Capítulo 3: SELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO SOCIAL

Las evaluaciones de impacto social (EIS), cuyo concepto se ha presentado en el apartado 1.1, se han consolidado como herramientas fundamentales para anticipar, gestionar y mitigar los efectos que proyectos e iniciativas pueden tener sobre las comunidades. Estas evaluaciones no solo buscan identificar y minimizar los riesgos sociales, sino también maximizar los beneficios, promoviendo un desarrollo más equitativo y sostenible. Una de sus principales características es su flexibilidad metodológica, que ha dado lugar a una diversidad de enfoques y clasificaciones según los objetivos y alcances deseados.

3.1 Tipos de evaluación de impacto social

Las EIS pueden clasificarse en función de diversos criterios, dependiendo de la perspectiva adoptada. Una distinción común en la literatura es la que diferencia entre un enfoque tecnocrático, más centrado en el análisis objetivo por parte de expertos, y otro constructivista, que da mayor protagonismo a la participación de los actores sociales y al contexto en el que se desarrolla la evaluación (Aledo & Domínguez-Gómez, 2017). Estas corrientes se diferencian fundamentalmente en sus paradigmas axiológicos, ontológicos y epistemológicos (Guba & Lincoln, 1994). Esto refleja no solo formas distintas de entender los impactos, sino también de decidir quiénes deben participar en su valoración y con qué criterios.

Por otro lado, también pueden clasificarse según su alcance y nivel de análisis, (Becker, 2001) propone una tipología basada en tres niveles principales de evaluación social: micro, que se centra en los individuos y sus comportamientos; meso, que examina el impacto en organizaciones y redes sociales locales, incluyendo comunidades; y macro, que abarca sistemas sociales a nivel nacional o internacional.

Además de estas tipologías, algunas clasificaciones se basan en el momento temporal en que se realiza la evaluación. Así, se distingue entre evaluaciones ex ante (antes del inicio del proyecto), in itinere (durante su ejecución) y ex post (una vez finalizado), cada una con propósitos y alcances distintos en la toma de decisiones (González et al., 2003).

Pese a la diversidad de enfoques, es importante reconocer que las metodologías para las EIS han evolucionado hacia estándares más consolidados en los últimos años. En este trabajo, se analizarán dos de las metodologías más utilizadas y reconocidas internacionalmente: el *Social Life Cycle Assessment* (S-LCA) y la metodología promovida por la *International Association for Impact Assessment* (IAIA). Cada uno de estos enfoques ofrece distintos matices, por lo que resulta

relevante evaluarlos y posteriormente compararlos, con el fin de seleccionar el más adecuado para el caso de estudio.

3.1.1 Social Life Cycle Assessment (S-LCA)

El S-LCA, promovido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), fue formalmente presentada en 2009 y actualizada en 2020 (UNEP, 2020). Se trata de una metodología que surge como una extensión del *Life Cycle Assessment* (LCA), la cual se centra en los impactos ambientales. El S-LCA permite evaluar los impactos sociales y socioeconómicos a lo largo de alguna, o todas, las etapas del ciclo de vida de un producto, que van desde la extracción de las materias primas hasta el desecho final del producto.

Table 1: Scope, impact types and object of S-LCA.

System scope	Impact types	Object of study
<ul style="list-style-type: none">• Full Life cycle of products and services (cradle-to-grave; from resource extraction to end-of-life).• Supply chain of the product (cradle-to-gate; exclude use phase and end-of-life).• Parts of the Life Cycle (gate-to-gate or gate-to-grave).	Potential or actual Social and Socio-economic impacts (depending on its application).	Products or services.

Ilustración 24. "Alcance, tipos de impacto y objeto de estudio". (UNEP, 2020, p. 21)

Esta metodología ofrece un marco sistemático que combina datos cualitativos y cuantitativos, proporcionando una visión integral para la toma de decisiones y el aumento del bienestar de las partes interesadas.

Usos

De acuerdo a sus directrices se puede aplicar para: calcular un impacto social, una huella social, identificar puntos de acceso social (ubicación o actividad con alto riesgo/impacto), para evaluar los impactos potenciales de una política o elección de inversión. Asimismo, se puede utilizar para la evaluación de riesgos sociales de la cadena de valor, la diligencia debida en materia de derechos humanos, la presentación de informes, comunicación/etiquetado, así como para realizar compras sostenibles.

En resumen, el S-LCA es una metodología que apoya la toma de decisiones para mejorar las condiciones sociales en los ciclos de vida de productos a lo largo de todo el mundo. Además, se puede integrar en procesos organizativos para:

-Apoyar a las empresas en la elaboración de una estrategia dirigida al desarrollo futuro de políticas sociales.

-Apoyar los procesos de toma de decisiones que involucran a una variedad de partes interesadas con diferentes conocimientos y antecedentes.

-Gestionar el riesgo social gracias a la identificación de puntos críticos sociales.

-Proporcionar estructura, credibilidad y coherencia a la evaluación de materialidad de la cadena de suministro.

-Apoyar la divulgación de información no financiera.

Conceptos clave

Uno de los pilares fundamentales de la metodología S-LCA es que utiliza un enfoque basado en las partes interesadas (*stakeholders*), de manera que se consideran los posibles impactos en las diferentes categorías de *stakeholders*.

Stakeholder categories	Worker	Local community	Value chain actors (not including consumers)	Consumer	Society	Children
Subcategoriess	1. Freedom of association and collective bargaining 2. Child labor 3. Fair salary 4. Working hours 5. Forced labor 6. Equal opportunities/discrimination 7. Health and safety 8. Social benefits/social security 9. Employment relationship 10. Sexual harassment 11. Smallholders including farmers	1. Access to material resources 2. Access to immaterial resources 3. Delocalization and migration 4. Cultural heritage 5. Safe and healthy living conditions 6. Respect of indigenous rights 7. Community engagement 8. Local employment 9. Secure living conditions	1. Fair competition 2. Promoting social responsibility 3. Supplier relationships 4. Respect of intellectual property rights 5. Wealth distribution	1. Health and safety 2. Promoting social responsibility 3. Consumer privacy 4. Transparency 5. End-of-life responsibility	1. Public commitments to sustainability issues 2. Contribution to economic development 3. Prevention and mitigation of armed conflicts 4. Technology development 5. Corruption 6. Ethical treatment of animals 7. Poverty alleviation	1. Education provided in the local community 2. Health issues for children as consumers 3. Children concerns regarding marketing practices

Ilustración 25. "Lista de categorías de partes interesadas y subcategorías de impacto". (UNEP, 2020, p. 23)

Estas categorías están vinculadas a subcategorías de impacto, como se observa en la ilustración 25, que comprenden temas o atributos socialmente significativos.

Estos subgrupos se evalúan utilizando indicadores de impacto, algunos de los cuales se vinculan directamente con el inventario del ciclo de vida del producto. Las categorías de *stakeholders* consideradas incluyen: Trabajadores, Comunidades locales, Actores de la cadena de valor (excluyendo consumidores), Consumidores, Niños y Sociedad.

Los impactos pueden clasificarse en varias categorías según los problemas afectados, como Derechos Humanos, Condiciones Laborales, Patrimonio Cultural, Gobernanza y Repercusiones socioeconómicas. También se incluyen subcategorías como Educación, Salario justo y Salud humana. Además, se han introducido nuevas subcategorías de impacto, como Relación laboral, Acoso sexual, Distribución de la riqueza, y Salud infantil, entre otras.

Estas categorías están estrechamente relacionadas con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), un lineamiento en el que hace bastante hincapié el S-LCA en su conjunto.

Otro aspecto relevante para el S-LCA es que los impactos sociales en el ciclo de vida de los productos pueden ser tanto positivos como negativos, y es importante no solo minimizar los efectos negativos, sino también impulsar mejoras activas en las condiciones sociales. Aunque la mayoría de las evaluaciones de ciclo de vida social (S-LCA) se centran en impactos negativos, es esencial reconocer los beneficios sociales generados, como el empleo local o el desarrollo tecnológico. Los impactos positivos reflejan mejoras en el bienestar humano y pueden medirse a través de los efectos directos en las partes interesadas o mediante indicadores indirectos. Sin embargo, estos impactos no deben considerarse una compensación de los negativos, sino como una ampliación del enfoque de sostenibilidad.

De acuerdo a estas directrices, dichos impactos positivos pueden clasificarse en tres tipos: A, que implica mejoras más allá de lo habitual; B, que se genera por la presencia de la empresa o producto; y C, derivado de la utilidad del producto. Reconocer y medir estos impactos motiva a las empresas a adoptar estrategias de sostenibilidad más allá del mero cumplimiento legal, beneficiando tanto a las comunidades como al rendimiento empresarial.

Fases

El S-CLA está compuesto por cuatro fases iterativas, como se aprecia en la ilustración 26, que son:

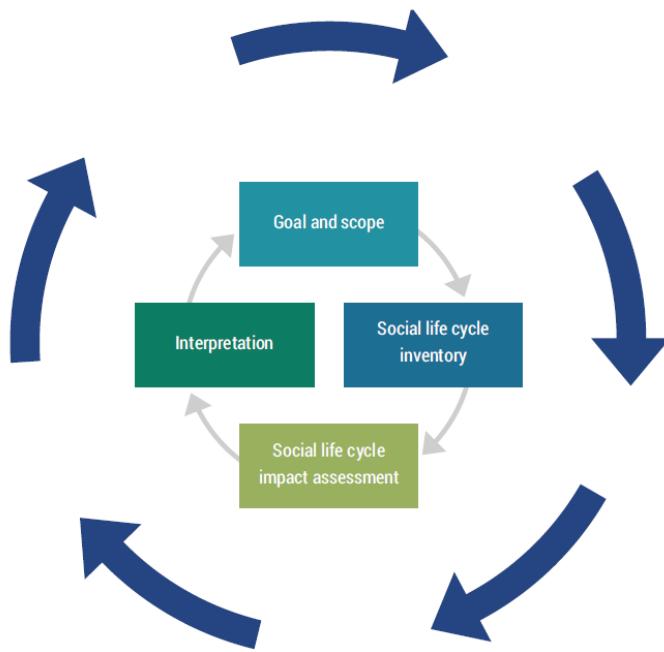


Ilustración 26. "Fases del S-LCA". (UNEP, 2020, p. 21)

1. Definición de objetivo y alcance:

Se determinan los objetivos específicos de la evaluación, los límites del sistema y las categorías de impacto social relevantes. Esta fase permite establecer el marco de referencia y las expectativas del análisis.

2. Inventario del ciclo de vida (S-LCI):

Se recopilan datos a lo largo de toda la cadena de valor del producto, incluyendo información sobre condiciones laborales, salud y seguridad, derechos humanos, desarrollo local y otros factores sociales. Estos datos pueden provenir de encuestas, auditorías, entrevistas o bases de datos sectoriales.

3. Evaluación de impacto (S-LCIA):

Los datos del inventario se traducen en impactos sociales utilizando métodos de evaluación comparativa, escalas de referencia y análisis de riesgos. Se identifican tanto los impactos negativos como las oportunidades para generar efectos positivos.

4. Interpretación:

Se analizan los resultados para identificar áreas críticas (*hotspots*), formular recomendaciones y desarrollar estrategias para mitigar impactos negativos o maximizar beneficios sociales. Por otra parte, también busca asegurar la transparencia y trazabilidad del proceso.

Enfoques de aplicación

Existen dos enfoques principales para llevar a cabo la evaluación de impacto mediante la metodología S-LCA:

- Escala de Referencia (*Reference Scale Approach* o Tipo I):

Se focaliza en evaluar el rendimiento social de las actividades en la cadena de valor. Para ello utiliza escalas de referencia (positiva, neutra o negativa) con el fin de medir el cumplimiento de normas laborales, derechos humanos y otros aspectos sociales. Resulta de gran interés pues, para identificar riesgos y oportunidades de mejora en las actividades de una empresa sobre un proyecto o producto.

- Vía de Impacto (*Impact Pathway Approach* o Tipo II):

Se centra en analizar las relaciones causales entre las actividades y sus impactos sociales a lo largo del tiempo. Con este fin, rastrea las consecuencias de las actividades para predecir impactos futuros (positivos o negativos).

[3.1.2 Evaluación de Impacto Social \(EIS\) promovida por la IAIA](#)

Los “Lineamientos para la evaluación y gestión de impactos sociales de proyectos” publicados en el año 2015 se basan en los “Principios internacionales para la Evaluación de Impacto Social” del año 2003 elaborados por la Asociación Internacional para la Evaluación de Impactos (IAIA por sus siglas en inglés).

De acuerdo a estos, el impacto social se entiende como todo aquello que afecta a las personas, ya sea a nivel individual, grupal, comunitario o social, incluyendo cambios físicos, cognitivos, emocionales y culturales (Vanclay et al., 2015). Por otro lado, según los “Principios Internacionales de Evaluación del Impacto Social” la EIS consiste en analizar, monitorear y gestionar tanto las consecuencias voluntarias como involuntarias que las intervenciones, tales como políticas, programas o proyectos de infraestructura, generan sobre las personas y sus comunidades. Además, esta evaluación se trata de un proceso integral y dinámico que no se limita a generar un producto final, sino que abarca un enfoque continuo de gestión de las consecuencias sociales asociadas a proyectos planificados (Vanclay, 2003).

Usos

Estos lineamientos están formulados con el propósito de asesorar a diversos actores acerca de las buenas prácticas esperadas en las EIS y en los procesos de gestión de impactos sociales, particularmente en proyectos de desarrollo. Entre dichos actores, a los que está dirigido, se encuentran:

- Profesionales y consultores involucrados en evaluaciones de impacto social.
- Autores y proponentes de proyectos (sector público o privado).
- Entidades reguladoras que determinan la calidad y aceptabilidad de los informes

de las evaluaciones de impacto social.

- Especialistas sociales en los Bancos Multilaterales de Desarrollo (BMD).
- Personal del área social en otras instituciones financieras.
- Organismos para la cooperación y el desarrollo internacional.
- Entidades gubernamentales de planificación.
- Comunidades y poblaciones locales.
- Organizaciones de la sociedad civil.
- Funcionarios responsables de los marcos normativos de las evaluaciones de impacto social.

Conceptos clave

Como se observa en la ilustración 27, para la IAIA la EIS se puede aplicar en todas las fases del ciclo de un proyecto. Para ello, es fundamental involucrar a los grupos interesados en todas las etapas y garantizar un flujo de información claro y accesible para todos los participantes.

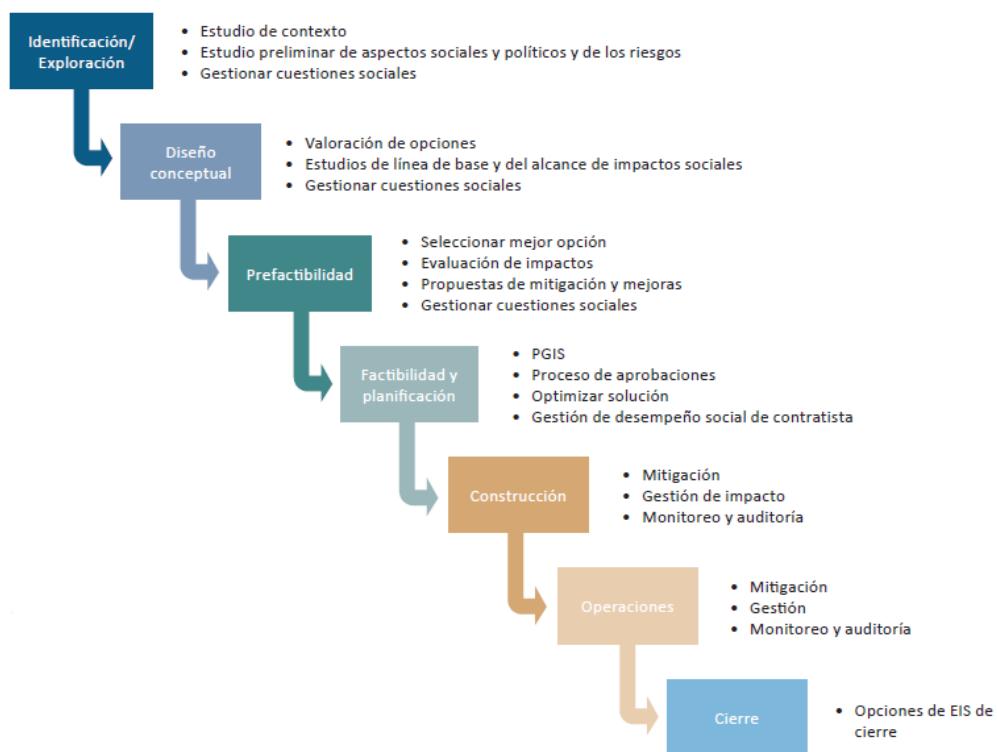


Ilustración 27. “Ciclo de proyecto típico y rol potencial de la EIS en cada fase” (Vanclay et al., 2015, p. 6)

Es decir, la EIS es aplicable a todas las etapas de un ciclo de proyecto típico y además se considera fundamental implicar activamente a las comunidades locales afectadas directa o indirectamente.

Por otra parte, estos lineamientos hacen referencia recurrentemente a varios principios o conceptos entre los que destacan:

- Aplicación de la diligencia debida en derechos humanos.
- Se promueve el empleo digno, salarios justos y el respeto por los derechos de los trabajadores.
- Énfasis la protección del patrimonio cultural tangible e intangible.
- Creación de mecanismos participativos que permitan a las comunidades expresar sus preocupaciones, proponer soluciones y participar activamente en la toma de decisiones.
- Análisis detallado de la distribución de beneficios y costos del proyecto, con el objetivo de implementar medidas que reduzcan las desigualdades y promuevan un desarrollo equitativo.

Fases y tareas principales

La EIS promovida por la IAIA se estructura en un enfoque metódico que consta de cuatro fases principales, cada una de las cuales incluye una serie de tareas a realizar. A continuación, se describen brevemente las fases y los pasos clave:



Ilustración 28. “Las fases de la evaluación de impacto social” (Vanclay et al., 2015, p. 7)

Fase 1: Entender los problemas

Esta fase inicial se centra en establecer una comprensión profunda del proyecto y su contexto social. Sus pasos incluyen:

- Definir el proyecto y el área de influencia social: Se identifica la extensión geográfica y social de los posibles impactos, junto con las comunidades afectadas.
- Elaborar un perfil comunitario: A través de estudios detallados, se analizan las características de las comunidades impactadas, incluidas sus necesidades, valores, género, y experiencias previas con proyectos similares.
- Promover la participación inclusiva: Se implementan procesos deliberativos para informar a las comunidades y permitirles tomar decisiones informadas respecto a los posibles impactos del proyecto.
- Identificar cuestiones clave: Se recogen datos relevantes para establecer una línea base social que permita contextualizar los cambios e impactos potenciales.

Fase 2: Predecir, analizar y evaluar impactos

En esta fase se evalúan las posibles vías de impacto, considerando tanto los efectos directos como los indirectos. Las tareas más importantes son:

- Identificar impactos potenciales: Se predicen los cambios sociales generados por el proyecto y sus alternativas, incluidos los impactos acumulativos.
- Analizar la respuesta comunitaria: Se estudia cómo las comunidades pueden reaccionar a los impactos, considerando factores como resiliencia social y cohesión comunitaria.
- Jerarquizar impactos: Se evalúan los cambios más significativos para priorizar la mitigación de impactos negativos y maximizar los beneficios.

Fase 3: Desarrollar e implementar estrategias

Esta etapa se enfoca en proponer y ejecutar acciones concretas para mitigar los impactos negativos y potenciar los beneficios. Entre las actividades clave están:

- Jerarquía de mitigación: Se implementan medidas para evitar, minimizar, compensar o rehabilitar los impactos adversos.
- Maximizar beneficios: Se diseñan estrategias para generar oportunidades y mejoras sociales.
- Planes de gestión: Se redactan acuerdos entre las partes interesadas, como el Plan de Gestión de Impacto Social (PGIS) y el Acuerdo de Impactos y Beneficios (AIB), que regulan las medidas y responsabilidades adoptadas.

Fase 4: Monitoreo y evaluación continua

El monitoreo permite garantizar que las estrategias implementadas están generando los resultados esperados. Sus pasos más destacados son:

- Desarrollar indicadores sociales: Permiten medir cambios sociales a lo largo del tiempo.
- Monitoreo participativo: Se establece un sistema donde las comunidades participan activamente en la supervisión.

-Gestión adaptativa: Se evalúa periódicamente el progreso y se ajustan las estrategias según sea necesario.

3.2 Justificación de la metodología seleccionada

Una vez expuestas las metodologías de Evaluación de Impacto Social (EIS) promovida por la IAIA y la Social Life Cycle Assessment (S-LCA), se va a proceder a concluir cuál de ellas es más adecuada a la hora de realizar un análisis de impacto social para el caso de la extracción de litio.

En primer lugar, ambas metodologías comparten similitudes significativas en su marco teórico. Por ejemplo, ambas destacan la importancia de involucrar a las comunidades afectadas, identificar impactos tanto positivos como negativos, y establecer estrategias para maximizar beneficios sociales y mitigar riesgos. Sin embargo, poseen varios matices que las diferencian.

La EIS impulsada por la IAIA se centra especialmente en proyectos de gran escala y promueve una visión integral de los impactos sociales. Si bien destaca que el proceso de EIS ha de hacerse a lo largo de todas las fases de un proyecto, nuestro caso de estudio, que se centra en la extracción, no representa una fase de un proyecto en sí, sino más bien una etapa de el ciclo de vida de un producto. Por otro lado, la S-LCA, tal como se describe en las directrices de la UNEP, ofrece una estructura específica para evaluar los impactos sociales a lo largo del ciclo de vida del producto o servicio (p.ej. para productos, desde la extracción de materias primas hasta el final de su vida útil), pudiendo establecer los límites en cualquier etapa. Esto se alinea particularmente bien con el enfoque deseado de analizar exclusivamente la fase de extracción del litio.

Además, la metodología promovida por la IAIA tiene un enfoque predominantemente predictivo. Esto queda evidenciado en las 26 tareas que recomienda para gestionar los impactos sociales, las cuales abarcan desde la identificación de riesgos hasta el diseño de programas de monitoreo y la implementación de estrategias de mitigación. Esta perspectiva es especialmente útil en proyectos que requieren una planificación detallada para prevenir impactos negativos en las comunidades afectadas. Pese a que este enfoque quizás sea más completo, puede ser menos flexible para trabajos en los que el análisis se centra en evaluar y comprender impactos ya identificados, como es el caso de este estudio. Por el contrario, la S-LCA destaca por su flexibilidad metodológica y su capacidad para adaptarse a distintos objetivos. Dentro de esta metodología, el enfoque de Escala de Referencia (*Reference Scale Approach* o Tipo I) permite analizar los impactos sociales desde una perspectiva más evaluativa que predictiva, alineándose mejor con el objetivo de este trabajo. Este enfoque Tipo I, como ya se ha analizado en el anterior apartado, evalúa los impactos sociales a lo largo del ciclo de vida del producto o servicio mediante indicadores que comparan el

desempeño social con estándares definidos, lo que facilita identificar "puntos críticos" (*hotspots*) y áreas de mejora.

Por último y no menos importante hay que tomar en consideración que el presente trabajo es de carácter secundario, es decir, el análisis se basa en fuentes secundarias y no en datos primarios recolectados directamente en el terreno. De acuerdo a la bibliografía consultada, la metodología S-LCA cuenta con un mayor desarrollo de indicadores y bases de datos, lo que permite trabajar con información preexistente para evaluar impactos en dimensiones como las condiciones laborales, los derechos humanos y el bienestar de las comunidades afectadas.

En contraste, la EIS promovida por la IAIA suele requerir una interacción más directa con las comunidades y partes interesadas, lo que es idóneo en estudios de carácter primario pero puede resultar un factor limitante en el contexto de investigaciones secundarias.

En conclusión, aunque desde un punto de vista teórico ambas metodologías presentan enfoques valiosos, la elección de la S-LCA se fundamenta en la posibilidad que ofrece de realizar una evaluación específica de la extracción de litio como una etapa de su ciclo de vida. Mediante un enfoque evaluativo que facilita la identificación de puntos críticos y áreas de mejora, a través de herramientas específicas, maximizando el rigor de los resultados. Se podría decir que, desde un marco teórico, ya se justifica esta elección, pero además, la bibliografía existente explorada se corresponde mejor con parámetros asociados al método de la S-LCA.

Capítulo 4: EVALUACIÓN DE IMPACTO SOCIAL APLICADO A LA EXTRACCIÓN DEL LITIO

4.1 Contexto

Tal como se ha evidenciado en capítulos anteriores, el litio es un mineral indispensable para múltiples sectores estratégicos. Su uso en baterías recargables no solo resulta fundamental para el desarrollo de tecnologías asociadas a la transición energética hacia la neutralidad climática (como los vehículos eléctricos o los sistemas de almacenamiento para energías renovables (Secretaría de Estado de Energía, 2021)), sino que también sostiene gran parte de la industria electrónica actual, especialmente en dispositivos móviles, portátiles, drones, etcétera (Carrara et al., 2023). Sin embargo, frente a esta creciente demanda global, cabe preguntarse: ¿a qué costo social se extrae tal recurso? Esta cuestión será el eje del análisis desarrollado en este capítulo.

Como ya se ha analizado, en la actualidad, un porcentaje considerable del litio global proviene de salmueras en América del Sur, especialmente en el conocido "Triángulo del Litio", compuesto por Bolivia, Argentina y Chile. Entre estos, Chile destaca por poseer una de las mayores reservas de litio en salmuera explotadas a nivel global, situadas principalmente en el Salar de Atacama (U.S. Geological Survey, 2024).

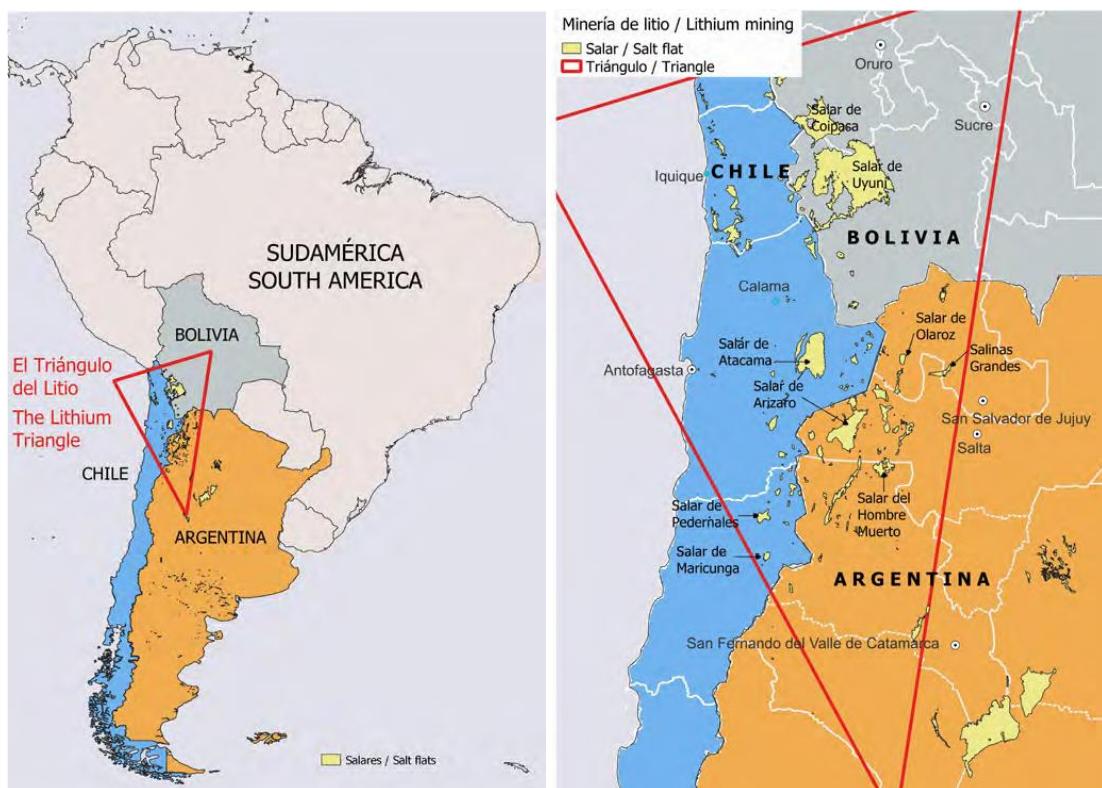


Ilustración 29. "Localización del Salar de Atacama dentro del triángulo del litio". (Obaya et al., 2024, p. 5)

Este salar contiene salmueras con una alta concentración de sólidos disueltos (más de 300.000 mg/l) y condiciones climáticas únicas, como una alta radiación solar y escasas precipitaciones, lo que facilita la evaporación solar en el proceso extractivo (Kelly et al., 2021; Ortiz et al., 2014).

El proceso extractivo en la región es llevado a cabo, a día de hoy, principalmente por dos empresas, que son Albemarle Corporation y Sociedad Química y Minera (SQM), esta explotación se da bajo contratos de arrendamiento firmados con el estado chileno y gestionados a través del organismo estatal chileno de Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), el cual establece cláusulas sobre cumplimiento ambiental, desarrollo local, etc. (Lorca et al., 2023). Estos contratos han sido renegociados en sucesivas ocasiones, especialmente en 2016 y 2018, ampliando significativamente las cuotas de extracción permitidos, triplicando las originales (Aylwin et al., 2021), y generando controversias respecto a la transparencia y la participación de las comunidades en dichas decisiones (Jerez et al., 2021).

El marco legal que regula esta extracción es particular, en Chile la salmuera se clasifica como un mineral, es decir, no está regulada por el Código de Aguas Chileno (Nacional, 1981), lo que le otorga un marco legal distinto permitiendo de esta manera una mayor tasa de extracción (Flores Fernández & Alba, 2023). Esta clasificación ventajosa de la salmuera como mineral, es objeto de debate. Algunos autores sugieren que, debido a su impacto potencial sobre los sistemas hídricos locales, debería considerarse como agua (Ejeian et al., 2021). Otros argumentan que su alta salinidad y su ineptitud para usos agrícolas y domésticos la excluyen de esta clasificación (Kelly et al., 2021).

Este contexto resulta especialmente conflictivo dado que la región en la que se encuentra es muy árida y, según el censo nacional de 2017, está habitada por 16 comunidades, con una población total de 10996 personas, de las cuales el 50% pertenecen a grupos indígenas («Información Comunal» Municipalidad de San Pedro de Atacama», 2021). Una de las mayormente representadas es la comunidad indígena Atacameña o Lickanantay, que lleva habitando la zona desde hace más de 10,000 años (Aylwin et al., 2021). Esta comunidad está distribuida alrededor de fuentes de agua o manantiales de los alrededores del salar y tradicionalmente tienen una vida basada en la agricultura y la ganadería.

Relativa a estas, la ley internacional, en concreto el Convenio 169 sobre pueblos indígenas y tribales, al que Chile está suscrito, obliga a garantizar sus derechos a la autodeterminación y a participar en las decisiones que afecten a sus territorios,

incluidas las actividades mineras (ILO, 1989). Pese a ello, la extracción de litio de salmueras en Chile ha generado preocupaciones sobre estas comunidades, en torno a los procesos de consulta y la gobernanza de los recursos naturales (Jerez et al., 2021; W. Liu & Agusdinata, 2020). El pueblo Atacameño ve el agua como un ser vivo interconectado con la tierra, las plantas y los animales. Para los Atacameños, la extracción de salmueras altera este equilibrio, afectando el sistema que conecta a los humanos, los ancestros y la tierra (Romero & Opazo, 2019). Dicha perspectiva generalmente no es tenida en cuenta por las empresas extractoras, prevaleciendo en muchos casos los intereses individuales de estas (Arenas-Collao et al., 2024).

Para abordar los impactos sociales subyacentes, se aplicará la metodología de Evaluación del Ciclo de Vida Social (S-LCA), siguiendo las directrices del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2020). Dicha evaluación se desarrollará a través de las siguientes fases: Fase 1 de objetivo y alcance, donde se definirán los límites del estudio, las categorías de impacto y las partes interesadas; Fase 2 de inventario del ciclo de vida social, que recopilará datos sobre los impactos sociales; Fase 3 de evaluación de impactos, que analizará y clasificará los efectos sociales; y finalmente, Fase 4 de interpretación, donde se discutirán los resultados y se propondrán recomendaciones para mejorar la sostenibilidad social del proceso de extracción de litio en la región del Salar de Atacama.

4.2 Fase 1: Definición de objetivo y alcance

4.2.1 Objetivo del estudio

Este análisis tiene como objetivo evaluar los impactos sociales de la extracción de litio en el Salar de Atacama mediante la metodología de Evaluación del Ciclo de Vida Social (S-LCA) ya expuesta. En concreto, se busca identificar, caracterizar y, en la medida de lo posible, cuantificar los efectos sociales derivados de las operaciones de la empresa SQM en el salar en cuestión, prestando especial atención a su incidencia sobre las comunidades locales, los trabajadores del sector extractivo y otros grupos de interés relevantes. Todo ello con el fin de fomentar un diálogo informado y promover prácticas más sostenibles en la industria.

4.2.2 Alcance del estudio

4.2.2.1 Unidad funcional, flujo de referencia y sistema del producto

Antes de proceder a definir la unidad funcional, el flujo de referencia y el sistema del producto, es necesario señalar que los dos primeros serán establecidos desde un marco teórico, dado que este estudio se basa en información secundaria. Esto implica que no se dispone de datos primarios suficientes para aplicar rigurosamente estos conceptos de forma cuantitativa. Por tanto, ambos elementos servirán como herramientas de referencia metodológica que orienten la delimitación del sistema y la interpretación de los impactos sociales evaluados, sin que ello implique una correspondencia exacta con valores medibles.

La unidad funcional podría definirse como un determinado volumen de carbonato de litio contenido en salmuera, mientras que el flujo de referencia correspondería al volumen de salmuera necesario para obtener una cantidad determinada de carbonato de litio en esta fase del proceso.

El sistema del producto, limitado en este caso a la fase de extracción, parte de la salmuera, líquido subterráneo cargado de distintos minerales (entre ellos el litio), que es extraído mediante pozos de fregona y dirigida a grandes estanques de evaporación. Allí, mediante la exposición al sol y al viento del desierto, el agua se evapora, dejando atrás compuestos concentrados de litio, que posteriormente serán tratados (SQM Litio, 2018).

Por lo tanto dicho sistema comprende exclusivamente:

- La perforación y operación de pozos para la extracción de salmuera subterránea rica en litio.
- El transporte de esta salmuera a través de canales o tuberías hacia piscinas de evaporación solar, donde se produce la concentración natural del litio por evaporación.
- El uso de insumos y recursos asociados a esta etapa (agua dulce, energía, materiales).
- Las interacciones sociales derivadas de estas actividades, incluyendo condiciones laborales, impactos sobre las comunidades indígenas locales, y la gobernanza del agua y otros recursos naturales.

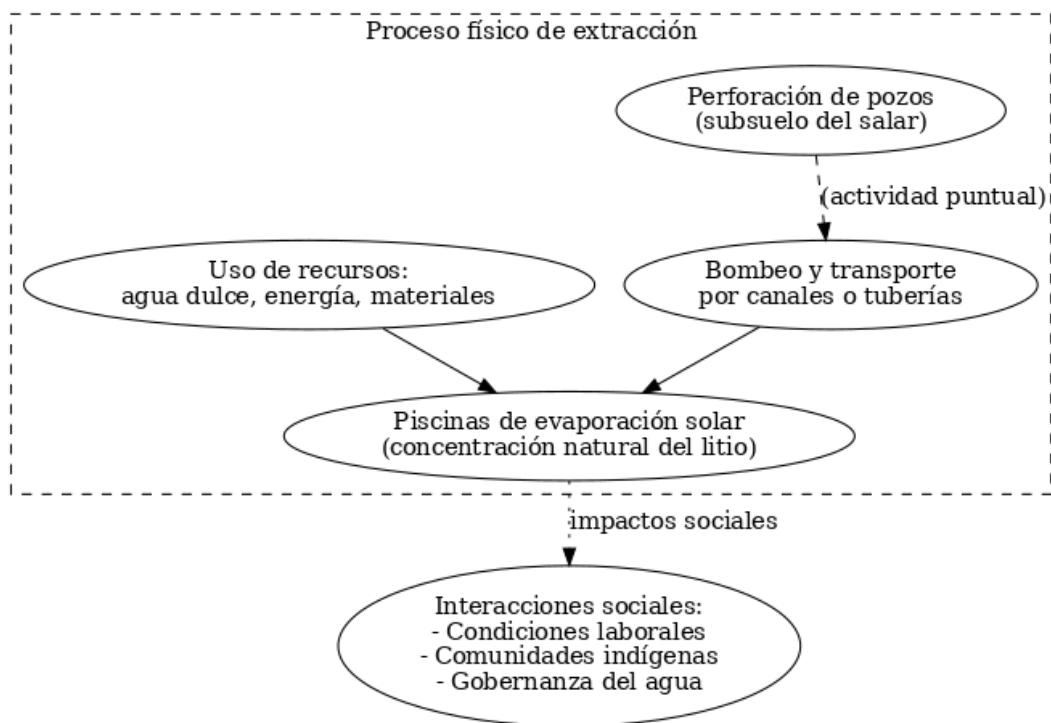


Ilustración 30. Sistema del producto. (Elaboración propia)

4.2.2.2 *Límites del sistema*

Como ya se ha mencionado, el estudio se focalizará en la fase de extracción del litio a partir de salmueras en el Salar de Atacama, considerando exclusivamente la actividad de la empresa SQM, una de las dos empresas de producción en dicho salar. Por motivos que se expondrán en el siguiente apartado (4.2.2.3 Criterios de corte).

La evaluación se realizará bajo un enfoque desde la cuna hasta la puerta ("cradle-to-gate"), abarcando desde la extracción de la salmuera hasta antes del transporte a las plantas químicas de procesado. Esto responde a que el presente trabajo, como se ha indicado desde un principio, se centra en las implicaciones sociales de la extracción del litio *per se*.

Para ver dichas implicaciones sociales, es necesario localizar el caso de estudio minuciosamente. Si se analiza el proceso productivo de la empresa SQM del Salar de Atacama y se tiene en cuenta el sistema del producto ya descrito, se puede concretar las comunidades potencialmente afectadas que corresponden.

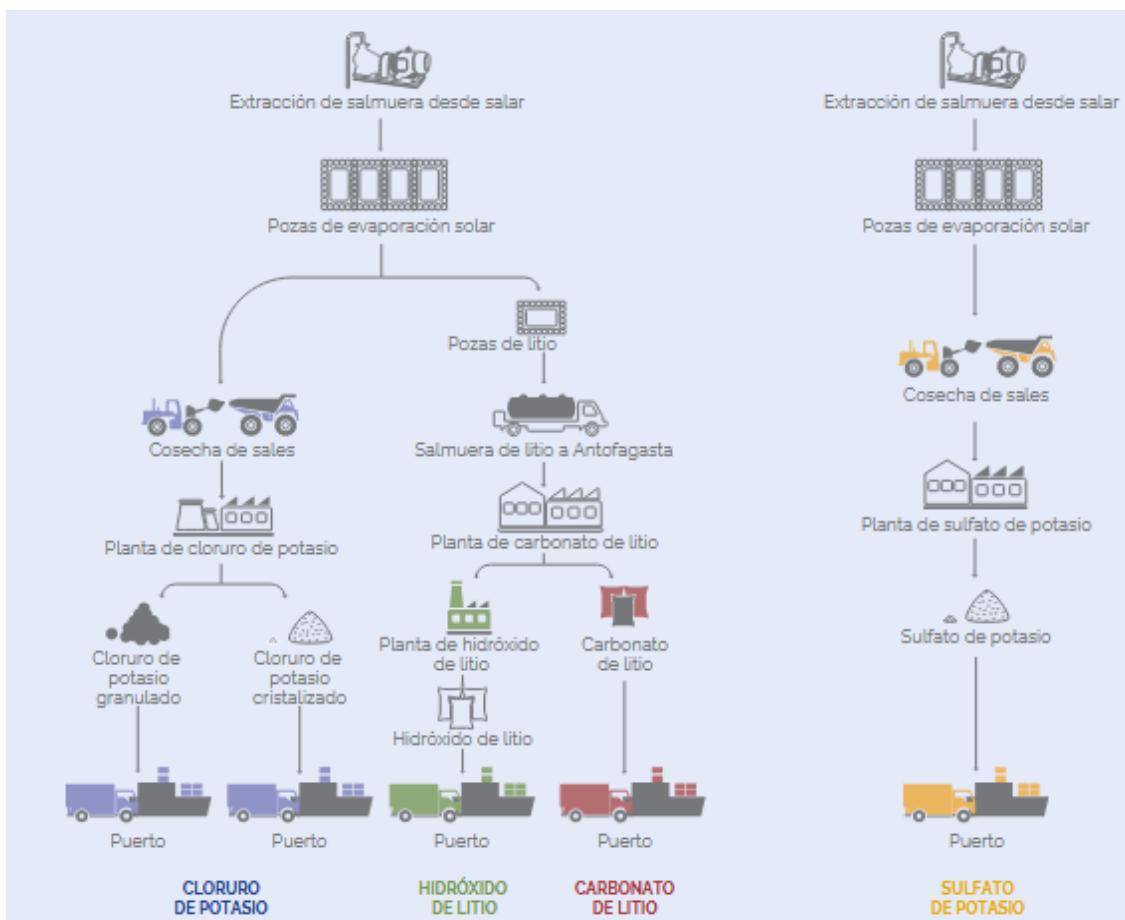


Ilustración 31. "Procesos productivos en el Salar de Atacama" (SQM Litio, 2022, p. 143).

En referencia al proceso productivo de SQM (Ilustración 31) se pueden distinguir dos tipos de comunidades potencialmente implicadas, que son:

- Comunidades cercanas al Salar de Atacama:
Las siguientes comunidades indígenas y rurales están directamente dentro del área de influencia del proyecto: Peine, Camar, Toconao, Talabre, Socaire y San Pedro de Atacama. Estas comunidades dependen de los acuíferos y recursos hídricos subterráneos para la agricultura y el abastecimiento de agua potable (Aylwin et al., 2021).

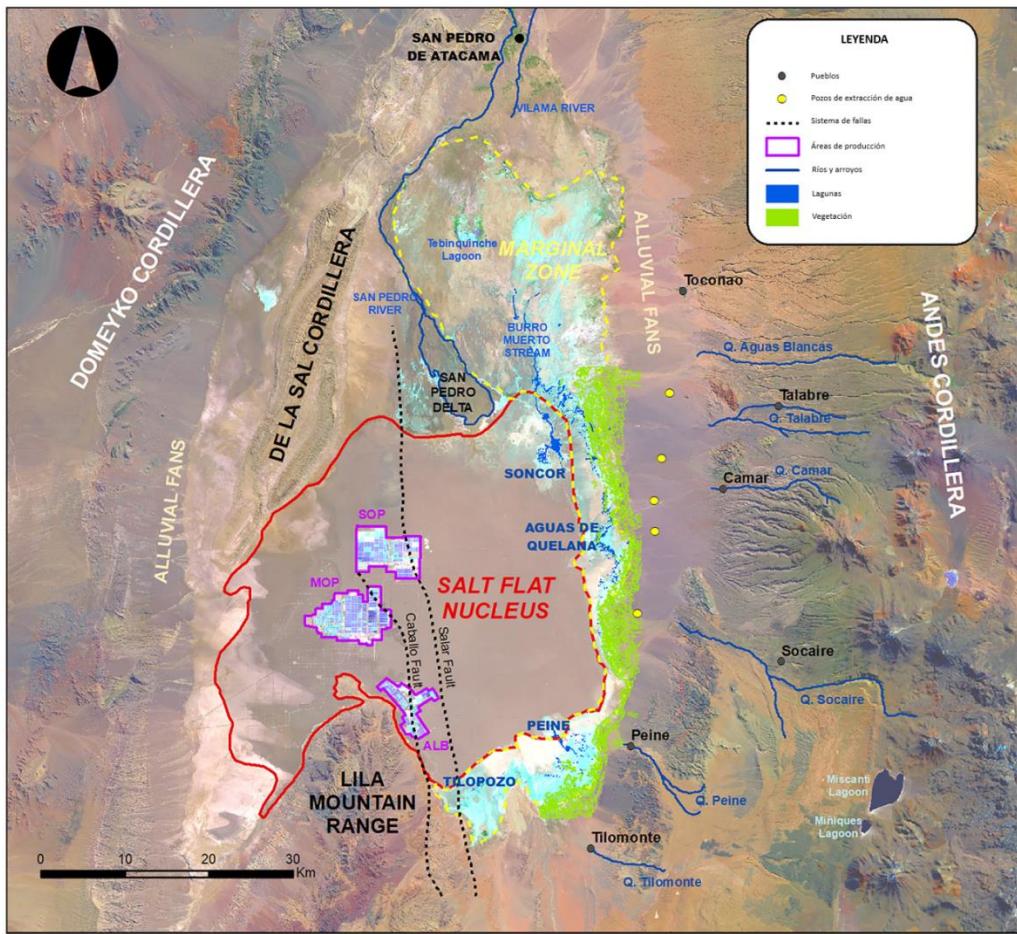


Ilustración 32. "Área de influencia social Salar de Atacama" (SQM Litio, 2018, p. 7).

- Comunidades distanciamente afectadas:

Aunque no están físicamente cerca del salar, otras comunidades pueden verse impactadas por la redistribución de recursos, la contaminación de acuíferos conectados (Ortiz et al., 2014), el transporte, el procesamiento químico, etc. Un ejemplo de esto es Antofagasta, que es el punto de procesamiento de SQM con la planta química de litio del Carmen, así como de exportación a través de su puerto (W. Liu & Agusdinata, 2020).

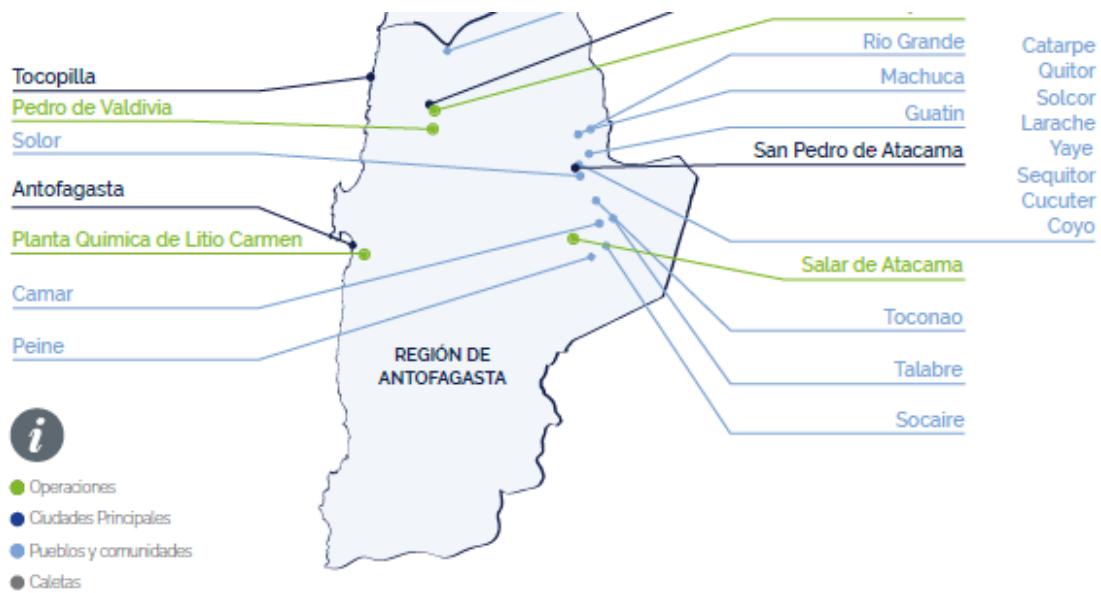


Ilustración 33. "Comunidades en torno al Salar de Atacama" (SQM Litio, 2022, p. 207).

Dado nuestro sistema de producto (ilustración 30) se han de tener en cuenta exclusivamente las fases: “extracción de salmuera desde salar”, “pozas de evaporación solar” y “pozas de litio” correspondientes al proceso meramente extractivo de SQM en el Salar de Atacama (ilustración 31). Estas fases ataúnen a lo que se ha denominado “Comunidades cercanas al Salar de Atacama”, las cuales constituirán el foco principal del análisis. Sin embargo, las comunidades distanciamente afectadas también sufren o pueden sufrir impactos sociales derivados de la actividad (exclusivamente extractiva) de la empresa, por lo que también serán tenidas en cuenta.

4.2.2.3 Criterios de corte

De acuerdo con las directrices metodológicas del S-LCA, se pueden aplicar distintos criterios de corte o exclusión para definir los límites del sistema del producto, en función de tres factores: significancia social, redundancia de elementos y recursos disponibles.

En este estudio se ha aplicado, en primer lugar, el criterio de significancia social, a través de un enfoque cualitativo basado en evidencia documental. Es decir, se incluirán prioritariamente los procesos, actores y relaciones sociales ya identificados en la literatura académica, reportes de sostenibilidad, estudios institucionales, etc. como objetos de estudio.

En segundo lugar, se aplica un criterio basado en la redundancia de elementos (elementos idénticos). Este criterio ha permitido centrar el estudio únicamente en

las operaciones de la empresa SQM, excluyendo las actividades de Albemarle, también presente en el salar. Esta decisión se basa en que ambas empresas comparten características operativas similares en cuanto a método extractivo, ubicación geográfica y marco normativo (*Salar de Atacama | Albemarle, 2024*), y que incluir ambas aportaría escaso o ningún valor en los resultados, al mismo tiempo que aumentaría la complejidad metodológica.

Por último, el criterio relacionado con los recursos disponibles ha influido en la delimitación del estudio. Al tratarse de una investigación de carácter secundario, se opta por centrar el análisis en aquella empresa (SQM) que ofrece mayor transparencia y disponibilidad de datos públicos, lo que permite una evaluación más fiable dentro de los márgenes metodológicos.

4.2.2.4 Limitaciones de acceso a los datos

Como bien menciona los lineamientos del S-LCA “Para realizar un S-LCA, se deben recopilar datos genéricos y/o específicos del sitio [...] Sin embargo, la recopilación de datos in situ requiere muchos recursos y mucho tiempo, por lo que realizar investigaciones de campo [...] a menudo no es factible. En consecuencia, la cantidad de recursos disponibles para obtener datos específicos es a menudo el factor limitante en la definición de el sistema del producto” (UNEP, 2020, p. 50). Es decir, se depende, en especial en los estudios de carácter secundario, de los recursos disponibles debido a la dificultad de realizar investigaciones de campo, pudiendo no cumplimentar correctamente ciertos objetivos de alguna de las fases predeterminadas.

Además, dentro de los datos accesibles, se encuentran ciertas problemáticas como son la falta de transparencia en la industria extractiva, muchas empresas no publican información detallada sobre las condiciones laborales ni sobre sus impactos sociales en comunidades locales. Y por otro lado la variabilidad en los estándares de reporte, es decir, los datos disponibles varían según quien los lleve a cabo, lo que dificulta la comparación homogénea.

4.2.2.5 Categorización y participación de las partes interesadas

De acuerdo con los lineamientos metodológicos establecidos por la S-LCA este estudio identifica y estructura las categorías de impacto social, ya analizadas en el capítulo anterior, en función de las partes interesadas clave en el caso de estudio. Tal como establece la guía de referencia (UNEP, 2020) las partes interesadas se definen como “los grupos sociales que están directa o indirectamente implicados o impactados por el sistema del producto”, y cuya participación es necesaria para garantizar una evaluación contextual y justa.

Atendiendo a esta definición, al sistema de producto descrito y de acuerdo a la bibliografía consultada se puede distinguir tres partes interesadas:

Trabajadores/as

Este grupo incluye a los empleados en las actividades extractivas de SQM, exclusivamente los del salar.

Comunidades locales

Hace referencia a las comunidades indígenas y rurales cercanas al Salar de Atacama.

Sociedad

Abarca a la sociedad civil en general y otros actores sociales involucrados de forma indirecta.

4.2.2.6 Método de evaluación de impacto y subcategorías de impacto

De entre los dos enfoques posibles de la metodología S-LCA se ha optado por aplicar el de escala de referencia (*Reference Scale Approach* o Tipo I), que permite medir el desempeño social comparándolo con estándares predefinidos, como la legislación nacional, las mejores prácticas internacionales o los compromisos voluntarios de las empresas (UNEP, 2020). Estos estándares predefinidos se catalogaran como “indicadores” para cada subcategoría de cada parte interesada, y en función de su grado de cumplimiento, así será la valoración final del desempeño social de la empresa SQM asociado a cada subcategoría.

Una vez identificados los grupos de interés en el apartado anterior, la selección de las subcategorías de impacto se ha realizado tomando como base las guías metodológicas oficiales (UNEP, 2021) y atendiendo a la evidencia empírica del caso chileno y del Salar de Atacama recogida en estudios recientes. Se han priorizado aquellas subcategorías que han sido directa o indirectamente problematizadas en la literatura (Aylwin et al., 2021; Babidge et al., 2019; Bolados García & Babidge, 2016; Buhmann et al., 2024; Ciftci & Lemaire, 2023; Jerez et al., 2021; W. Liu & Agusdinata, 2021; Lorca et al., 2023; Romero & Opazo, 2019) como áreas de riesgo social significativo.

Trabajadores/as

Considerando las características del sector extractivo, con su historial de conflictividad laboral en América Latina (Horta-Gaviria & García-Rodríguez, 2022), se han seleccionado las siguientes subcategorías:

- Libertad de asociación y negociación colectiva.
- Trabajo infantil.
- Salario justo.
- Jornada laboral.
- Condiciones de empleo y beneficios sociales.
- Igualdad de oportunidades/discriminación.
- Salud y seguridad.
- Beneficios sociales y bienestar laboral.
- Acoso sexual.

Comunidades locales

Este grupo representa una parte interesada especialmente sensible. De entre las subcategorías existentes en la metodología S-LCA (UNEP, 2021), para esta parte interesada se han seleccionado aquellas que permiten capturar la complejidad de las relaciones entre las comunidades y las operaciones extractivas. Lo aquí catalogado como “Respeto a los derechos indígenas y participación comunitaria” es el resultado de la agrupación de dos subcategorías de la S-LCA, al considerarse que abarcan problemáticas similares, pero con distintos matices relevantes en este caso de estudio.

- Acceso a recursos materiales.
- Acceso a recursos inmateriales.
- Deslocalización y migración.
- Patrimonio cultural.
- Condiciones de vida seguras y saludables.
- Respeto a los derechos indígenas y participación comunitaria.
- Empleo local.

Sociedad

Aunque de manera más indirecta, la actividad de extracción de litio tiene implicaciones sobre la sociedad civil a través de sus efectos económicos, institucionales, tecnológicos y ambientales (Babidge et al., 2019; Godoy, 2022; W.

Liu & Agusdinata, 2020; Ortiz et al., 2014). Se incluyen aquí las siguientes subcategorías:

- Compromiso público con la sostenibilidad.
- Contribución al desarrollo económico.
- Corrupción.
- Biodiversidad*.

*La subcategoría "Biodiversidad" no aparece como tal en la guía metodológica pero se considera tratar el impacto, derivado de las operaciones, sobre esta, al ser de alta relevancia para la sociedad en cuestión. Se seguirá un procedimiento acorde a la metodología.

4.3 Fase 2: Inventario del ciclo de vida (S-LCI)

La segunda fase consiste en la elaboración del Inventario del Ciclo de Vida Social (S-LCI, por sus siglas en inglés), que tiene por objetivo estructurar la información consultada, la cual posteriormente permite evaluar los impactos sociales potenciales asociados al sistema del producto definido.

De acuerdo con la metodología, esta fase implica identificar, recopilar, organizar y valorar los datos relevantes vinculados a las subcategorías de impacto. Con este fin, esta fase se desarrolla a través de las siguientes cuatro etapas:

1. Identificación de las fuentes.
2. Recolección y sistematización de los distintos tipos datos.
3. Evaluación de la calidad de los datos.
4. Análisis preliminar de impactos sociales.

4.3.1 Identificación de las fuentes

La primera etapa se centra en identificar las fuentes de información disponibles para el análisis. Dado que el presente trabajo se basa exclusivamente en fuentes secundarias, se ha optado por una estrategia de carácter documental principalmente, tal como permiten las directrices metodológicas de la S-LCA (UNEP, 2020).

La información recopilada se puede clasificar en cinco grandes categorías, de acuerdo con su naturaleza, nivel de especialización y grado de vinculación con las subcategorías de impacto seleccionadas. A continuación, se describen brevemente, identificando su papel dentro del análisis:

Documentación metodológica y normativa

Estas fuentes constituyen el marco técnico teórico que estructura todo el análisis. Incluyen tanto las guías metodológicas de referencia como el marco jurídico nacional e internacional aplicable al contexto chileno:

-(UNEP, 2020, 2021, 2022): Directrices, fichas metodológicas para subcategorías y ejemplos de aplicación del S-LCA.

-(ILO, 1919, 1948, 1949, 1951, 1952, 1958, 1961, 1964, 1970, 1973, 1981, 1982, 1989, 1999, 2006, 2019): Convenios de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) sobre diversos derechos.

-(Nacional, 1968, 1981, 1993, 1994, 2003, 2003, 2005a, 2005b, 2009, 2016, 2019, 2023): Ley y normativa chilena relativa a los asuntos tratados, recogida en la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

-(Naciones Unidas, 1966, 1966, 1979, 1989, 2007, 2010, 2011) : Pactos y convenciones internacionales sobre derechos impulsados por Naciones Unidas.

Literatura científica revisada por pares

La literatura académica especializada constituye la principal base para caracterizar el contexto social, ecológico, legal y simbólico del caso de estudio. Se han incluido investigaciones que abordan el impacto de la minería de litio en el Salar de Atacama desde múltiples perspectivas: territorial, cultural, jurídica, ecológica, laboral, económica y política. Los estudios más relevantes incluyen, entre otros:

-(Aylwin et al., 2021; Azócar Duarte, 2022; Bolados García & Babidge, 2016; Buhmann et al., 2024; Ciftci & Lemaire, 2023; Godoy, 2022; Gundermann & Göbel, 2018; Jerez et al., 2021; W. Liu & Agusdinata, 2020, 2021; Lorca et al., 2023; Romero & Opazo, 2019): Sobre derechos indígenas, cosmovisión del agua, fragmentación comunitaria, gobernanza extractiva y territorial, justicia ambiental y consulta previa.

-(Babidge et al., 2019; Gajardo & Redón, 2019; Gutiérrez et al., 2022; Mas-Fons et al., 2024): Tratan impactos ecológicos, huella hídrica y pérdida de biodiversidad.

-(Jorratt, 2022; Obaya et al., 2024; Rehner et al., 2023): Análisis geopolíticos y económicos del litio.

-(Ejeian et al., 2021; Flores Fernández & Alba, 2023): Debates sobre el estatus jurídico de la salmuera como recurso hídrico o mineral en Chile.

-(Horta-Gaviria & García-Rodríguez, 2022; Kelly et al., 2021; Mousavinezhad et al., 2024; Thies, 2019): Estudios complementarios sobre impactos en el ciclo de vida, desempeño ambiental e impactos sociales globales relacionados.

Documentación corporativa y técnica

Incluye documentos emitidos por la empresa SQM, así como estudios técnicos aplicables a la operación extractiva:

- (SQM Litio, 2018, 2022): Ofrecen información sobre consumo de recursos, indicadores laborales, estrategias de relación comunitaria, producción y emisiones.
- (IRMA, 2023): Paquete de auditoría del desempeño de SQM en el Salar de Atacama.
- (Marazuela et al., 2020; Ortiz et al., 2014): modelación hidrogeológica y recomendaciones.
- (SMA, 2022): Resolución de la Superintendencia del Medio Ambiente sobre cumplimiento ambiental de SQM.
- («Información Comunal» Municipalidad de San Pedro de Atacama», 2021): Datos demográficos comunales.

Fuentes grises y comunitarias

Este grupo resulta fundamental para recoger la voz de las comunidades afectadas y perspectivas críticas sobre la actividad extractiva, a menudo ausentes en las fuentes institucionales o académicas. Se trata de reportajes, documentales, entrevistas, columnas de opinión y estudios impulsados por ONGs, medios independientes y actores sociales. Entre ellas se encuentran:

- (OCMAL, s. f.-b, s. f.-a): Fichas de conflicto mineros desarrolladas por el Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina, entre las que se encuentra la de SQM en el Salar de Atacama.
- (Azócar, 2021; Hidalgo, 2024; Montoya, 2024; Mortensen, 2019; Perrone, 2024; UACH, 2022): Artículos de revista con testimonios, denuncias sobre impactos sociales, distribución desigual de beneficios, falta de transparencia y degradación del salar.
- (Ciudadano, 2024; DW Español, 2024; FRANCE 24 Español, 2024) : Videos, documentales y entrevistas con actores sociales del caso de estudio

La integración de estos tipos de fuentes proporciona una base metodológicamente robusta para el inventario del ciclo de vida social. La diversidad de enfoques (normativos, técnicos, etnográficos, documentales, testimoniales) permite contrastar discursos y cubrir de forma razonable la mayoría de subcategorías de impacto.

No obstante, se reconocen limitaciones en algunas dimensiones poco documentadas, que se discutirán con mayor profundidad en el análisis de calidad de datos (apartado 4.3.3).

4.3.2 Recolección y sistematización de los distintos tipos de datos.

Esta segunda etapa del inventario consiste en organizar la información recopilada según su naturaleza y su vinculación con las subcategorías de impacto.

Para ello, en primer lugar, se han identificado indicadores representativos para cada subcategoría, siguiendo como referencia las fichas metodológicas propuestas por la S-LCA (UNEP, 2021). A partir de ahí, se ha realizado la localización de información asociada a esos indicadores en las fuentes disponibles, así como su sistematización según la naturaleza del dato (testimonial, normativo, estimativo, etc.). En los casos en que no ha sido posible obtener información relevante, se ha documentado la existencia de vacíos o lagunas.

La selección de los datos ha respondido, siempre que ha sido posible, a tres criterios principales. Por un lado, se ha priorizado la relevancia contextual, es decir, que la información en cuestión corresponda de manera directa a las operaciones extractivas de SQM en el Salar de Atacama. También se ha procurado cierto rigor a través de triangulación de fuentes, como garantía mínima de fiabilidad. Por último, se ha valorado la capacidad de los datos para aportar información útil sobre las subcategorías seleccionadas.

En cuanto a la naturaleza de los datos, predomina con claridad la información cualitativa, pues buena parte del inventario se apoya en testimonios, entrevistas, reportajes, estudios etnográficos y análisis territoriales. Este tipo de evidencia ha sido fundamental para comprender procesos relacionados con la percepción del desarrollo, la transformación comunitaria, la pérdida de medios de vida tradicionales o las tensiones en torno a la consulta previa.

También se han recopilado datos de tipo semi-cuantitativo, como estimaciones sobre empleo local o consumo hídrico, que ayudan a dimensionar ciertos procesos y a contrastar discursos institucionales. Por su parte, los documentos normativos y jurídicos han servido de referencia para evaluar el cumplimiento de estándares. Finalmente, los datos cuantitativos han sido escasos, lo que ha limitado su uso como base principal del análisis.

En conjunto, puede afirmarse que el inventario social se apoya de forma mayoritaria en evidencia cualitativa, lo que resulta coherente con la naturaleza de las problemáticas analizadas.

4.3.3 Evaluación de la calidad de los datos

La fiabilidad del inventario social en una Evaluación del Ciclo de Vida Social (S-LCA) depende no solo de la cantidad y diversidad de fuentes, sino también de la calidad de los datos recopilados. Siguiendo las recomendaciones de la guía metodológica de la UNEP (2020), este apartado evalúa los datos utilizados en función de los siguientes criterios: relevancia: medida en que los datos responden a las subcategorías e indicadores definidos; fiabilidad: confianza en la precisión de los datos, según su origen y forma de obtención; representatividad: adecuación al contexto geográfico y social del estudio; actualidad: correspondencia temporal de los datos respecto a la situación analizada.

Las fuentes han sido evaluadas en conjunto según su categoría asignada, a continuación se sintetiza la calidad de sus datos en función de los criterios descritos:

Tabla 1. Calidad de los datos según la categoría asignada de fuente

Categoría de fuente	Relevancia	Fiabilidad	Representatividad	Actualidad	Observaciones
Documentos metodológicos y normativos	Media	Alta	Media	Media	Fundamentan el marco analítico y establecen criterios de referencia.
Literatura científica revisada por pares	Media	Alta	Media/Alta	Alta	Basada en métodos académicos rigurosos, especialmente en lo cualitativo.
Informes institucionales y técnicos	Media	Alta	Media	Media/Alta	Útiles para aspectos estructurales; menor detalle en variables sociales.
Reportes corporativos (SQM)	Media	Media	Alta	Alta	Útiles para datos operativos, pero deben usarse críticamente.
Fuentes grises y comunitarias	Alta	Variable	Alta	Media/Alta	Muy valiosas para captar voces locales; requieren análisis crítico.

Pese al esfuerzo por construir un inventario amplio y riguroso, se han identificado una serie de vacíos y limitaciones relevantes, que condicionan la profundidad del análisis.

Por un lado, existe una clara falta de indicadores estandarizados aplicables al caso de estudio, la mayoría de las fuentes no permiten establecer líneas base claras ni comparaciones homogéneas. Además, ciertos datos relevantes no se encuentran desagregados por tipo de actor como por ejemplo trabajadores directos o subcontratados.

También hay ciertas subcategorías poco documentadas y de otras se percibe un sesgo en los informes empresariales, que tienden a ofrecer una representación positiva sin incluir indicadores verificables desde fuentes externas.

Estas limitaciones no invalidan el valor del inventario consultado, pero obligan a adoptar una postura interpretativa cautelosa en las siguientes fases.

4.3.4 Análisis preliminar de impactos

Una vez recopilados y sistematizados los datos, este apartado trata de identificar los principales impactos sociales asociados a la actividad en cuestión de acuerdo a la literatura consultada. Dichos impactos, no constituyen aún una valoración definitiva, sino un diagnóstico preliminar que permite visibilizar los *hotspots* sociales más relevantes, de cara a su posterior evaluación en profundidad. Al ser un análisis preliminar generalizado, no se citarán aún las fuentes, esto se tratará en la siguiente fase al detalle.

Impactos en trabajadores/as

Existen ciertas implicaciones sociales sobre los trabajadores/as del sector extractivo en cuestión, sin embargo, en un análisis superficial no es reseñable ninguno, aunque en ciertas subcategorías sensibles se aprecia poco seguimiento e/o información al respecto.

Impactos sobre comunidades locales

Las comunidades indígenas y rurales que viven en los alrededores del salar son las más afectadas por las consecuencias negativas derivadas de la actividad extractiva. Uno de los problemas más graves es el acceso al agua, la reducción de los caudales subterráneos ha provocado una escasez que perjudica tanto el consumo humano como las prácticas agrícolas tradicionales y el equilibrio del ecosistema.

A esto se suma la pérdida progresiva de modos de vida ancestrales que, con el avance de la minería, actividades como la ganadería, la agricultura o el turismo comunitario se han visto mermadas o directamente desplazadas. No se trata solo de una cuestión económica, sino también cultural, la extracción de salmuera altera profundamente la relación espiritual y simbólica que las comunidades mantienen con su entorno.

Por otra parte, el derecho a la consulta previa no siempre se respeta pues, en muchos casos, estas consultas se llevan a cabo de forma superficial, lo cual ha generado tensiones internas y divisiones, así como, dudas sobre la legitimidad de los procesos de gobernanza.

Impactos sobre la sociedad

En el plano regional y nacional, se observan impactos de carácter estructural y difíciles de delimitar con precisión. Uno de ellos es la desigualdad en la distribución de los beneficios generados por la actividad de las empresas extractivas, mientras estas obtienen importantes ganancias, las mejoras en la calidad de vida de las comunidades siguen siendo limitadas.

Otro problema es la escasa transparencia en los contratos y la ambigüedad legal respecto al estatus de la salmuera como recurso mineral, generando un escenario de desprotección tanto para las comunidades como para el medioambiente.

También destacan los riesgos ecológicos derivados de la actividad extractiva, que no se limitan a un lugar específico, sino que atraviesan todo el ecosistema, lo que pone en peligro el equilibrio ambiental de la región.

En la Tabla 2 de abajo se hace un resumen de los *hotspots* identificados para los distintos grupos de interés.

Tabla 2. Síntesis de *hotspots* sociales preliminares

Grupo de interés	Hotspots sociales identificados
Trabajadores/as	Ninguno
Comunidades locales	Escasez hídrica, pérdida cultural, fragmentación comunitaria, vulneración de la consulta previa
Sociedad en general	Concentración de beneficios, impactos ecológicos sobre bienes comunes y biodiversidad

El análisis preliminar de impactos evidencia la existencia de múltiples implicaciones sociales con especial afectación sobre las comunidades indígenas locales.

4.4 Fase 3: Evaluación de impacto (S-LCIA)

Esta fase consiste en valorar el desempeño social, en este caso, de las actividades que lleva a cabo la empresa SQM, correspondientes al sistema del producto ya descrito, en relación con las subcategorías de impacto. Esto implica un ejercicio interpretativo, mediante el enfoque de escala de referencia adoptado, que permite

identificar riesgos sociales y establecer comparaciones con estándares normativos y principios de referencia.

El análisis se organiza por los grupos de partes interesadas (trabajadores/as, comunidades locales y sociedad) y dentro de cada uno se aborda cada subcategoría definida. Para cada caso, se identifica el estándar normativo aplicable, los datos disponibles asociados (informes de la propia empresa, testimonios de diversas fuentes, contraste con reportes externos, etc.) y una justificación argumentada del nivel de desempeño observado.

Para facilitar la comparabilidad entre subcategorías y asegurar la coherencia metodológica, se adopta la siguiente escala de valoración (Tabla 3), adoptada y adaptada de las guías de referencia (UNEP, 2020, 2022):

Tabla 3. Puntuación para determinar el desempeño social de la actividad de la empresa SQM en el Salar de Atacama correspondiente a cada subcategoría.

Puntuación	Correspondencia	Descripción
2	Cumplimiento proactivo	El comportamiento supera los requisitos normativos o estándares de referencia. Se evidencian buenas prácticas y mecanismos de mejora continua.
1	Cumplimiento básico	Se cumple con los requisitos mínimos exigidos por la legislación o el estándar aplicable. No se identifican acciones dudosas ni ausencia de información.
0	Cumplimiento parcial/ Riesgo moderado	El cumplimiento es parcial. Existen medidas formales, pero con cobertura limitada, debilidades en la implementación o vacíos relevantes de información.
-1	Riesgo significativo	El comportamiento observado incumple en aspectos sustanciales. Hay evidencia de prácticas problemáticas o de ausencia de mecanismos adecuados.
-2	Riesgo crítico	Se constatan violaciones graves o sistemáticas del estándar, o bien ausencia total de protección en la subcategoría evaluada.

4.4.1 Trabajadores/as

4.4.1.1 *Libertad de asociación y negociación colectiva*

En lo que respecta a esta parte interesada y subcategoría hace referencia al derecho a la libertad sindical y a la negociación colectiva. Ambos están reconocidos por los Convenios 87 y 98 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) (ILO, 1948, 1949), ratificados por Chile, así como por el artículo 19, Nº 19 de la Constitución chilena (Nacional, 2005b) y el Código del Trabajo (arts. 212 a 298) (Nacional, 2003). En el ámbito internacional también se recoge en el “Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales” (art. 8) (Naciones Unidas, 1966).

Dentro de la metodología S-LCA, esta subcategoría se considera fundamental para evaluar el respeto a los derechos de los trabajadores. Por ello, para valorar adecuadamente el ejercicio de la libertad de asociación y la negociación colectiva en la empresa analizada, es importante examinar la presencia de sindicatos y la existencia de convenios colectivos. Además, se ha de comprobar si existen barreras, formales o informales, que dificulten su ejercicio pleno, así como la participación efectiva de los sindicatos en la toma de decisiones laborales.

Según el Informe de Sostenibilidad de 2022 de SQM (SQM Litio, 2022), el 77,1% del personal estaba afiliado a algún sindicato y un 75,8% cubierto por convenios colectivos. La empresa declara reconocer y respetar el derecho a la organización sindical, promoviendo un “diálogo informado y transparente” y señala que realiza procesos regulares de negociación colectiva.

Esto es respaldado por la auditoría independiente “*Initiative for Responsible Mining Assurance*” (IRMA, 2023), donde se reporta que dicha empresa mantiene contratos colectivos vigentes y respetados, así como la ausencia de impedimentos al ejercicio sindical, además, no emplea medidas como contratos cortos para limitar derechos.

Asimismo, la empresa se mantiene neutral ante cualquier esfuerzo legítimo de sindicalización y no interfiere en la creación o participación en sindicatos, las entrevistas realizadas a 57 empleados, incluidos subcontratados y miembros de sindicatos, lo confirman (IRMA, 2023). Estas se realizaron sin supervisión empresarial, garantizando independencia en las respuestas.

Si bien las tasas de sindicalización en SQM superan ampliamente el promedio nacional de la minería en Chile (35,9% (Corporación para el desarrollo de la región de Atacama, 2020)), y no se han identificado pruebas directas de represión sindical, la ausencia de datos desagregados sobre trabajadores subcontratados impide una validación completa de su participación sindical.

Por tanto, se concluye que la empresa cumple con la normativa nacional e internacional en materia de libertad sindical, pero la ausencia de datos desagregados impide confirmar un cumplimiento integral. Se asigna pues un nivel de desempeño de +1 (cumplimiento básico).

4.4.1.2 Trabajo infantil

En cuanto al trabajo infantil, está prohibido tanto por la legislación chilena (Código del Trabajo, arts. 13 a 18 (Nacional, 2003)) como por instrumentos internacionales ratificados por Chile, como los Convenios 138 y 182 de la OIT (ILO, 1973, 1999), o la Convención sobre los Derechos del Niño (Naciones Unidas, 1989). Esta subcategoría dentro de la metodología es considerada “crítica” por lo que requiere no solo de su prohibición formal, sino también de garantizar mecanismos efectivos para prevenirla, tanto de forma directa como a través de terceros. La normativa chilena establece la edad mínima de 15 años para ciertos trabajos no peligrosos, pero en minería rige una prohibición total para menores de 18 años (Nacional, 2003).

La empresa declara explícitamente en el "Reporte de Sostenibilidad 2022" (SQM Litio, 2022) la prohibición del trabajo infantil en todas sus operaciones, estableciendo una edad mínima de 18 años para la contratación de personal, aplicable también a sus proveedores mediante su "Política de abastecimiento responsable".

Al respecto, la ya mencionada auditoría (IRMA, 2023) verificó que no se emplea a menores de edad en ninguna fase del proceso productivo. Se constató el cumplimiento total del estándar IRMA en lo relativo al trabajo infantil, tanto para tareas peligrosas como no peligrosas, confirmando que la empresa en cuestión no emplea a personas menores de 18 años en sus operaciones.

Asimismo, no se han identificado denuncias públicas ni investigaciones externas que vinculen a SQM con la utilización de mano de obra infantil. Por ejemplo, en las bases de datos de conflictos mineros como (OCMAL, s. f.-b), las problemáticas laborales reportadas en torno a esta empresa no mencionan en ningún caso el empleo de menores.

Considerando todo lo expuesto, se puede decir que la compañía cumple con las exigencias legales y normativas relativas al trabajo de menores. Dadas sus políticas firmes al respecto, la verificación de cumplimiento mediante auditoría independiente y la ausencia de evidencia de infracciones, permiten asignar una valoración +2 (cumplimiento proactivo) para esta subcategoría.

4.4.1.3 Salario justo

Conceptualmente el salario justo se encuentra recogido en el Convenio 131 de la OIT (ILO, 1970), que establece el derecho a una remuneración suficiente para satisfacer las necesidades básicas del trabajador y su familia. Además, los Principios Rectores sobre Empresas y Derechos Humanos (Naciones Unidas, 2011) exigen a las empresas velar no solo por la legalidad de las remuneraciones, sino por su justicia y equidad relativa.

En Chile, el Código del Trabajo en el Título II, Capítulo I (Nacional, 2003) instituye como base legal el salario mínimo, que en 2024 se situaba en aproximadamente CLP\$500.000 mensuales (Nacional, 2023) lo que son unos US\$530.

Según SQM, sus trabajadores en el Salar de Atacama perciben sueldos mínimos superiores a este, alcanzando aproximadamente los US\$1.250 mensuales (SQM Litio, 2018). La auditoría realizada por IRMA respalda esta afirmación, asegurando que la empresa paga de manera puntual, transparente y conforme a la ley (IRMA, 2023).

Sin embargo, la información disponible no permite verificar si las condiciones salariales se cumplen con los trabajadores subcontratados, que representan una parte significativa la fuerza laboral en minería.

Por todo ello, se concluye que la empresa cumple con lo requerido en términos salariales para su plantilla directa, aunque se detecta un margen de mejora en la transparencia de las condiciones de los subcontratados. Se asigna así una calificación de +1 (cumplimiento básico).

4.4.1.4 Jornada laboral

La legislación chilena establece, mediante el Código del Trabajo (art. 22 y siguientes), que la jornada ordinaria de trabajo no debe exceder las 45 horas semanales, con posibilidad de jornadas excepcionales bajo autorización de la Dirección del Trabajo (Nacional, 2003). Además, la OIT, a través del Convenio 1 (ILO, 1919), establece principios generales sobre la limitación de la jornada laboral como derecho fundamental de los trabajadores.

Según el reporte de sostenibilidad de la empresa (SQM Litio, 2022), el 72,3% del personal trabaja bajo una jornada excepcional (turnos como 4x3, 7x7 y 14x14), un 27,7% trabaja en jornada ordinaria y apenas un 0,04% a tiempo parcial. Estos datos indican que la mayoría de los trabajadores están expuestos a turnos prolongados, lo cual implica ciertos requisitos adicionales deseables por parte de la empresa.

SQM por su parte, declara cumplir “todas las leyes sobre condiciones de trabajo, salarios y horas máximas” y afirma contar con reglamentos internos reconocidos por la Dirección del Trabajo. Esto lo corrobora (IRMA, 2023), afirmando que la empresa satisface las normas internacionales en cuanto a duración de jornada, pues se asegura que los trabajadores no sobrepasen un promedio de 8 horas diarias ni 48 horas a la semana, y que tengan al menos 24 horas seguidas de descanso cada siete días trabajados.

Sin embargo, el informe de SQM no incluye evidencia desagregada sobre horas reales trabajadas, sobrecarga laboral, mecanismos de compensación por extensión de jornada, ni políticas para mitigar los efectos asociados a las largas jornadas.

Por otra parte, como ya se ha mencionado en alguna de las subcategorías anteriores, la falta de información sobre las condiciones laborales de los trabajadores subcontratados genera cierta incertidumbre, ya que no se detalla si estos cumplen los mismos estándares.

En resumen, la empresa cumple con lo que exige la normativa nacional e internacional en cuanto al tiempo de trabajo, algo que ha sido verificado por auditorías externas. Sin embargo, la falta de información sobre medidas concretas para reducir los riesgos que pueden derivarse de los turnos prolongados, así como la escasa claridad sobre la situación de los subcontratados, lleva a calificar esta subcategoría con un +1, es decir, como cumplimiento básico.

4.4.1.5 Condiciones de empleo

Según los distintos estándares que se toman como referencia, las condiciones de empleo abarcan la estabilidad y formalidad del vínculo laboral, la duración de los contratos, y el cumplimiento de las obligaciones legales y de seguridad social. Estos aspectos están regulados, en este contexto, por el Código del Trabajo chileno (Nacional, 2003), así como por los Convenios 122 (ILO, 1964) sobre política de empleo y 158 (ILO, 1982) sobre terminación del contrato de trabajo.

De acuerdo a SQM (SQM Litio, 2022), la dotación de trabajadores con contrato indefinido asciende a 6.610 personas, mientras que 387 tienen contrato a plazo fijo. Es decir, el 94,5% de la plantilla directa goza de cierta estabilidad contractual.

Por otro lado se informa que más de 11.000 personas trabajan en régimen de subcontratación. Este número supera ampliamente a la plantilla directa, lo que revela una dependencia estructural del trabajo subcontratado en las operaciones del Salar de Atacama. SQM declara que exige a sus contratistas el cumplimiento del Código del Trabajo y de sus estándares internos. Relativo a ello la auditoría (IRMA, 2023) reconoce que SQM ha establecido mecanismos para comunicar a sus

contratistas expectativas de desempeño social y ambiental, y que existe un sistema de selección y evaluación contractual. No obstante, señala que la empresa aún trabaja en una evaluación más detallada para asegurar la plena integración de los requisitos de esta auditoría sugiere en los contratos de terceros.

Cabe destacar que en 2022 la empresa en cuestión fue objeto de 40 juicios por tutela de derechos fundamentales, de los cuales 21 fueron iniciados por trabajadores subcontratados (SQM Litio, 2022), es decir, más de la mitad. Esto evidencia la existencia de conflictos en las condiciones de empleo indirecto.

En lineal generales SQM garantiza formalmente condiciones de empleo estables para su plantilla directa y declara exigir lo mismo a sus contratistas. Sin embargo, la falta de información desagregada sobre subcontratación y un número reseñable de conflictos judiciales al respecto, hacen ser precavidos en cuanto a su desempeño. Por ello, esta subcategoría se evalúa con un 0 (cumplimiento parcial/riesgo moderado).

4.4.1.6 Igualdad de oportunidades/discriminación

Reconocidas como derechos fundamentales, la igualdad de oportunidades y la no discriminación, están recogidas por la “Convención sobre la Eliminación de Todas las Formas de Discriminación contra la Mujer” (Naciones Unidas, 1979) los Convenios 100 y 111 de la OIT (ILO, 1951, 1958), y el Código del Trabajo chileno (art. 2) (Nacional, 2003), que prohíbe expresamente toda forma de discriminación laboral directa o indirecta, así como la obligación de promover un entorno laboral inclusivo y equitativo.

En el contexto de la S-LCA, esta subcategoría implica evaluar la existencia de políticas activas de inclusión, la representación de grupos subrepresentados (como mujeres, personas con discapacidad o indígenas), así como la presencia de sesgos estructurales (por ejemplo, brechas salariales no justificadas, estereotipos de género o falta de participación en espacios de liderazgo).

La empresa declara formalmente su compromiso con estos principios, mediante una “Política de Diversidad e Inclusión” que se estructura en tres ejes: el aumento de la participación femenina, la inclusión de personas con discapacidad, y la contratación local. Durante 2022, la compañía alcanzó un 20% de dotación femenina, superando el promedio nacional del sector minero, situado en torno al 17,4%. Además, el 17,7% de las mujeres ocupaban cargos de liderazgo, y un 22% trabajaba en áreas STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) (SQM Litio, 2022).

En términos de equidad de género, SQM ha obtenido la certificación bajo la Norma Chilena NCh3262 (Nacional, 2019), que establece un sistema de gestión para la igualdad de género y la conciliación de la vida laboral, familiar y personal. Asimismo, la empresa fue reconocida con el Premio “IMPULSA 2022” destacando la categoría *Commodities*, por su desempeño en indicadores de género (SQM Litio, 2022).

La compañía también ha desarrollado iniciativas específicas para fomentar la diversidad, como el reclutamiento ciego y programas de mentorías orientados a mujeres en ingeniería, además de actividades enfocadas en la inclusión de personas con discapacidad. A finales de 2022, 42 personas con discapacidad formaban parte de su plantilla.

En cuanto a la informe auditado por IRMA, no identifica quejas formales por discriminación, y reconoce que SQM cumple con los requisitos básicos de no discriminación y promoción de la diversidad, aunque con margen de mejora en transparencia de resultados (IRMA, 2023).

Se puede afirmar pues, que SQM ha establecido políticas activas de igualdad de oportunidades y ha sido reconocida por sus avances en participación femenina y certificaciones en la materia. Por ello, esta subcategoría se califica con +2 (cumplimiento proactivo).

4.4.1.7 Salud y seguridad

El derecho de los trabajadores a desempeñar sus labores en un entorno seguro y saludable está amparado por el marco normativo internacional y nacional, concretamente por los Convenios 155 y 187 de la OIT (ILO, 1981, 2006) y por la Ley N° 16.744 en Chile (Nacional, 1968), que regula la prevención de riesgos, los accidentes laborales y las enfermedades profesionales.

Para la valoración del desempeño de SQM en esta materia se analizarán parámetros que reflejan estos estándares, como la existencia de un sistema de gestión integrado de seguridad y salud, el registro de tasas de accidentabilidad y enfermedades profesionales o el desarrollo de procedimientos de emergencias.

Al respecto, la compañía declara contar con un sistema propio denominado SISGRO (Sistema Integrado de Seguridad y Salud Ocupacional), que aplica a su personal directo y al de empresas contratistas. Dicho sistema abarca elementos como la identificación de riesgos, uso obligatorio de elementos de protección personal, funcionamiento de comités paritarios, planes de emergencia, auditorías internas, y programas de higiene ocupacional (SQM Litio, 2022). Además, la empresa ha logrado certificar sus operaciones bajo la norma ISO 45001:2018 (ISO, 2018),

reconocida como estándar de referencia para la gestión de la seguridad y salud en el trabajo, en el Salar de Atacama y en la Planta de Litio Carmen. A esto se suma su colaboración permanente con la Asociación Chilena de Seguridad (ACHS), en labores de identificación de riesgos, vigilancia ambiental y control médico preventivo.

Por otro lado, durante el año 2022, se identificaron más de seis mil condiciones inseguras en las instalaciones, de las cuales el 98% fueron resueltas, según datos proporcionados por la propia empresa. Además, todos los trabajadores, tanto propios como subcontratados, reciben formación periódica en prevención de riesgos, uso de EPP, y primeros auxilios.

No obstante, una revisión más profunda a partir de la auditoría realizada por IRMA (2023) revela varios matices al respecto. Esta indica que, aunque SQM presenta avances importantes y obtuvo un nivel general de cumplimiento del 80% en esta área, varios aspectos fueron catalogados como cumplimiento parcial “I”. En concreto, se detectaron deficiencias en la accesibilidad y estandarización del proceso de evaluación de riesgos, lo que afecta a la correcta identificación de peligros en todas las operaciones. Además, no se da una atención suficiente a los riesgos específicos que enfrentan trabajadores considerados vulnerables, como mujeres embarazadas o personas con condiciones de salud particulares.

Otro aspecto señalado por la auditoría es la dependencia de la empresa respecto a la ACHS para la vigilancia médica, es decir, no realiza controles generales de salud por cuenta propia. Lo mismo ocurre con los datos médicos, la información es administrada externamente, y al carecer de un sistema propio que garantice la custodia y trazabilidad de estos datos a largo plazo, limita su capacidad de respuesta frente a emergencias o exposiciones prolongadas.

A pesar de estos puntos críticos, SQM ha demostrado tener una base sólida en la gestión preventiva, con procedimientos y estructuras que buscan mitigar riesgos de manera general. Sin embargo, la auditoría IRMA deja claro que aún existen aspectos mejorables en cuanto a la estandarización de procesos, el tratamiento diferenciado de trabajadores con riesgos especiales, y la transparencia en la gestión de la salud ocupacional.

Por todo ello, se concluye que la empresa muestra un cumplimiento de los estándares clave en salud y seguridad para los trabajadores, aunque con algún pero, lo que justifica una valoración de +1 (cumplimiento básico) para esta subcategoría.

4.4.1.8 Beneficios sociales y bienestar laboral

Por su parte, la evaluación de los beneficios sociales y el bienestar laboral se basa en el cumplimiento de los estándares mínimos establecidos por la legislación chilena, como la Ley N° 16.744 o el Código del Trabajo (Nacional, 2003), así como en los Convenios 102 y 118 de la OIT (ILO, 1952, 1961), que promueven la protección social, la conciliación entre la vida personal y laboral, y el acceso a incentivos no monetarios.

La empresa SQM sostiene disponer de una extensa política de beneficios para sus empleados con contrato indefinido, gestionada por un departamento interno especializado. Entre los cuales se encuentran: seguros complementarios de salud, vida, dental y catastrófico; convenios médicos con diversas clínicas; bonificaciones por eventos familiares como nacimiento, matrimonio o defunción; y beneficios sociales como cajas de navidad y regalos conmemorativos (SQM Litio, 2022). En lo que respecta al apoyo a la previsión social, ofrece un sistema de “Ahorro Previsional Voluntario Grupal” (APVG), mediante el cual realiza un aporte mensual adicional al ahorro de los trabajadores. También, realiza una revisión anual de renta basada en comparaciones con el mercado, y otorga becas educativas tanto para los trabajadores como para sus hijos, habiendo entregado más de 1.400 hasta el año 2022 (SQM Litio, 2022).

Aunque la auditoría IRMA no contrasta de forma específica esto, dentro del capítulo de “Trabajo digno y condiciones de trabajo justas”, en el que SQM alcanzó un 99% de cumplimiento, se valida la existencia de beneficios sociales y el respeto a condiciones laborales acordes a estándares internacionales (IRMA, 2023).

No obstante, como ya se ha puntualizado, la información sobre la extensión de estos beneficios al personal subcontratado es limitada, aunque algunos convenios colectivos pueden incluir beneficios similares, no se proporciona evidencia detallada sobre su cobertura o impacto.

En definitiva, SQM ofrece un conjunto de beneficios sociales y medidas de bienestar que superan las obligaciones legales, reforzadas por certificaciones externas y un enfoque organizacional estructurado. Pero, la falta de transparencia sobre la inclusión de los subcontratados justifican una valoración de +1 (cumplimiento básico) en esta subcategoría.

4.4.1.9 Acoso sexual

Esta subcategoría responde al derecho de las personas a trabajar en un entorno libre de acoso, el cual está protegido por el Convenio 190 de la OIT (ILO, 2019), la

Ley 20.005 de Chile sobre acoso sexual en el trabajo (Nacional, 2005a) y el Código del Trabajo (art. 2) (Nacional, 2003), que establecen la obligación de prevenir, sancionar y erradicar cualquier forma de hostigamiento en el entorno de trabajo. Más allá del cumplimiento formal, la S-LCA considera esencial analizar si existen mecanismos efectivos de denuncia, responsables designados dentro de la organización para tratar estos casos y medidas para reducir el riesgo de acoso.

En lo que a esto respecta, SQM afirma contar con un protocolo interno para tratar casos de acoso, integrado en su “Reglamento Interno de Orden, Higiene y Seguridad”, así como en su Canal Ético “EthicPoint”, gestionado por una entidad externa para garantizar confidencialidad y anonimato. Durante 2022, la empresa reportó 22 denuncias relacionadas con acoso o discriminación, de las cuales una correspondió a acoso sexual, siendo atendida directamente por el área de Recursos Humanos, como respuesta a estas se implementaron medidas disciplinarias en ciertos casos, aunque no se especifican los detalles de las sanciones ni los perfiles involucrados (SQM Litio, 2022). La empresa también llevó a cabo campañas internas de sensibilización, como la denominada “Si ves algo, di algo”, y formó a sus líderes y supervisores en temas de respeto laboral.

Por su parte, la auditoría IRMA constató la existencia de políticas y mecanismos para prevenir el acoso, así como el funcionamiento operativo del sistema de denuncias. No obstante, se señaló como deficiencia la falta de acciones efectivas orientadas a prevenir el acoso hacia mujeres trabajadoras, lo que llevó a calificar este aspecto como “cumplimiento parcial”. A pesar de contar con un marco formal, no se evidenció una implementación activa que garantice la protección completa frente al acoso, especialmente en colectivos más vulnerables (IRMA, 2023).

Teniendo todo en consideración, si bien la empresa ha establecido un marco normativo adecuado y dispone de canales operativos para la gestión de denuncias, la falta de información sobre su efectividad real y el alcance limitado de las medidas preventivas justifican una valoración de 0 (cumplimiento parcial) en esta subcategoría.

4.4.2 Comunidades locales

4.4.2.1 Acceso a recursos materiales

Relativo a esta parte interesada, el acceso a recursos materiales es reconocido como un derecho humano fundamental por la Resolución 64/292 de la ONU (Naciones Unidas, 2010) y protegido por el Convenio 169 de la OIT (art. 15) (ILO, 1989), que reconoce los derechos de los pueblos indígenas sobre los recursos naturales existentes en sus tierras. En Chile, este derecho se encuentra

parcialmente amparado en el Código de Aguas (Nacional, 1981) y el artículo 19 (Nº24) de la Constitución (Nacional, 2005b).

De acuerdo a la metodología seguida, es necesario evaluar varios aspectos como la suficiencia en el acceso comunitario al agua en calidad y cantidad; el efecto de las actividades industriales sobre su disponibilidad; el reconocimiento legal y cultural del derecho al recurso; la existencia de conflictos por su uso; y el nivel de participación comunitaria en su gestión (UNEP, 2021).

En el caso de la empresa en cuestión, su operación en el Salar de Atacama ha sido objeto de crítica por parte de instituciones y comunidades. La Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) formuló cargos en 2016 contra la SQM por modificar sin autorización los parámetros del plan de contingencia hídrico y alterar los pozos de monitoreo, debilitando así la capacidad de prevención de impactos sobre el ecosistema. Pero, tras un proceso de revisión, en 2019 la empresa presentó un nuevo “Programa de Cumplimiento” que fue aprobado por la SMA, con 31 medidas y un costo comprometido de más de 46 mil millones de pesos chilenos (SMA, 2022). Esta aprobación no fue del agrado de comunidades locales que presentaron una reclamación ante el Tribunal Ambiental de Antofagasta (TAA) (Lorca et al., 2023).

Por otra parte, investigaciones académicas como la de Godoy (2022), relatan la pérdida progresiva de fuentes de agua dulce, o la de Babidge et al. (2019) que describe cómo esta alteración del equilibrio hídrico está vaciando lentamente la base misma del salar. Las propias comunidades han expresado preocupaciones al respecto, las cuales han sido recogidas por ejemplo en el trabajo de Lorca (2023) que señala cómo la percepción local es que el salar “cada vez está más seco”, generando riesgos para el desarrollo agrícola y pastoril. Una mujer de San Pedro de Atacama expone:

“Porque con la extracción de miles de litros de agua que tenemos nosotros en el desierto, si no llueve, no hay recargas, hay un caos... los animalitos, los guanacos, empezaron a abortar y si parían, botaban sus crías porque no había alimentos, no había agua. Eso nadie lo decía porque aquí nosotros tenemos grandes transnacionales y todo es bonito, pero los que vivimos acá, sabemos lo que está pasando” (Lorca et al., 2023, p. 11).

Del mismo modo, Oriana Mora recoge el siguiente testimonio de un comunero de San Pedro de Atacama:

“ [...] esos impactos están a la vista, el descenso de las lagunas, la sobre extracción de aguas que realizan en el territorio, donde lamentablemente se secaron los algarrobos de Camar”(Aylwin et al., 2021, p. 88).

También en fuentes no académicas como en el documental del Canal Ciudadano (2024), donde la comunera de Toconao, Yesli Soza Tejerina señala:

“...el salar antiguamente era un lago donde mide 32000 hectáreas y ahora si ustedes ven todo eso está seco y las pequeñas lagunas que se encuentran en este momento es como lo que queda del salar”.

Estudios como el de Liu y Agusdinata (2021) refrendan este sentimiento al mostrar, mediante modelos de simulación, cómo la intensificación del bombeo de salmuera ha provocado un descenso sostenido de las aguas subterráneas, con efectos que se extienden más allá de las zonas mineras.

Además, es percibido un impacto en la agricultura y la ganadería:

Como apuntan Jerez et al. (2021): “las injusticias hídricas provocadas por el extractivismo del litio también han contribuido a la disminución de las actividades agrícolas, como el cultivo de maíz, quinua, hortalizas y frutas, así como de la ganadería andina a pequeña escala que se desarrolla en el Salar, principalmente con guanacos, llamas y alpacas.”

En el documental anteriormente citado (Ciudadano, 2024), Laureano Chaille, un originario de la comunidad de Peine afirma:

“y ahí en el huerto mismo tengo ese polvillo así en la zanahoria en las acelgas todas esas cosas, un polvillo blanco. Aquí la agricultura ya no da como daba años atrás. Y entonces ese polvillo será del polvillo del salar mismo porque el salar años atrás no hacía polvo cuando hacía viento, ahora se levanta polvo”.

En ese sentido habla Yolanda Plaza, una agricultora de la comunidad de Socaire, en una entrevista en DW Español (2024):

“Por ejemplo aquí la abeja tiene una enfermedad y por eso es que se ve amarilla y eso nosotros, los agricultores, decimos que puede ser el polvo del salar”.

O en un testimonio recogido por Hidalgo (2024) en la revista Endémico: “aquí tengo parte de tierra donde sembramos, no puedo sembrar porque se llenan de tela de araña y muchas pestes que antes no existían”.

Frente a estas acusaciones, SQM sostiene haber reducido su consumo de agua en un 50% desde 2021 y mantiene que dispone de más de 200 puntos de monitoreo ambiental (SQM Litio, 2022). No obstante, según la auditoría independiente de IRMA (2023), aunque se han identificado a las comunidades usuarias del agua y se han abierto espacios de diálogo, estos no constituyen mecanismos efectivos. IRMA califica el desempeño en esta área como parcial, destacando que las comunidades no tienen acceso equitativo a la información técnica ni capacidad real para incidir en las decisiones sobre la gestión de los acuíferos.

El deterioro del acceso comunitario al agua, la sanción de autoridades ambientales, la persistencia de testimonios directos sobre agotamiento de fuentes, el impacto en la productividad de cultivos y la exclusión de las comunidades de las decisiones

sobre el recurso denotan un mal ejercicio por parte de la empresa. Por ello, se asigna a esta subcategoría una puntuación de -1 (riesgo significativo).

4.4.2.2 Acceso a recursos inmateriales

Comprende derechos fundamentales como la educación, la salud, la información, la cultura y la libertad de expresión, los cuales están respaldados por instrumentos internacionales, entre ellos el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (artículos 13 y 15) (Naciones Unidas, 1966) y la Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas (artículo 14) (Naciones Unidas, 2007).

De acuerdo con la metodología seguida, esta subcategoría evalúa en qué medida las empresas influyen en el acceso de las comunidades a estos recursos intangibles. Se debe analizar si la empresa promueve el desarrollo comunitario mediante programas educativos, de salud o culturales, si proporciona información clara y accesible sobre sus actividades, si respeta la libertad de expresión, y si facilita espacios para la transmisión de conocimientos (UNEP, 2021).

En este contexto, SQM en sus distintos reportes asegura haber implementado una serie de iniciativas destinadas a mejorar el acceso a la educación, la salud y la cultura en las comunidades cercanas a sus operaciones. En el ámbito educativo, la empresa ha desarrollado programas que buscan complementar las deficiencias del sistema público, sobre todo en escuelas rurales o de difícil acceso. Entre estas iniciativas, resalta la integración de tecnología y robótica en la enseñanza, a través del uso de aplicaciones de laboratorio virtual como Lab4U, dirigidas a estudiantes de educación básica. Además, ha donado tablets y otros recursos digitales, permitiendo que los alumnos realicen experimentos virtuales y fortalezcan su aprendizaje en ciencias (SQM Litio, 2022). Por otro lado, ha puesto en marcha un “Programa de Formación Técnica” orientado a jóvenes y adultos de las comunidades del norte de Chile, con el propósito de capacitarlos en oficios y habilidades técnicas que les faciliten el acceso a mejores oportunidades laborales. Este programa, desarrollado en conjunto con municipios, instituciones educativas y entidades públicas como SENCE, benefició en 2022 a 675 personas, quienes participaron en 26 cursos realizados en localidades como San Pedro de Atacama (SQM Litio, 2022).

En el ámbito cultural, la empresa señala que apoya proyectos de rescate patrimonial, enfocados en las tradiciones indígenas y pampinas, con el objetivo de conservar expresiones culturales que muchas veces no reciben apoyo estatal. En lo respectivo a la salud, asegura haber impulsado programas como clínicas móviles de atención dental y operativos médicos en distintas especialidades, destinados sobre todo a las comunidades más inaccesibles (SQM Litio, 2022).

Por último, en cuanto al acceso a la información, afirma que facilita datos públicos sobre sus operaciones, incluyendo información ambiental, a través del portal web sqmsenlinea.com, donde cualquier persona puede consultar resultados de monitoreo y otros documentos relacionados con sus actividades (SQM Litio, 2022).

El único apunte que hace la auditoría externa sobre todo lo expuesto es que existen demandas insatisfechas, por parte de las comunidades y otros actores interesados, de información relacionada con los impactos de la operación en la calidad del agua y el aire (IRMA, 2023). Esto se analizará con mayor detalle en la subcategoría “4.4.2.5 Condiciones de vida seguras y saludables”.

En líneas generales, no se han detectado contradicciones ni observaciones relevantes por parte de la auditoría externa, ni tampoco en fuentes académicas, en relación a esta área. Si bien no existe una evaluación detallada del impacto de los programas educativos, de salud o culturales promovidos por la empresa (IRMA, 2023), tampoco hay señales de que estos sean percibidos de forma negativa por las comunidades locales. Por ello, se considera que SQM presenta un desempeño adecuado en esta subcategoría, asignándose una puntuación de +1 (cumplimiento básico).

4.4.2.3 Deslocalización y migración

Hace referencia al derecho de permanecer en el territorio sin ser desplazado o forzado a migrar. Está reconocido por el Convenio 169 de la OIT (art. 16) (ILO, 1989) y por el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (art. 11) (Naciones Unidas, 1966), que obliga a los Estados a evitar el desarraigo involuntario por causa de proyectos de desarrollo. En cuanto a la metodología S-LCA contempla para esta subcategoría indicadores como el abandono del territorio ancestral, la migración inducida por pérdida de medios de vida, la desestructuración de comunidades, y la existencia o no de mecanismos de mitigación y apoyo al arraigo local (UNEP, 2021).

En el caso de las operaciones de SQM en el Salar de Atacama, aunque no se han documentado desplazamientos forzados masivos, diversos estudios indican un proceso de migración y desarticulación territorial. En concreto, señalan que la presión sobre los recursos hídricos y la transformación de los territorios productivos han forzado a muchas personas a abandonar actividades agrícolas y pastoriles, migrando hacia centros urbanos en busca de empleo y servicios básicos. Esto se percibe en las palabras de un dirigente de la Comunidad de San Pedro de Atacama, quien afirma en relación a las actividades de SQM y calidad de vida de las comunidades:

"Creo que las han empeorado por hacerlas dependientes de la minería, desarraigándolas de las actividades tradicionales culturales que tiene la gente de los pueblos sumado a los niveles de descensos de salmuera y agua, los niveles de agua de las cuenca y otras" (Aylwin et al., 2021, p. 70).

Aylwin et al. (2021) señalan que el modelo extractivo, impuesto sin consulta previa, ha deteriorado las condiciones para el ejercicio de la libre determinación del pueblo Lickanantay, impidiendo que las comunidades definan sus prioridades de desarrollo, lo que ha derivado en una pérdida de autonomía y en la reconfiguración de sus dinámicas sociales.

En esta misma línea, Romero y Opazo (2019) refuerzan esta crítica señalando que las transformaciones territoriales impuestas por la minería no solo han alterado los ecosistemas, sino que también han forzado a muchas comunidades a emigrar debido a la remoción y contaminación de sus territorios. Según estos autores:

"La minería, ejemplo del extractivismo contemporáneo que afecta a las montañas andinas, implica la remoción, extracción y contaminación de enormes cantidades de aire, agua, suelos, espacios, flora y fauna, además de obligar al despoblamiento o migración de las comunidades sociales. Ante la imposibilidad de conseguir compartir visiones y actuaciones con los agentes externos, representados usualmente por funcionarios de gobierno y empresariales, las comunidades se han visto forzadas a emigrar o a participar de negociaciones económicas y políticas que han acentuado su dependencia, desarticulación territorial y cultural, facilitando, por lo tanto, la imposición de condiciones decididas por agentes externos" (Romero & Opazo, 2019, p. 74).

Además, advierten sobre las tensiones internas que esto ha generado:

"El arribo de flujos de dinero está generando grandes disputas entre comunidades y al interior de las mismas, constituyéndose en una amenaza mayor para su sobrevivencia en la medida que no solo altera el uso productivo de los recursos sino que, especialmente, la organización socio-política-cultural y ética de los ayllus" (Romero & Opazo, 2019, p. 75).

Por otro lado, Azócar Duarte (2022) profundiza en esta problemática al afirmar que la minería de litio en el Salar de Atacama se construyó sobre un "proceso de despojo de un bien común". Según su análisis, esta actividad extractiva ha provocado "reestructuraciones territoriales, así como efectos sociales, económicos, políticos y ambientales", generando un fenómeno complejo y multidimensional que ha desplazado a las comunidades de sus funciones tradicionales y ha transformado el salar en una "zona de sacrificio".

Respecto a la postura de la empresa, sostiene en sus reportes de sostenibilidad impulsar proyectos de desarrollo local en educación, salud y cultura, con el objetivo de "mejorar la calidad de vida en las comunidades" (SQM Litio, 2022). Sin embargo, no se han identificado políticas activas dirigidas al arraigo poblacional o a

la revitalización de las comunidades como espacios habitables. Tampoco existen estrategias específicas para abordar el fenómeno de migración estructural o evitar la pérdida demográfica.

Por su parte, la auditoría de IRMA (2023) no ofrece una evaluación específica sobre desplazamiento o migración. En el capítulo 2.4, titulado "Reasentamiento", se limita a señalar que "No es pertinente porque no se ha producido un reasentamiento relacionado con esta mina". Esta afirmación, más allá de su literalidad, pone de manifiesto la ausencia de medidas concretas por parte de SQM para mitigar un desplazamiento que, aunque indirecto, tiene efectos sobre las comunidades.

Las actividades extractivas en el Salar han generado transformaciones en el equilibrio territorial de las comunidades atacameñas. Si bien no existen desplazamientos forzados en términos legales, se ha configurado un proceso de migración inducida estructuralmente, alimentado por la degradación ambiental, la pérdida de autonomía y la falta de oportunidades tradicionalmente practicables. La ausencia de políticas de arraigo por parte de la empresa, sumada a la falta de mecanismos efectivos de retención poblacional, justifican la asignación de una valoración de -1 (riesgo significativo) para esta subcategoría.

4.4.2.4 Patrimonio cultural

El derecho de los pueblos indígenas a conservar, proteger y desarrollar su patrimonio cultural se encuentra reconocido en el Convenio 169 de la OIT (ILO, 1989), en sus artículos 13 y 15, así como en la Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas (Naciones Unidas, 2007) especialmente en sus artículos 11 y 12. Este derecho incluye no solo el acceso a sitios sagrados y prácticas rituales, sino también la preservación de lenguas, conocimientos tradicionales y relaciones simbólicas con el entorno natural. La metodología S-LCA establece que para esta subcategoría deben evaluarse aspectos como la existencia de políticas para proteger el patrimonio cultural, la inclusión de elementos culturales en los procesos productivos, la accesibilidad a la información en lenguas locales y la promoción activa de actividades culturales (UNEP, 2021).

En el caso del Salar de Atacama, la expansión de la minería de litio ha tenido efectos profundos sobre los sistemas simbólicos y espirituales del pueblo Lickanantay. La relación espiritual con el agua, entendida por estas comunidades como un ser vivo dotado de memoria y voluntad propia, ha sido especialmente afectada. Una comunera lo expresa con estas palabras:

“El hombre tiene una afinidad tal con el agua o esta con el hombre, que ni los científicos le encuentran explicación. Ella tiene memoria y es un ser muy inteligente” (Lorca et al., 2023, p. 11).

Esta manera de concebir el agua está profundamente arraigada en la cosmovisión Lickanantay, que la denomina puri, un término que alude a su carácter sagrado e indivisible. Para estas comunidades, como señala Jerez (2021), toda forma de agua, ya sea dulce o salada, representa la vida misma, y tratarla como un simple recurso comercializable implica una herida espiritual profunda, así lo siente un agricultor atacameño:

“El agua es poderosa, es nuestra vena, es nuestra sangre. No puede ser comerciada” (Jerez et al., 2021, p. 9).

Esta visión también la refleja un hombre, de Toconao entrevistado:

“Sí, el Salar de Atacama es importante para nosotros porque significa vida, porque allá están viviendo nuestros flamencos, nuestros zorros, nuestros burros también que están ahí afuera... Sí, en el Salar de Atacama hay vida, nuestros abuelos antiguamente iban a buscar los huevos de parina al Salar y se hacían sus rituales con respecto al apareamiento... Ellos retiraban los huevos de parina pero a la vez hacían su ritualidad con respecto a su agradecimiento a la tierra también... porque el Salar también es vida, te da agua, o sea, da agua a otras partes... es parte de nosotros...” (Lorca et al., 2023, p. 14).

Esto apunta además a un entorpecimiento de la práctica de ciertos rituales, lo cual refuta un integrante de la comunidad de peine:

“Los usos tradicionales del Salar por parte de los atacameños, incluyendo la recolección de huevos de parinas y las ceremonias, se han visto entorpecidos por la industria del litio. Lo mismo ha ocurrido con las actividades agrícolas tradicionales y de pastoreo, como consecuencia del deterioro ambiental provocado por las faenas de estas empresas” (Aylwin et al., 2021, p. 71).

Del mismo modo, otras prácticas como el Talatur, ritual de limpieza de canales que articula fertilidad, identidad y cohesión social, también se están debilitando por la alteración de vertientes. Según Bolados García y Babidge (2016), las redes hídricas tradicionales han sido desplazadas por las actividades extractivas, desarticulando así el entramado ritual que las sustentaba.

Otro testimonio del deterioro del orden simbólico lo relata una mujer de la comunidad Atacameña, quien afirma:

“[...] Uno defiende el turismo, el otro la minera, el otro quiere que todo el mundo se vaya, los viejos no quieren saber nada. [...] Nunca vas a armonizar, si todos tocan su propia canción, se va a perder el sentido comunitario. ¡Si para ese tema tenemos que estar todos!... [...] Por eso dicen que se instaló el diablo en el Salar, los viejos más antiguos no querían el royalty [los acuerdos con las mineras], dijeron

que se iba a prestar para pura pelea y división y se está cumpliendo la profecía. [...] ‘Se instaló el diablo’” (Lorca et al., 2023, p. 20).

Frente a ello, SQM declara haber implementado un Plan de Gestión del Patrimonio Cultural, apoyando festividades tradicionales y actividades culturales (SQM Litio, 2022). Sin embargo, estos esfuerzos son vistos como insuficientes para preservar la dimensión estructural del patrimonio inmaterial. Al respecto, la auditoría externa consultada señala un cumplimiento parcial, indicando que no hay una gestión real y que las comunidades carecen de herramientas técnicas para defender su cosmovisión (IRMA, 2023).

Se puede constatar que los procesos extractivos del litio han provocado una ruptura profunda en la cosmovisión Lickanantay, afectando su relación con el agua, los rituales y el sentido del territorio. La fragmentación cultural, la pérdida de prácticas ancestrales y la falta de mecanismos efectivos para preservar este patrimonio configuran un escenario peligroso. Por tanto, se asigna a esta subcategoría una puntuación de -2 (riesgo crítico).

4.4.2.5 Condiciones de vida seguras y saludables

Hace referencia al derecho a vivir en un entorno seguro, saludable y ecológicamente equilibrado. Está recogido en el artículo 19 de la Constitución chilena (Nacional, 2003), en el Convenio 169 de la OIT (art. 7) (ILO, 1989), y en el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (art. 11) (Naciones Unidas, 1966). Además, la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Nacional, 1994) establece que las actividades productivas deben evitar o mitigar impactos adversos sobre la salud y el bienestar de las comunidades. En este caso, dicho derecho implica que las comunidades no sufran riesgos derivados de actividades industriales, tales como accidentes, enfermedades, o exposición a sustancias peligrosas.

Según la S-LCA, esta subcategoría evalúa el impacto de las operaciones sobre la seguridad general de las comunidades y la salud pública, considerando la presencia de materiales peligrosos, la propagación de enfermedades, y la efectividad de los sistemas de gestión ambiental para proteger a la población (UNEP, 2021).

En sus reportes oficiales, SQM afirma que sus operaciones no representan una amenaza para la salud de las comunidades locales, argumenta que sus instalaciones están alejadas de zonas habitadas, que las sustancias peligrosas utilizadas o transportadas están sujetas a estrictos protocolos de seguridad, y que no existen evidencias de afectación directa a la salud de las personas. La empresa destaca la implementación de un “Plan de Respuesta ante Emergencias”

actualizado en 2022 con asesoría de IdeAmbiente, que incluye medidas para prevenir y responder a incidentes que pudieran afectar a la población. Asimismo, SQM afirma realizar monitoreos ambientales continuos y haber compartido información sobre los riesgos identificados con las comunidades (SQM Litio, 2022).

Sin embargo, la auditoría independiente de (IRMA, 2023) revela debilidades en la gestión en cuestión por parte de esta empresa. En el Capítulo 3.3 del informe indica que SQM no dispone de un documento procedimental que explique el proceso para identificar los controles eficaces a fin de mitigar los riesgos y efectos en la salud y seguridad comunitaria. Además, se señala que la participación comunitaria en la evaluación y seguimiento de estos riesgos es limitada, pues no se evidencia una consulta efectiva que permita a las comunidades influir significativamente en las medidas de mitigación adoptadas. Por estos motivos califica el desempeño en esta materia con un 75%.

Aunque no existen, o al menos no se han encontrado, estudios científicos concluyentes que vinculen directamente las actividades de SQM con efectos sobre la salud o seguridad en las comunidades, diversas fuentes coinciden en señalar una falta de monitoreo riguroso y recomiendan realizar estudios técnicos al respecto (Azócar Duarte, 2022; Babidge et al., 2019; Jerez et al., 2021).

Desde la perspectiva comunitaria, se percibe preocupación por la calidad del aire, atribuida a las operaciones de la minería del litio y el levantamiento de polvo del Salar. Laureano Chaille, originario de la comunidad de Peine, afirma:

"Bueno el efecto más que nada en el ambiente, ya no tenemos el aire puro que se respiraba antes [...] estamos respirando un aire ya contaminado por ese polvillo" (El Ciudadano, 2024).

Esta preocupación también se recoge en la auditoría mencionada, donde se cita "[...] a veces durante el año el viento transporta polvo de sal que afecta a las comunidades" y "la comunidad de Toconao asegura que a veces hay polvo". En concreto, califica de cumplimiento parcial "I" varios aspectos sobre el control de calidad del aire, señalando sobre el uso de monitoreo y modelado del mismo que "las evidencias compartidas no confirman el fundamento ni permiten confirmar que se hayan confeccionado modelos de calidad del aire" y en cuanto a la actualización continua que requiere dicho monitoreo indica que "La versión actualizada del Plan de Monitoreo Ambiental (2006), que incluye el control de la calidad del aire, indica que no es necesario seguir controlando la calidad del aire a partir de ese momento" y en dicho plan afirma que "solo hay un monitor del aire", lo cual es insuficiente o poco fiable.

En definitiva, si bien SQM posee medidas para proteger la salud y seguridad de las comunidades, y ha implementado planes de gestión y comunicación de riesgos, las deficiencias identificadas por la auditoría externa, junto con la percepción de las

comunidades al respecto, evidencian un desempeño por parte de la empresa poco idóneo. Por lo tanto, se asigna a esta subcategoría una puntuación de -1 (riesgo significativo).

4.4.2.6 Respeto a los derechos indígenas y participación comunitaria

Esta subcategoría abarca tanto el respeto a los derechos de los pueblos indígenas como su participación en las decisiones que afectan a sus territorios. En este contexto estos están reconocidos en diversas normativas nacionales e internacionales, entre las que destacan el Convenio 169 de la OIT (ILO, 1989), la Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas (DNUDPI) (Naciones Unidas, 2007), la Declaración Americana sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas (OEA, 2016) o la Ley Indígena chilena N.º 19.253 (Nacional, 1993).

De acuerdo a la S-LCA, analizar esta subcategoría implica por un lado, considerar si la empresa reconoce y valora los derechos territoriales, culturales y sociales de los pueblos indígenas, y si toma medidas para proteger sus formas de vida, y por otro lado, observar cómo la empresa se comunica y trabaja con las comunidades (si promueve espacios de diálogo reales, si comparte información de forma transparente, si permite que las comunidades influyan en las decisiones, y si existen mecanismos para presentar quejas o buscar soluciones cuando surgen problemas) (UNEP, 2021).

La empresa en cuestión manifiesta reconocer plenamente los derechos de las comunidades atacameñas y que todas sus decisiones relevantes se toman respetando el principio de Consentimiento Libre Previo e Informado (CLPI). Según sus distintos Reportes de Sostenibilidad asegura haber desarrollado un modelo de relacionamiento que promueve la consulta y el respeto a la autodeterminación, apoyado por políticas internas de sostenibilidad y derechos humanos. Sin embargo, este compromiso contrasta con lo que reportan las comunidades e investigaciones independientes.

La auditoría externa señala que dicha empresa no cuenta con acuerdos formales de CLPI con todas las comunidades afectadas (la comunidad de Peine no ha firmado ningún acuerdo), y que los acuerdos existentes, suscritos por cuatro de las cinco comunidades, son confidenciales, lo que impide verificar si efectivamente cumplen con los estándares internacionales. Además, destaca que las operaciones de la compañía comenzaron antes de que se exigiera el CLPI, lo que ha dejado vacíos que no han sido subsanados plenamente en la actualidad (IRMA, 2023).

Esta falta de consulta efectiva también se refleja en las palabras de un comunero de Socaire, quien, al referirse al acuerdo firmado entre SQM y CODELCO para explotar litio hasta el 2060, afirma:

"Nosotros no estamos de acuerdo, porque nunca se nos tomó en cuenta [...] el gobierno y SQM nos informaron que ya habían firmado el acuerdo y ese acuerdo no nos consideraba a nosotros." (DW Español, 2024).

En cuanto a la participación, SQM resalta la existencia de 37 mesas de trabajo con representantes de las comunidades, en las que se tratarían temas clave como empleabilidad, medio ambiente y desarrollo social. La empresa afirma que estas instancias reflejan un diálogo continuo y transparente (SQM Litio, 2022). No obstante, tanto la auditoría externa como los estudios académicos muestran que la participación efectiva es limitada.

IRMA evalúa este aspecto con un 77% de cumplimiento, señalando que, si bien hay espacios de diálogo formalizados, estos no garantizan que la voluntad colectiva de las comunidades se vea reflejada en las decisiones empresariales. No existe un mecanismo claro que asegure que los representantes comunitarios tengan respaldo pleno de sus bases, y las decisiones estratégicas más relevantes no son negociadas, sino informadas a posteriori (IRMA, 2023).

En esta misma línea, Aylwin et al. (2021) critican que los espacios promovidos no alcanzan los estándares de participación, ya que se limitan a informar decisiones previamente adoptadas por la empresa, sin buscar acuerdos reales con las comunidades. Estas se sienten excluidas de procesos que deberían garantizar su voz y su derecho a definir su propio desarrollo.

Esta percepción se refleja también en el testimonio de Sergio Chamorro, abogado del Consejo de Pueblos Atacameños:

"[...] hasta la fecha no ha existido un diálogo directo, por el contrario, han sido las propias comunidades atacameñas las que han tenido que ir a buscar y golpear en la puerta [...] en este caso de SQM para lograr algún puente de diálogo." (FRANCE 24 Español, 2024).

Por otro lado, la compañía SQM declara contar con mecanismos accesibles para que las comunidades puedan presentar quejas o inquietudes, la auditoría reconoce que existen estos canales, y otorga una calificación del 84% en este ámbito (IRMA, 2023).

Finalmente, tanto Aylwin et al. (2021) como Lorca et al. (2023) coinciden en que las comunidades atacameñas no han podido ejercer plenamente su derecho a la autodeterminación. Las decisiones estratégicas sobre el uso del agua, la tierra y la explotación de recursos naturales siguen estando en manos de actores externos, ya sea el Estado o las empresas. Aunque algunas comunidades han firmado acuerdos económicos con empresas mineras, estos acuerdos han generado tensiones internas y no han resuelto las demandas históricas de control territorial y respeto a los derechos colectivos (Godoy, 2022). Un posible motivo de ello, como apuntan investigaciones como (Gundermann & Göbel, 2018) y (Bolados García & Babidge, 2016), es la forma en que SQM construye sus relaciones con la comunidad, pues

aseguran que, en lugar de trabajar a través del Consejo de Pueblos Atacameños (CPA) o de las organizaciones territoriales tradicionales, la empresa ha promovido convenios individuales y fragmentados que generan competencia interna por beneficios.

En definitiva, aunque SQM dice haber establecido una relación de respeto y cooperación con las comunidades indígenas del Salar de Atacama, a través de mesas de trabajo y políticas internas, la evidencia disponible muestra que estos mecanismos son insuficientes, incluso contraproducentes en algunos casos. La ausencia de acuerdos formales de CLPI con todas las comunidades, la confidencialidad de los convenios existentes, y la limitada capacidad de las comunidades para influir en decisiones clave reflejan un desempeño deficiente. Considerando todo esto, se concluye que la empresa no garantiza de manera efectiva el respeto integral a los derechos indígenas ni una participación comunitaria significativa, por lo que se asigna a esta subcategoría una puntuación de -1 (riesgo significativo).

4.4.2.7 Empleo local

En cuanto al acceso equitativo a oportunidades laborales, se encuentra respaldado en el artículo 19 (Nº16) de la Constitución chilena (Nacional, 2003), en el Convenio 169 de la OIT (art. 20) (ILO, 1989), y en el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (art. 6) (Naciones Unidas, 1966). Desde la perspectiva de la S-LCA, esta subcategoría debe evaluar la contribución de la empresa a la generación de trabajo para las comunidades cercanas, considerando tanto el porcentaje de empleados locales como las iniciativas específicas para favorecer su contratación y desarrollo profesional (UNEP, 2021).

Al respecto, la empresa sostiene que el fomento del empleo local es un eje prioritario en su estrategia de sostenibilidad. Esto se comprueba en que la mayor parte de su fuerza laboral se concentra en la Región de Antofagasta, en concreto el 65,1% de los 6.997 trabajadores, lo que equivale a 4.551 personas (SQM Litio, 2022).

Pero no solo destaca esta presencia regional, sino que afirma priorizar la contratación de personas de las comunas más cercanas al Salar, aunque no especifica un porcentaje exacto de de estas. Para apoyar esta política, SQM participa en 37 mesas de trabajo comunitarias donde se abordan temas como la empleabilidad, la formación técnica y las necesidades específicas de las comunidades en relación con el acceso al trabajo. La compañía sostiene que estas mesas permiten diseñar conjuntamente con las comunidades programas de capacitación orientados a que más personas locales puedan acceder a puestos en las operaciones (SQM Litio, 2022).

En línea con esta estrategia, SQM ha impulsado la formación de trabajadores locales mediante cursos y talleres técnicos, así como la vinculación con instituciones educativas de la zona para facilitar la formación profesional. Además, se ha implementado una política de compras locales, fomentando la contratación de servicios y proveedores de la región, lo cual contribuye a generar empleo indirecto (SQM Litio, 2022).

Por su parte, el informe IRMA no presenta observaciones específicas sobre esta temática y tampoco se han encontrado evidencias académicas o testimonios comunitarios que contradigan las afirmaciones descritas anteriormente por la empresa.

En lo que a este trabajo respecta, SQM ha demostrado un enfoque activo en la promoción del empleo local, con una significativa proporción de trabajadores provenientes de la región en la que se encuentra y con la implementación de programas específicos para favorecer su inclusión laboral. La ausencia de testimonios contrarios a estas prácticas justifica una valoración positiva. Por lo tanto, se asigna a esta subcategoría una puntuación de +2 (cumplimiento proactivo).

4.4.3 Sociedad

4.4.3.1 *Compromiso público con la sostenibilidad*

En lo respectivo a la parte interesada denominada “Sociedad”, esta subcategoría evalúa hasta qué punto una organización asume públicamente compromisos claros y verificables para reducir los impactos derivados de sus actividades en materia de sostenibilidad. Según la metodología S-LCA seguida, este tipo de compromisos debe ir más allá de los objetivos internos, y expresarse como promesas públicas con fechas de cumplimiento, mecanismos de seguimiento y difusión transparente. Un buen indicador es que, dichas promesas, al ser contrastadas por las otras partes interesadas no reciban quejas o señales de incumplimiento (UNEP, 2021). Todo esto se alinea con estándares internacionales como el ODS 12, de responsabilidad de consumo y producción, el ODS 17, de alianzas para alcanzar objetivos (Naciones Unidas, 2016) o la ISO 26000, de orientación en la responsabilidad social (ISO, 2010).

Por su parte, SQM en su reporte de sostenibilidad (2022) asegura:

“Nuestra estrategia de negocio responsable integra la sostenibilidad en su diseño y operatividad. Cuando evaluamos y analizamos, decidimos comprometernos con la

sostenibilidad en el negocio, decisión que se plasma en nuestra Política de Sostenibilidad, Ética y Derechos Humanos.” (SQM Litio, 2022, p. 38).

Para ello ha definido una serie de metas ambientales y sociales vinculadas a los ODS, en cuanto a las acciones al respecto, ha publicado reportes bajo estándares como “*Global Reporting Initiative*” (GRI) o “*Task Force on Climate-related Financial Disclosures*” (TCFD), y verificado indicadores como la huella de carbono con la auditoría de KPMG. Además, participa activamente en iniciativas voluntarias como: CDP, Dow Jones Sustainability Index, SASB, Huella Chile, o IRMA. Declara también haber adoptado compromisos de adaptación y mitigación frente al cambio climático, y haber incorporado una gobernanza interna para su seguimiento a través de comités de sostenibilidad liderados por la alta gerencia. De hecho, concluye que uno de sus objetivos estratégicos a medio largo plazo es “ser considerada una empresa sostenible presente en industrias esenciales para el desarrollo humano.” (SQM Litio, 2022, p. 279).

No obstante, al contrastar estas declaraciones con auditorías externas y literatura crítica, se detectan incongruencias entre el discurso y la práctica. La auditoría IRMA (2023), si bien reconoce avances en la transparencia y la voluntad de someterse a evaluación externa, señala que varias áreas de su gestión social y ambiental presentan un desempeño parcial.

Además, desde una perspectiva más estructural, diversos estudios académicos han puesto en duda la coherencia entre los compromisos públicos de sostenibilidad de la compañía y la orientación real de su modelo de negocio. Wojewska et al. (2024), por ejemplo, señalan que tanto SQM como otras grandes productoras de litio han priorizado en los últimos años la maximización del retorno para sus accionistas, ajustando su estrategia comercial para beneficiarse del mercado y aumentar dividendos en lugar de atender a exigencias sociales o ambientales.

Por otro lado, Marazuela et al. (2020) indican la posibilidad de modificar prácticas extractivas para minimizar los impactos sobre el equilibrio hidrológico, una recomendación técnica que, si bien es reconocida por la empresa, no parece haberse traducido aún en cambios sustantivos en su modelo operativo. Esto puede inducir a pensar que la no implementación se deba a una oposición a aumentar los costes económicos, pese a que mejoraría su sostenibilidad.

Este análisis se enmarca además en una serie de subcategorías previamente evaluadas (acceso al agua, derechos indígenas, patrimonio cultural, etc.), donde han quedado evidenciadas debilidades significativas en la implementación práctica de políticas sostenibles. Estas limitaciones afectan directamente la credibilidad de los compromisos declarados, pues lo que la empresa afirma en sus reportes no siempre se ve reflejado en la percepción de las comunidades afectadas.

Por tanto, aunque SQM ha hecho declaraciones públicas de compromiso con la sostenibilidad y ha adoptado herramientas de gestión reconocidas internacionalmente, la evidencia recopilada sugiere que estos compromisos no siempre se traducen en prácticas coherentes y suficientes sobre el terreno. La existencia de vacíos en la implementación o la subordinación de objetivos ambientales a intereses financieros, justifican una valoración de 0 (cumplimiento parcial /riesgo moderado) para esta subcategoría.

4.4.3.2 Contribución al desarrollo económico

Esta subcategoría, de acuerdo la metodología seguida, examina si la organización impulsa el crecimiento económico en el territorio donde opera, a través de generación de ingresos y empleo, inversiones en infraestructura o formación académica local. Esta contribución debe ser valorada en términos cuantitativos y cualitativos, considerando si fomenta un desarrollo más inclusivo, equitativo y sostenible (UNEP, 2021). Está refrendado principalmente en los ODS 8 “Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible [...]”, 9 “Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación” y 10 “Reducir la desigualdad en los países y entre ellos” (Naciones Unidas, 2016).

En el caso de SQM, la empresa declara que su actividad genera importantes cuantías económicas a nivel nacional y regional. Durante el año 2022, reportó aportes fiscales superiores a US\$5.000 millones, además de contribuciones directas a gobiernos regionales y municipalidades, en base al contrato de arrendamiento con CORFO. Asimismo, destaca una inversión comunitaria de aproximadamente US\$17,9 millones, orientada a proyectos de educación, cultura, salud, patrimonio y desarrollo social (SQM Litio, 2022).

Sin embargo, el análisis crítico de fuentes académicas matiza este discurso. Estudios como el de Azócar Duarte (2022) indican que, pese al volumen económico movilizado, el impacto socioeconómico en las comunidades ha sido históricamente limitado, pues los beneficios directos han tendido a concentrarse en ciertos sectores, mientras que problemas estructurales como la pobreza, el acceso insuficiente a servicios básicos, y la dependencia económica no se han solucionado plenamente.

Además, otros análisis como el de Aylwin et al. (2021) señalan que las transferencias económicas a comunidades se han articulado principalmente bajo lógicas de asistencialismo, más que como mecanismos estructurales de promoción del desarrollo autónomo. Es decir, los convenios asociativos o fondos promovidos por las mineras generan ingresos puntuales, pero no necesariamente contribuyen a construir una capacidad local sostenible a largo plazo.

La auditoría externa por su parte, reconoce que la compañía ha hecho esfuerzos por formalizar acuerdos con comunidades y asegurar la trazabilidad de sus contribuciones económicas. Sin embargo, advierte que parte de estos acuerdos son confidenciales y que no existen mecanismos completamente verificables de seguimiento público sobre el uso y destino de estos recursos, por lo que no hay garantías de que respondan a prioridades estratégicas definidas por las comunidades en cuestión (IRMA, 2023).

Por tanto, aunque la empresa efectivamente genera flujos de riqueza importantes a nivel nacional y regional, cada vez de manera más transparente, la distribución de esos beneficios y su impacto cualitativo en el desarrollo económico presentan ciertas limitaciones, pues estos no se perciben como un fortalecimiento económico estructural de las comunidades. En consecuencia, se asigna a esta subcategoría una puntuación de +1 (cumplimiento básico).

4.4.3.3 Corrupción

El combate contra la corrupción es un principio esencial para garantizar un desarrollo justo y sostenible, se encuentra recogido en múltiples estándares internacionales, entre los que destaca la Convención de las Naciones Unidas contra la Corrupción (CNUCC), ratificada por Chile en 2006, la cual obliga a los Estados y actores empresariales a establecer sistemas de contratación pública basados en la transparencia y a prevenir el soborno y el conflicto de interés, y el ODS 16 donde se insta a “Reducir sustancialmente la corrupción y el soborno en todas sus formas” (Naciones Unidas, 2016). La S-LCA propone como indicadores para esta subcategoría la existencia de mecanismos efectivos, tanto internos como externos, para prevenir la corrupción, programas anticorrupción y participación activa en caso de darse algún tipo (UNEP, 2021).

Referente a esta materia, SQM afirma estar comprometida con la integridad y el cumplimiento de las normas nacionales e internacionales, como muestra de ello cuenta con un Programa de Ética y Compliance que consiste en un conjunto de elementos de comunicación, regulación, ejecución y control, que buscan alinear la conducta esperada. Para ello, realizan actividades de carácter preventivo y de monitoreo sobre los procesos o actividades que se encuentran más expuestas a los riesgos de cumplimiento asociados a la Normativa Anticorrupción. También afirma realizar capacitaciones, una vez al año como mínimo, para dirigentes trabajadores y contratistas, en materia de riesgos de corrupción. Además posee un canal de denuncias accesible por cualquier parte interesada puedan realizar reportes de manera anónima y sin represalias. Por otra parte en 2022 la compañía declara no haber realizado ninguna aportación económica a partidos políticos, candidatos u

otra organización de estas características, reforzando su compromiso con la no injerencia política (SQM Litio, 2022).

No obstante, la auditoría de IRMA identifica varios elementos que matizan esta autovaloración. En su Capítulo 1.5 (Transparencia en ingresos y pagos), reconoce que existen políticas anticorrupción formales y capacitaciones obligatorias, pero señala que la efectividad de estos mecanismos aún no puede ser evaluada plenamente por la falta de procesos de verificación sistemática. Además puntualiza que si bien dicha compañía publica información básica sobre sus accionistas y contratos con CORFO, no existe una confirmación clara de los beneficiarios finales de la operación (IRMA, 2023), lo cual impide una trazabilidad completa del control corporativo.

Cabe destacar que el historial de la empresa SQM incluye antecedentes de prácticas cuestionables desde el punto de vista legal y ético. En 2017, fue sancionada por el Departamento de Justicia de Estados Unidos y por la Comisión de Bolsa y Valores (SEC, siglas en inglés) por infringir la Ley de Prácticas Corruptas en el Extranjero (FCPA, siglas en inglés). La empresa admitió haber realizado pagos indebidos a políticos y funcionarios chilenos a través de una cuenta de gastos discretionales, como parte del acuerdo, la compañía aceptó pagar una multa de 30 millones de dólares en concepto de sanción (Aylwin et al., 2021). En el mismo período, la Corporación de Fomento de la Producción de Chile (CORFO) acusó a la empresa de actuar de mala fe, ocultar información y obstaculizar deliberadamente una licitación pública orientada a abrir el mercado del litio más allá de 2030, cuando expira el contrato actual en el Salar de Atacama (CORFO, 2017).

Estas prácticas no fueron casos aislados, pues el informe de Aylwin et al. (2021) documenta un entramado más amplio de irregularidades, incluyendo el financiamiento ilegal de campañas políticas, el uso de boletas falsas y el pago de sobornos, que motivaron investigaciones judiciales tanto en Chile como en Estados Unidos.

Más allá de las responsabilidades individuales, diversos análisis académicos advierten que las prácticas de SQM deben entenderse dentro de una estructura más amplia, en la que el poder empresarial ha logrado influir de forma significativa en la toma de decisiones públicas. Gundermann y Göbel (2018) señalan que las empresas del litio, al establecer relaciones directas con autoridades estatales y locales, han contribuido a una configuración institucional que les resulta favorable. Esta dinámica, que puede interpretarse como una forma de “captura del Estado”, ha debilitado los mecanismos de fiscalización y ha dejado a las comunidades locales en una posición de creciente marginalidad. En esta línea, Jerez et al. (2021) añaden que el modelo extractivo consolidado en el Salar de Atacama se ha desarrollado durante décadas sin sistemas efectivos de transparencia ni rendición de cuentas, lo que ha reforzado una sensación persistente de impunidad entre los ciudadanos.

En definitiva, aunque SQM ha desarrollado un conjunto de políticas y canales formales para prevenir la corrupción y promover la transparencia, persisten dudas razonables sobre su aplicación efectiva. Las auditorías externas identifican limitaciones estructurales, y múltiples fuentes académicas documentan antecedentes de corrupción y prácticas opacas que siguen proyectando su sombra en la actualidad. La falta de verificación pública de los beneficiarios reales, la confidencialidad de los contratos y los antecedentes penales de directivos implican una puntuación de -1 (riesgo significativo).

4.4.3.4 Biodiversidad

Pese a que esta subcategoría no aparezca como tal en la metodología adoptada, se ha considerado tratarla aquí pues como se ha podido comprobar, en este contexto especial, la biodiversidad es parte de la cultura de las comunidades, por lo que un deterioro de esta implica también consecuencias en la sociedad. En Chile, esta perspectiva está reforzada por la Ley N° 20.380 sobre Protección de Animales (Nacional, 2009), que promueve un trato digno hacia todas las especies, y por la adhesión al Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD, 1993), que obliga a conservar hábitats y prevenir la pérdida de fauna nativa. De acuerdo a los estándares citados y siguiendo un patrón similar de los indicadores seguidos en otras subcategorías de la S-LCA, esta subcategoría implica que la empresa garantice que las especies puedan desarrollarse según sus necesidades naturales, evitando sufrimiento, estrés o desplazamiento innecesario. En ese sentido, el análisis debe identificar si la organización cuenta con mecanismos para monitorear su impacto en la fauna local y si existe prevención de daños a especies vulnerables.

Relativo a esta materia, SQM señala que monitorea la fauna en 18 estaciones distribuidas en el Salar de Atacama, evaluando especies como mamíferos, reptiles y aves. Por otro lado, afirma realizar estudios periódicos de biodiversidad, incluyendo censos de flamencos, seguimiento de especies amenazadas y planes de manejo ambiental. Una muestra de ello es su colaboración con Corporación Nacional Forestal (CONAF) en el monitoreo de poblaciones de flamencos andinos, chilenos y de James (SQM Litio, 2022).

A nivel documental, este desempeño cumple con la normativa ambiental y con los compromisos voluntarios de la empresa, reflejo de esto es que la auditoría IRMA otorga a SQM una puntuación del 100% en “biodiversidad servicios del ecosistema y áreas protegidas”, reconociendo la existencia de evaluaciones de impacto y monitoreo regular en esta área (IRMA, 2023).

Sin embargo, la literatura científica ha documentado una drástica reducción en las tasas de reproducción de flamencos en el sistema Soncor durante los años 2017 y 2018 (Gajardo & Redón, 2019). Según estos autores, las alteraciones en la superficie de las lagunas (relacionadas con el desequilibrio hídrico causado por la extracción de litio) han afectado a la disponibilidad de alimento y la calidad de los sedimentos utilizados para la anidación. El estudio advierte que los actuales sistemas de evaluación ambiental no consideran adecuadamente la viabilidad ecológica de estas especies ni incorporan indicadores biológicos relevantes. Como muestra de esta situación, en 2018 la CONAF suspendió el marcaje de flamencos debido a que no se alcanzó el número mínimo de crías necesarias para esta práctica, es decir no se monitoreó. De forma similar, Gutiérrez et al. (2022) señala que los humedales altoandinos, hogar de flamencos, reptiles e insectos endémicos, están sufriendo una transformación lenta pero irreversible debido al descenso del nivel freático, y por ende, impactando sobre su biodiversidad.

Esta preocupación se refuerza con una investigación independiente liderada por un grupo de científicos de diversas instituciones, quienes, a través de imágenes satelitales y censos de flamencos en cinco salares, determinaron que las tendencias poblacionales más negativas se registraron justamente en el único salar que estaba intervenido por la minería del litio. Según sus resultados, la extracción de litio explica parcialmente la disminución de dos de las tres especies de flamencos endémicos (UACH, 2022).

En definitiva, aunque SQM ha desarrollado protocolos de monitoreo y cumple con los estándares ambientales a los que se acoge, varios estudios científicos muestran que estos esfuerzos no han sido suficientes para evitar impactos significativos en especies vulnerables, dada la fragilidad del ecosistema. El caso de los flamencos altoandinos, cuyas poblaciones han disminuido en la zona de actividades extractivas en paralelo al avance de la minería del litio, refleja una brecha entre el cumplimiento formal y la conservación efectiva. En este contexto, el desempeño de la empresa en esta subcategoría no puede considerarse adecuado, por lo que se asigna una puntuación de 0 (cumplimiento parcial/riesgo moderado).

4.5 Fase 4: Interpretación

Una vez realizada la evaluación de impacto en cuestión, se puede proceder a interpretar los resultados de la misma, a fin de extraer conclusiones significativas del desempeño del sistema de producto analizado, es decir del comportamiento de la compañía SQM en sus procesos extractivos del Salar de Atacama. Además, de proporcionar recomendaciones orientadas a mitigar los impactos sociales

identificados, mejorar las prácticas corporativas y fortalecer la gobernanza social correspondiente.

Para ello, se concluye en tres apartados diferenciados, alineados con la metodología S-LCA que son: (i) síntesis de resultados por grupo de interés; (ii) puntos críticos (*hotspots*); (iii) recomendaciones.

4.5.1 Síntesis de resultados por grupo de interés

A continuación se presenta un resumen del desempeño social observado para cada parte interesada, es decir, la puntuación asignada a cada subcategoría analizada, de acuerdo a la escala adoptada (Tabla 3).

Tabla 4. Resumen del desempeño social de SQM en el Salar de Atacama para: Trabajadores/as

Trabajadores/as	
Subcategoría	Valoración
Libertad de asociación y negociación colectiva	+1
Trabajo infantil	+2
Salario justo	+1
Jornada laboral	+1
Condiciones de empleo	0
Igualdad de oportunidades/discriminación	+2
Salud y seguridad	+1
Beneficios sociales y bienestar laboral	+1
Acoso sexual	0

En cuanto al impacto generado en los trabajadores, la empresa presenta un desempeño general positivo, con cumplimiento básico en la mayoría de las subcategorías evaluadas y avances notables en áreas como la erradicación del trabajo infantil y la igualdad de oportunidades. Se destacan políticas activas de inclusión, sueldos por encima del mínimo legal, una alta tasa de sindicalización y la existencia de beneficios sociales que superan las exigencias normativas.

Sin embargo, existen ciertas deficiencias. Por un lado, vinculadas al trabajo subcontratado, que representa la mayor parte de la fuerza laboral, ya que la falta de información desagregada impide verificar la efectividad y el alcance de las políticas aplicadas. Por otro lado, se identifica una carencia de medidas preventivas en torno a una subcategoría especialmente crítica como el acoso laboral, lo que limita la capacidad de garantizar un entorno de trabajo seguro e inclusivo.

Tabla 5. Resumen del desempeño social de SQM en el Salar de Atacama para: Comunidades locales

Comunidades locales	
Subcategoría	Valoración
Acceso a recursos materiales	-1
Acceso a recursos inmateriales	+1
Deslocalización y migración	-1
Patrimonio cultural	-2
Condiciones de vida seguras y saludables	-1
Derechos indígenas y participación comunitaria	-1
Empleo local	+2

Las comunidades locales son, de acuerdo al análisis realizado, el grupo más afectado por las actividades extractivas del litio, tanto por los impactos directos sobre los ecosistemas como por las transformaciones que estas generan en las dinámicas sociales, culturales y territoriales. A pesar de que SQM mantiene una retórica de diálogo y ha implementado programas educativos, culturales y de empleabilidad, estas acciones no alcanzan a compensar el deterioro de las condiciones de vida ni a revertir la percepción de exclusión y vulneración que expresan numerosos testimonios comunitarios.

Tabla 6. Resumen del desempeño social de SQM en el Salar de Atacama para: Sociedad

Sociedad	
Subcategoría	Valoración
Compromiso con la sostenibilidad	0
Contribución al desarrollo económico	+1
Corrupción	-1
Biodiversidad	0

En lo que respecta a la sociedad en su conjunto, existe una brecha entre lo que la empresa promete públicamente y lo que realmente implementa. Aunque ha adoptado un discurso alineado con los ODS, publica reportes según estándares internacionales y participa en iniciativas voluntarias, muchas de estas acciones parecen más orientadas a cuidar su imagen que a impulsar cambios de fondo. Diversos estudios coinciden en que, pese a ciertos avances en transparencia, la sostenibilidad sigue supeditada a intereses económicos, y los compromisos asumidos no se reflejan en transformaciones estructurales de su modelo de operación.

Esta ambivalencia también se percibe en términos económicos, pues SQM genera importantes aportes económicos, pero persisten dudas sobre cómo se distribuyen esos beneficios y si realmente promueven un desarrollo autónomo en el territorio. En cuanto a la gobernanza, las medidas anticorrupción implementadas no borran

un pasado reciente de sanciones y prácticas cuestionables que afectan su legitimidad. Y en el plano ambiental, cumplir con lo técnico no ha evitado impactos reales y documentados sobre especies emblemáticas.

4.5.2 Puntos críticos (*hotspots*)

A partir de la evaluación completa se han identificado los siguientes *hotspots* o puntos críticos del caso de estudio:

- Acceso al agua y escasez hídrica, derivado del alto consumo de las operaciones extractivas, que impactan en el consumo humano, la agricultura y el equilibrio del ecosistema.
- Déficit en participación indígena, las consultas por parte de la empresa carecen de legitimidad por ser parciales o a destiempo.
- Migración inducida y fragmentación comunitaria, la pérdida de medios de vida tradicionales provoca desplazamientos y el reparto desigual de beneficios rupturas sociales.
- Debilidades en la protección laboral indirecta, los trabajadores subcontratados están fuera del foco de las políticas formales de SQM.
- Opacidad institucional y riesgo de corrupción, existe falta de transparencia en los contratos con CORFO y la gobernanza del litio.
- Impacto sobre la biodiversidad, afectación indirecta de las cadenas tróficas que repercuten en especies emblemáticas como los flamencos andinos.

4.5.3 Recomendaciones

Teniendo en cuenta los hallazgos de esta evaluación, se proponen las siguientes líneas estratégicas de mejora.

A la empresa SQM:

- Reforzar la trazabilidad sobre las prácticas laborales subcontratadas, exigiendo a las empresas contratistas estándares equivalentes a los propios.
- Establecer mecanismos de rendición de cuentas con comunidades indígenas, mediante instancias institucionalizadas de seguimiento, coevaluación y toma de decisiones, con participación real y vinculante de los pueblos originarios.
- Ampliar los instrumentos de compensación ecológica, cultural y territorial, superando el enfoque meramente técnico o económico.

-Adoptar indicadores de desempeño social específicos y desagregados, que permitan monitorear impactos diferenciados por género, tipo de empleo, pertenencia étnica u otros factores relevantes.

-Reforzar políticas de integridad, transparencia y lucha contra la corrupción, en lo referente a relaciones con autoridades públicas y contratos de extracción.

A las instituciones (Estado chileno y gobiernos locales):

-Reformar el marco legal que regula la explotación del litio, redefiniendo el estatus de la salmuera, estableciendo su protección dentro del régimen de aguas.

-Incluir la Evaluación del Ciclo de Vida Social (S-LCA) como herramienta complementaria obligatoria en los procesos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), especialmente en proyectos de explotación de recursos naturales estratégicos.

-Fomentar la investigación científica independiente sobre los impactos acumulativos de la minería del litio, particularmente en contextos de alta fragilidad eco-social como el Salar de Atacama, promoviendo alianzas con universidades, centros públicos de investigación y organizaciones locales.

-Establecer observatorios ciudadanos o comisiones mixtas de seguimiento, con representación de comunidades locales, científicos/as, autoridades y empresas, para monitorear los impactos sociales, ambientales y culturales en zonas que reporten problemáticas al respecto.

CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo de los impactos sociales derivados de la extracción de litio, en concreto el caso de las actividades extractivas de la empresa SQM en del Salar de Atacama. Este estudio ha permitido no solo comprender mejor el papel estratégico del litio en la industria contemporánea, sino también reflexionar sobre las implicaciones humanas y sociales de su extracción en territorios con comunidades vulnerables y ecosistemas frágiles.

En primer lugar, se ha demostrado que la integración de evaluaciones de impacto social en los proyectos industriales no solo es importante, sino necesaria. Los grandes proyectos de extracción y transformación de recursos naturales afectan de manera directa a las comunidades, al medio ambiente y al equilibrio territorial. No tener en cuenta estos impactos puede derivar en conflictos sociales, pérdida de legitimidad, retrasos en los proyectos y consecuencias irreversibles para el tejido social y ecológico. La ingeniería, por tanto, no puede limitarse a criterios técnicos o económicos: ha de incorporar de forma transversal una mirada ética, participativa y sostenible.

Respecto a la creciente demanda del litio, se ha explicado que este mineral posee una serie de propiedades físico-químicas (como su ligereza, reactividad, capacidad para almacenar energía y rapidez de recarga) que lo convierten en un componente esencial en tecnologías punteras como las baterías de iones de litio, entre otras muchas. Como consecuencia, su extracción se ha multiplicado en los últimos años y se prevé que esta tendencia continúe.

En cuanto a los métodos de extracción, se ha comparado la minería en roca dura con la evaporación de salmueras. El análisis ha mostrado que la extracción a partir de salmueras tiene un mayor potencial de generar impactos sociales negativos, debido a su alto consumo de agua en regiones desérticas, la presión sobre los ecosistemas y los conflictos que genera con las comunidades.

Para poder evaluar los impactos derivados de esto, se han explorado dos metodologías consolidadas de análisis: el marco propuesto por la *International Association for Impact Assessment* (IAIA) y el *Social Life Cycle Assessment* (S-LCA), promovido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Tras comparar sus usos, conceptos y niveles de aplicación, se ha considerado que la S-LCA es la más apropiada para evaluar el caso de estudio, por su capacidad de integrar múltiples partes interesadas, identificar impactos en una etapa concreta del ciclo de vida del producto y ofrecer un enfoque mediante escalas con buen rigor analítico.

La aplicación de esta metodología al caso de estudio ha permitido identificar los impactos sociales más significativos. Entre ellos destacan la competencia por el agua, la desprotección del patrimonio cultural, la limitada participación efectiva de

los pueblos originarios en la toma de decisiones y una distribución desigual de los beneficios económicos. Asimismo, se han documentado afectaciones a la biodiversidad local, en particular sobre ecosistemas endémicos vinculados al equilibrio hídrico del salar, así como la presencia de prácticas de gobernanza opaca y posibles dinámicas de corrupción, que dificultan la transparencia, el acceso a la información y el control ciudadano. Todo ello configura un escenario de alta conflictividad, donde el desarrollo industrial avanza muchas veces al margen del respeto por los derechos sociales, ambientales y culturales de quienes habitan el territorio.

A partir de los resultados obtenidos, se identifican también diversas líneas que podrían ser exploradas por futuras investigaciones. Sería especialmente útil realizar estudios de carácter empírico que incorporen datos primarios mediante entrevistas, observación directa o metodologías participativas, con el fin de complementar el análisis documental realizado y captar con mayor precisión las percepciones y vivencias de las comunidades afectadas. Asimismo, resultaría valioso comparar distintos contextos geográficos y modelos de gobernanza, lo cual permitiría identificar buenas prácticas y mecanismos eficaces de mitigación de impactos. Por último, relativo a las nuevas tecnologías extractivas como la extracción directa de litio, sería pertinente analizar prospectivamente sus posibles implicaciones sociales, para detectar amenazas y oportunidades.

En definitiva, este trabajo ha tratado de mostrar que la sostenibilidad no puede ser entendida únicamente en términos ambientales o tecnológicos, sino que ha de incorporar de manera prioritaria la dimensión social. Una transición energética justa requiere procesos éticos, participativos y responsables que garanticen el bienestar de las comunidades implicadas. En este contexto, la ingeniería tiene la oportunidad, y la responsabilidad, de liderar este cambio desde una mirada más humana. Sin embargo, tal como se ha evidenciado en el capítulo inicial, aún persisten carencias en la formación académica en torno a estos enfoques sociales, lo cual invita a repensar cómo se educa a los futuros profesionales para que sean también agentes de transformación justa y sostenible.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre B., F. (2022). The lithium triangle – the importance of Bolivia. *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 40(2), 183-202.
<https://doi.org/10.1080/02646811.2021.1930708>
- Agusdinata, D. B., Liu, W., Eakin, H., & Romero, H. (2018). Socio-environmental impacts of lithium mineral extraction: Towards a research agenda. *Environmental Research Letters*, 13(12), 123001.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae9b1>
- Aledo, A., & Domínguez-Gómez, J. A. (2017). Social Impact Assessment (SIA) from a multidimensional paradigmatic perspective: Challenges and opportunities. *Journal of Environmental Management*, 195, 56-61.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.060>
- Ali, A., Ma, L., Shahzad, M., & Hussain, S. (2024). Managing Stakeholder Pressure for Megaproject Success and Green Innovation: The Key Role of Social Responsibility. *Engineering Management Journal*, 36(4), 366-377.
<https://doi.org/10.1080/10429247.2023.2286177>
- Arenas-Collao, K., Valdés-González, H., Reyes-Bozo, L., & Salazar, J. L. (2024). The Water Management Impacts of Large-Scale Mining Operations: A Social and Environmental Perspective. *Water*, 16(12), 1745.
<https://doi.org/10.3390/w16121745>
- Aylwin, J., Didier, M., & Mora, O. (2021). *Evaluación de impacto en derechos humanos de SQM en los derechos del pueblo indígena Lickanantay*.
- 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, e4887. <https://doi.org/10.22199/issn.0718-1043-2022-0033>
- Azócar, R. (2021, enero 12). La industria del litio en el Salar de Atacama: Trayectorias económicas, socioétnicas y ambientales. [Billet]. *IRP ATACAMA-SHS | Sciences humaines en territoire minier*.
<https://doi.org/10.58079/d1qr>
- Babidge, S., Kalazich, F., Yager, K., & Prieto, M. (2019). «That's the problem with that lake; it changes sides»: Mapping extraction and ecological exhaustion in the Atacama. *Journal of Political Ecology*, 26(1).
<https://doi.org/10.2458/v26i1.23169>
- Becker, H. A. (2001). Social impact assessment. *European Journal of Operational Research*, 128(2), 311-321. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00074-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00074-6)

- Bielefeldt, A. R., & Canney, N. E. (2016). Changes in the Social Responsibility Attitudes of Engineering Students Over Time. *Science and Engineering Ethics*, 22(5), 1535-1551. <https://doi.org/10.1007/s11948-015-9706-5>
- Blair, J. J. A., Vineyard, N., Mulvaney, D., Cantor, A., Sharbat, A., Berry, K., Bartholomew, E., & Ornelas, A. F. (2024). Lithium and water: Hydrosocial impacts across the life cycle of energy storage. *WIREs Water*, 11(6), e1748. <https://doi.org/10.1002/wat2.1748>
- Bolados García, P., & Babidge, S. (2016). Ritualidad y extractivismo: La limpia de canales y las disputas por el agua en el Salar de Atacama-Norte de Chile. *Estudios atacameños*, ahead, 0-0. <https://doi.org/10.4067/S0718-10432016005000026>
- Bonilla, B. E. L. (2007). *Impacto, impacto social y evaluación del impacto*.
- Boutilier, R. G. (2014). Frequently asked questions about the social licence to operate. *Impact Assessment and Project Appraisal*. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14615517.2014.941141>
- Buhmann, K., Fonseca, A., Andrews, N., & Amatulli, G. (2024). *The Routledge Handbook on Meaningful Stakeholder Engagement* (1.^a ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003388227>
- Canney, N., & Bielefeldt, A. (2015). A Framework for the Development of Social Responsibility in Engineers. *International Journal of Engineering Education*, 31(1), 414-424.
- Carrara, S., Bobba, S., Blagoeva, D., Alves, D. P., Cavalli, A., Georgitzikis, K., Grohol, M., Itul, A., Kuzov, T., Latunussa, C., Lyons, L., Malano, G., Maury, T., Prior, A., Somers, J., Telsnig, T., Veeh, C., Wittmer, D., Black, C., ... Christou, M. (2023, marzo 16). *Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study*. JRC Publications Repository. <https://doi.org/10.2760/386650>
- Carroll, A. B., & Shabana, K. M. (2010). The Business Case for Corporate Social Responsibility: A Review of Concepts, Research and Practice. *International Journal of Management Reviews*, 12(1), 85-105. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2009.00275.x>
- Castor, S. B., & Henry, C. D. (2020). Lithium-Rich Claystone in the McDermitt Caldera, Nevada, USA: Geologic, Mineralogical, and Geochemical Characteristics and Possible Origin. *Minerals*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/min10010068>
- CBD. (1993). *Home*. Convention on Biological Diversity. <https://www.cbd.int/>
- Chaves, C. (2021). Concerns about lithium extraction: A review and application for Portugal ☆. *The Extractive Industries and Society*, 8(3), 100928. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.100928>

- Ciftci, M. M., & Lemaire, X. (2023). Deciphering the impacts of 'green' energy transition on socio-environmental lithium conflicts: Evidence from Argentina and Chile. *The Extractive Industries and Society*, 16, 101373. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2023.101373>
- Circular economy action plan—European Commission.* (2020). https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en
- Ciudadano, E. (2024, mayo 31). *Documental: El Salar de Atacama desde los ojos de los pueblos originarios afectados por la extracción de litio de SQM.* El Ciudadano. <https://www.elciudadano.com/especiales/litio-chile/documental-el-salar-de-atacama-desde-los-ojos-de-los-pueblos-originarios-afectados-por-la-extraccion-de-litio-de-sqm/05/31/>
- Code of Ethics | National Society of Professional Engineers.* (s. f.). Recuperado 11 de octubre de 2024, de <https://www.nspe.org/resources/ethics/code-ethics>
- CORFO. (2017). *CORFO - Corporación de Fomento de la Producción.* CORFO. https://www.corfo.cl/sites/Satellite?c=C_NoticiaNacional&cid=1476720724852&d=Touch&pagename=CorfoPortalPublico%2FC_NoticiaNacional%2FcorfoDetalleNoticiaNacionalWeb
- Corporación para el desarrollo de la región de Atacama. (2020). *Relaciones Laborales en Chile.* chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcgjclefindmkaj/https://www.corproa.cl/wp-content/uploads/2020/11/Informes-Tematicos-de-Mineria-6-Relaciones-Laborales-y-Equidad-de-Genero.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Dessemond, C., Lajoie-Leroux, F., Soucy, G., Laroche, N., & Magnan, J.-F. (2019). Spodumene: The Lithium Market, Resources and Processes. *Minerals*, 9(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/min9060334>
- Díaz Paz, W. F., Escosteguy, M., Seghezzo, L., Hufty, M., Kruse, E., & Iribarnegaray, M. A. (2023). Lithium mining, water resources, and socio-economic issues in northern Argentina: We are not all in the same boat. *Resources Policy*, 81, 103288. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103288>
- Directiva (UE) 2024/1760 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de junio de 2024, sobre diligencia debida de las empresas en materia de sostenibilidad y por la que se modifican la Directiva (UE) 2019/1937 y el Reglamento (UE) 2023/2859 (Texto pertinente a efectos del EEE), CONSIL, EP (2024). <http://data.europa.eu/eli/dir/2024/1760/oj/spa>
- Disu, B., Rafati, R., Sharifi Haddad, A., Mendoza Roca, J. A., Iborra Clar, M. I., & Soleymani Eil Bakhtiari, S. (2024). Review of recent advances in lithium extraction from subsurface brines. *Geoenergy Science and Engineering*, 241, 213189. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2024.213189>
- DW Español (Director). (2024, febrero 10). *Las comunidades indígenas chilenas temen el auge del litio* [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=ssTbxi7ljQg>

- E. Housecroft, C., & G. Sharpe, A. (2005). *Inorganic Chemistry* (Second Edition). Pearson Education Limited. chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repo.upertis.ac.id/1904/1/Inorganic%20Chemistry%2C%202nd%20Ed_0130399132.pdf
- Ejeian, M., Grant, A., Shon, H. K., & Razmjou, A. (2021). Is lithium brine water? *Desalination*, 518, 115169. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115169>
- El Acuerdo de París | Naciones Unidas*. (2015). United Nations; United Nations. <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>
- Esteves, A. M., & Barclay, M.-A. (2011). Enhancing the benefits of local content: Integrating social and economic impact assessment into procurement strategies. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 29(3), 205-215. <https://doi.org/10.3152/146155111X12959673796128>
- EuChemS. (2023). Element Scarcity—EuChemS Periodic Table. EuChemS. <https://www.euchems.eu/euchems-periodic-table/>
- European Commission. (s. f.). RMIS - Lithium-based batteries supply chain challenges. RMIS - Raw Materials Information System. Recuperado 7 de mayo de 2025, de https://rmis.jrc.ec.europa.eu/analysis-of-supply-chain-challenges-49b749?utm_source=chatgpt.com
- Flexer, V., Baspineiro, C. F., & Galli, C. I. (2018). Lithium recovery from brines: A vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing. *Science of The Total Environment*, 639, 1188-1204. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.223>
- Flores Fernández, C., & Alba, R. (2023). Water or mineral resource? Legal interpretations and hydrosocial configurations of lithium mining in Chile. *Frontiers in Water*, 5. <https://doi.org/10.3389/frwa.2023.1075139>
- FRANCE 24 Español (Director). (2024, febrero 14). ¿Cómo afecta la explotación de litio en Chile a los indígenas del salar de Atacama? [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=gGeicoN96iM>
- Franks, D. M., Davis, R., Bebbington, A. J., Ali, S. H., Kemp, D., & Scurrah, M. (2014). Conflict translates environmental and social risk into business costs. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(21), 7576-7581. <https://doi.org/10.1073/pnas.1405135111>
- Gajardo, G., & Redón, S. (2019). Andean hypersaline lakes in the Atacama Desert, northern Chile: Between lithium exploitation and unique biodiversity conservation. *Conservation Science and Practice*, 1(9), e94. <https://doi.org/10.1111/csp2.94>
- Godoy, C. (2022). Minería del litio en Chile y conflictividad social: Una mirada sobre los aspectos político-comercial, geopolítico y socioambiental desde una

- perspectiva interméstica. *Estudios Avanzados*, 36, Article 36.
<https://doi.org/10.35588/estudav.v0i36.5650>
- González, G., Javier, F., González, M., & Javier, L. (2003). *Evaluación del Impacto Social de Proyectos de I+D+I: Guía Práctica para Centros Tecnológicos*. 252.
- Greenwood, N. N., & Earnshaw, A. (1997). *Chemistry of the elements* (2nd ed). Butterworth Heinemann.
- Grohol, M., & Veeh, C. (2023). *Study on the critical raw materials for the EU 2023: Final report*. Publications Office of the European Union.
<https://data.europa.eu/doi/10.2873/725585>
- Guba, E. G., & Lincoln, Y. S. (1994). *Competing paradigms in qualitative research*. APA PsycNET. <https://awspntest.apa.org/record/1994-98625-005>
- Gundermann, H., & Göbel, B. (2018). Comunidades indígenas, empresas del litio y sus relaciones en el salar de Atacama. *Chungará (Arica)*, ahead, 471-486.
<https://doi.org/10.4067/S0717-73562018005001602>
- Gutiérrez, J. S., Moore, J. N., Donnelly, J. P., Dorador, C., Navedo, J. G., & Senner, N. R. (2022). Climate change and lithium mining influence flamingo abundance in the Lithium Triangle. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 289(1970), 20212388.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2021.2388>
- Hidalgo, P. (2024, julio 3). El caso del litio en el Salar de Atacama: Una perspectiva local. *Revista Endémico*. <https://endemico.org/el-caso-del-litio-en-el-salar-de-atacama-una-perspectiva-local/>
- Horta-Gaviria, C.-M., & García-Rodríguez, M.-M. (2022). Industria minera en Latinoamérica. *ÁNFORA*, 29(52), 157-181.
<https://doi.org/10.30854/anf.v29.n52.2022.795>
- IEA. (2021). *Graduate Attributes & Professional Competencies*. International Engineering Alliance.
<https://www.internationalengineeringalliance.org/about-us/gapc>
- IFC. (2012). *IFC's Performance Standards on Environmental and Social Sustainability* [Text/HTML]. IFC. <https://www.ifc.org/en/insights-reports/2012/ifc-performance-standards>
- ILO. (1919). *Convenio C001—Convenio sobre las horas de trabajo (industria)*, 1919 (núm. 1).
https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312146
- ILO. (1948). *Convenio C087—Convenio sobre la libertad sindical y la protección del derecho de sindicación*, 1948 (núm. 87).
https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312232

- ILO. (1949). *Convenio C098—Convenio sobre el derecho de sindicación y de negociación colectiva, 1949* (núm. 98).
https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312243
- ILO. (1951). *Convenio C100—Convenio sobre igualdad de remuneración, 1951* (núm. 100).
https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312245
- ILO. (1952). *Convenio C102—Convenio sobre la seguridad social (norma mínima), 1952* (núm. 102).
https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312247
- ILO. (1958). *Convenio C111—Convenio sobre la discriminación (empleo y ocupación), 1958* (núm. 111).
https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312256
- ILO. (1961). *Convenio C116—Convenio sobre la revisión de los artículos finales, 1961* (núm. 116).
https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312261
- ILO. (1964). *Convenio C122—Convenio sobre la política del empleo, 1964* (núm. 122).
https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312267
- ILO. (1970). *Convenio C131—Convenio sobre la fijación de salarios mínimos, 1970* (núm. 131).
https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312276
- ILO. (1973). *Convenio C138—Convenio sobre la edad mínima, 1973* (núm. 138).
https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312283
- ILO. (1981). *Convenio C155—Convenio sobre seguridad y salud de los trabajadores, 1981* (núm. 155).
https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312300
- ILO. (1982). *Convenio C158—Convenio sobre la terminación de la relación de trabajo, 1982* (núm. 158).
https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312303
- ILO. (1989). *Convenio C169—Convenio sobre pueblos indígenas y tribales, 1989* (núm. 169).

- https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312314
- ILO. (1999). *Convenio C182—Convenio sobre las peores formas de trabajo infantil, 1999 (núm. 182)*.
https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312327
- ILO. (2006). *Convenio C187—Convenio sobre el marco promocional para la seguridad y salud en el trabajo, 2006 (núm. 187)*.
https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312332
- ILO. (2019). *Convenio C190—Convenio sobre la violencia y el acoso, 2019 (núm. 190)*.
https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:3999810
- Información Comunal » Municipalidad de San Pedro de Atacama. (2021, febrero 4). *Municipalidad de San Pedro de Atacama » Sitio informativo de la Municipalidad de San Pedro de Atacama*. <https://munispa.cl/informacion-comunal/>
- IRMA. (2023). *Paquete de Auditoría SQM Salar de Atacama*. chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://responsiblemining.net/wp-content/uploads/2023/09/Packet-SQM-Salar-de-Atacama-audit-es.pdf>
- ISO. (2010). *ISO 26000:2010(es), Guía de responsabilidad social*.
<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:26000:ed-1:v1:es>
- ISO. (2018). *ISO 45001:2018*. ISO.
<https://www.iso.org/es/contents/data/standard/06/37/63787.html>
- Jerez, B., Garcés, I., & Torres, R. (2021). Lithium extractivism and water injustices in the Salar de Atacama, Chile: The colonial shadow of green electromobility. *Political Geography*, 87, 102382.
<https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2021.102382>
- Jorratt, M. (2022). *Renta económica, régimen tributario y transparencia fiscal de la minería del litio en la Argentina, Bolivia (Estado Plurinacional de) y Chile*.
<https://repositorio.cepal.org/handle/11362/47807>
- Kelly, J. C., Wang, M., Dai, Q., & Winjobi, O. (2021). Energy, greenhouse gas, and water life cycle analysis of lithium carbonate and lithium hydroxide monohydrate from brine and ore resources and their use in lithium ion battery cathodes and lithium ion batteries. *Resources, Conservation and Recycling*, 174, 105762.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105762>

- Krishnan, R., & Gopan, G. (2024). A comprehensive review of lithium extraction: From historical perspectives to emerging technologies, storage, and environmental considerations. *Cleaner Engineering and Technology*, 20, 100749. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100749>
- Labuschagne, C., & Brent, A. C. (2005). Sustainable Project Life Cycle Management: The need to integrate life cycles in the manufacturing sector. *International Journal of Project Management*, 23(2), 159-168. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.06.003>
- Lebedeva, N., Ruiz Ruiz, V., Bielewski, M., Blagoeva, D., & Pilenga, A. (with Europäische Gemeinschaften). (2020). *Batteries: Technology development report*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/24401>
- Lide, D. R. (1995). *CRC Handbook of Chemistry and Physics: A Ready-reference Book of Chemical and Physical Data*. CRC Press.
- 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>
- Liu, W., & Agusdinata, D. B. (2021). Dynamics of local impacts in low-carbon transition: Agent-based modeling of lithium mining-community-aquifer interactions in Salar de Atacama, Chile. *The Extractive Industries and Society*, 8(3), 100927. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.100927>
- Liu, Y., Ma, B., Lu, Y., Wang, C., & Chen, Y. (2023). A review of lithium extraction from natural resources. *International Journal of Minerals Metallurgy And Materials*, 30(2), 209-224. <https://doi.org/10.1007/s12613-022-2544-y>
- Lorca, M., Olivera Andrade, M., Garcés, I., Lorca, M., Olivera Andrade, M., & Garcés, I. (2023). “Se instaló el diablo en el Salar”. Organizaciones atacameñas, agua y minería del litio en el Salar de Atacama. *Estudios atacameños*, 69. <https://doi.org/10.22199/issn.0718-1043-2023-0004>
- Marazuela, M. A., Vázquez-Suñé, E., Ayora, C., & García-Gil, A. (2020). Towards more sustainable brine extraction in salt flats: Learning from the Salar de Atacama. *Science of The Total Environment*, 703, 135605. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135605>
- Mas-Fons, A., Horta Arduin, R., Loubet, P., Pereira, T., Parvez, A. M., & Sonnemann, G. (2024). Carbon and water footprint of battery-grade lithium from brine and spodumene: A simulation-based LCA. *Journal of Cleaner Production*, 452, 142108. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142108>
- Mojid, M. R., Lee, K. J., & You, J. (2024). A review on advances in direct lithium extraction from continental brines: Ion-sieve adsorption and electrochemical methods for varied Mg/Li ratios. *Sustainable Materials and Technologies*, 40, e00923. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2024.e00923>

- Montoya, B. (2024, noviembre 20). *Comunidades indígenas interponen denuncia por hundimiento de salar de Atacama debido a extracción de litio en Chile*. Noticias ambientales. <https://es.mongabay.com/2024/11/comunidades-indigenas-interponen-denuncia-por-hundimiento-de-salar-de-atacama-por-litio-chile/>
- Mortensen, N. H. (2019, noviembre 29). El lugar más árido del planeta está amenazado por culpa de la gran demanda de vehículos eléctricos y teléfonos inteligentes. *Climática, el medio especializado en clima y biodiversidad*. <https://climatica.coop/la-sed-de-litio-amenaza-atacama/>
- Mousavinezhad, S., Nili, S., Fahimi, A., & Vahidi, E. (2024). Environmental impact assessment of direct lithium extraction from brine resources: Global warming potential, land use, water consumption, and charting sustainable scenarios. *Resources, Conservation and Recycling*, 205, 107583. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107583>
- Nacional, B. del C. (1968, febrero 1). *Biblioteca del Congreso Nacional | Ley Chile*. www.bcn.cl/leychile. <https://www.bcn.cl/leychile>
- Nacional, B. del C. (1981, octubre 29). *Biblioteca del Congreso Nacional | Ley Chile*. www.bcn.cl/leychile. <https://www.bcn.cl/leychile>
- Nacional, B. del C. (1993, octubre 5). *Biblioteca del Congreso Nacional | Ley Chile*. www.bcn.cl/leychile. <https://www.bcn.cl/leychile>
- Nacional, B. del C. (1994, marzo 9). *Biblioteca del Congreso Nacional | Ley Chile*. www.bcn.cl/leychile. <https://www.bcn.cl/leychile>
- Nacional, B. del C. (2003, enero 16). *Biblioteca del Congreso Nacional | Ley Chile*. www.bcn.cl/leychile. <https://www.bcn.cl/leychile>
- Nacional, B. del C. (2005a, marzo 18). *Biblioteca del Congreso Nacional | Ley Chile*. www.bcn.cl/leychile. <https://www.bcn.cl/leychile>
- Nacional, B. del C. (2005b, septiembre 22). *Biblioteca del Congreso Nacional | Ley Chile*. www.bcn.cl/leychile. <https://www.bcn.cl/leychile>
- Nacional, B. del C. (2009, octubre 3). *Biblioteca del Congreso Nacional | Ley Chile*. www.bcn.cl/leychile. <https://www.bcn.cl/leychile>
- Nacional, B. del C. (2016, abril 18). *Biblioteca del Congreso Nacional | Ley Chile*. www.bcn.cl/leychile. <https://www.bcn.cl/leychile>
- Nacional, B. del C. (2019, diciembre 17). *Biblioteca del Congreso Nacional | Ley Chile*. www.bcn.cl/leychile. <https://www.bcn.cl/leychile>
- Nacional, B. del C. (2023, mayo 30). *Biblioteca del Congreso Nacional | Ley Chile*. www.bcn.cl/leychile. <https://www.bcn.cl/leychile>
- Naciones Unidas. (1966). *Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales*. OHCHR. <https://www.ohchr.org/es/instruments>

mechanisms/instruments/international-covenant-economic-social-and-cultural-rights

Naciones Unidas. (1979). *Convención sobre la eliminación de todas las formas de discriminación contra la mujer*. OHCHR.

<https://www.ohchr.org/es/instruments-mechanisms/instruments/convention-elimination-all-forms-discrimination-against-women>

Naciones Unidas. (1989). *Convención sobre los Derechos del Niño*. OHCHR.

<https://www.ohchr.org/es/instruments-mechanisms/instruments/convention-rights-child>

Naciones Unidas. (2007). *Declaración de las Naciones Unidas sobre los derechos de los pueblos indígenas*. OHCHR. <https://www.ohchr.org/es/indigenous-peoples/un-declaration-rights-indigenous-peoples>

Naciones Unidas. (2010). *Agua y saneamiento*. OHCHR.

<https://www.ohchr.org/es/topic/water-and-sanitation>

Naciones Unidas. (2011). *Principios Rectores sobre las Empresas y los Derechos Humanos: Puesta en práctica del marco de la ONU para proteger, respetar y remediar* – ACNUDH. <https://acnudh.org/principios-rectores-sobre-las-empresas-y-los-derechos-humanos/>

Naciones Unidas. (2016). *Objetivos de Desarrollo Sostenible* | Naciones Unidas.

United Nations; United Nations. <https://www.un.org/es/impacto-academico/page/objetivos-de-desarrollo-sostenible>

NSPE. (2019). *Code of Ethics* | NSPE.

<https://www.nspe.org/resources/ethics/code-ethics>

Obaya, M., Murguía, D., & López, D. S. (2024). *El litio en la nueva agenda de la Unión Europea y América Latina y el Caribe: Lineamientos de acción para una cadena birregional de baterías de litio justa y sostenible*.

OCMAL. (s. f.-a). *Conflictos Mineros en Chile*. Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina, OCMAL. Recuperado 10 de abril de 2025, de https://mapa.conflictosmineros.net/ocmal_db-v2/conflicto/lista/02032300

OCMAL. (s. f.-b). *Proyecto: SQM Salar de Atacama*. Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina, OCMAL. Recuperado 3 de enero de 2025, de https://mapa.conflictosmineros.net/ocmal_db-v2/proyecto/view/564

OEA. (2016). *Declaración Americana sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas (DADPI)*. chrome-extension://efaidnbmnnibpcapcglclefindmkaj/<https://www.oas.org/es/sady/documentos/DADPI.pdf>

Ortiz, C., Aravena, R., Briones, E., Suárez, F., Tore, C., & Muñoz, J. F. (2014). Sources of surface water for the Salar de Atacama ecosystem, Salar de Atacama basin, northern

- Chile. *Hydrological Sciences Journal*, 59(2), 336-350.
<https://doi.org/10.1080/02626667.2013.829231>
- P. Kudryavtsev. (2016). Lithium in nature, application, methods of extraction (review). *Journal Scientific Israel Technological Advantages*, 18(3), 83.
- Perrone, N. M. (2024). *Una transición energética justa necesita más que participación en los beneficios: Una visión desde el Salar de Atacama*.
<https://www.iied.org/es/una-transicion-energetica-justa-necesita-mas-que-participacion-en-los-beneficios-una-vision-desde>
- Petavratzi, E., Sanchez-Lopez, D., Hughes, A., Stacey, J., Ford, J., & Butcher, A. (2022). The impacts of environmental, social and governance (ESG) issues in achieving sustainable lithium supply in the Lithium Triangle. *Mineral Economics*, 35(3), 673-699. <https://doi.org/10.1007/s13563-022-00332-4>
- Real Sociedad Española de Química. (2019). *Elementos químicos de la Tabla Periódica*. 115(2), 136.
- Rehner, J., Lorie, A., & Muñoz, F. (2023). *Extracción y Procesamiento de Litio en Chile y la Participación de China*. ICLAC.
<https://doi.org/10.5281/ZENODO.10091031>
- Romero, H., & Opazo, D. (2019). El ayllu como territorio de vida en las comunidades Altoandinas y su relación con la configuración espacial de la minería en el Desierto y Salar de Atacama, Norte de Chile. *AMBIENTES: Revista de Geografía e Ecología Política*, 1(1), Article 1.
<https://doi.org/10.48075/amb.v1i1.22685>
- Salar de Atacama | Albemarle. (2024, octubre 10).
<https://www.albemarle.com/cl/en/what-we-offer/reliable-supply/salar-de-atacama>
- Secretaría de Estado de Energía. (2021). *Estrategia de Almacenamiento Energético* (Marco No. ISBN: 978-84-18508-43-1; p. 116). Gobierno de España.
chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/prensa/estrategiaalmacenamiento_tcm30-522655.pdf
- SMA. (2022, agosto 30). SMA aprueba programa de cumplimiento que exige a SQM Salar medidas por más de 46.000 millones de pesos. *Superintendencia Del Medio Ambiente*. <https://portal.sma.gob.cl/index.php/sma-aprueba-programa-de-cumplimiento-que-exige-a-sqm-salar-medidas-por-mas-de-46-000-millones-de-pesos/>
- SQM Litio. (2018). *Informe de sostenibilidad*, SQM. SQM.
<https://www.sqm.com/sustentabilidad/reporte-de-sustentabilidad/>

- SQM Litio. (2022). Reportes de Sostenibilidad | SQM Lithium. *SQM Litio*.
<https://sqmlitio.com/sostenibilidad/reportes-de-sostenibilidad/>
- Sun, X., Hao, H., Zhao, F., & Liu, Z. (2017). Tracing global lithium flow: A trade-linked material flow analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 124, 50-61.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.04.012>
- Thies, C. (2019). Assessment of social sustainability hotspots in the supply chain of lithium-ion batteries. *Procedia CIRP*, 80, 292-297.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.009>
- Thies, C., Kieckhäuser, K., Spengler, T. S., & Sodhi, M. S. (2019). Assessment of social sustainability hotspots in the supply chain of lithium-ion batteries. *Procedia CIRP*, 80, 292-297. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.009>
- Tian-ming, G., Na, F., Wu, C., Tao, D., MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China, Research Center for Strategy of Global Mineral Resources, Chinese Geological Survey, Beijing 100037, China, China Huanqiu Contracting & Engineering Corp., LTD Beijing Branch, Beijing 100012, China, & SDU Life Cycle Engineering, Department of Green Technology, University of Southern Denmark, Odense 5230, Denmark. (2023). Lithium extraction from hard rock lithium ores (spodumene, lepidolite, zinnwaldite, petalite): Technology, resources, environment and cost. *China Geology*, 6(1), 137-153. <https://doi.org/10.31035/cg2022088>
- UACH. (2022). *Ciencia colaborativa y altruista que busca la conservación de los salares chilenos – Noticias UACH*. <https://diario.uach.cl/ciencia-colaborativa-y-altruista-que-busca-la-conservacion-de-los-salares-chilenos/>
- UNEP. (2020, diciembre 10). *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organisations 2020—Life Cycle Initiative*.
<https://www.lifecycleinitiative.org/library/guidelines-for-social-life-cycle-assessment-of-products-and-organisations-2020/>
- UNEP. (2021, diciembre 6). *Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA) 2021—Life Cycle Initiative*.
<https://www.lifecycleinitiative.org/library/methodological-sheets-for-subcategories-in-social-life-cycle-assessment-s-lca-2021/>
- UNEP. (2022, mayo 5). *Pilot Projects on Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations 2022—Life Cycle Initiative*.
<https://www.lifecycleinitiative.org/library/pilot-projects-on-guidelines-for-social-life-cycle-assessment-of-products-and-organizations-2022/>
- United Nations. (2016). ODS12: Consumo y producción sostenibles. *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- U.S. Geological Survey. (2024). *Mineral Commodity Summaries 2024*.

- Vanclay, F. (2003). International Principles For Social Impact Assessment. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 21(1), 5-12.
<https://doi.org/10.3152/147154603781766491>
- Vanclay, F., Baines, J. T., & Taylor, C. N. (2013). Principles for ethical research involving humans: Ethical professional practice in impact assessment Part I. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 31(4), 243-253.
<https://doi.org/10.1080/14615517.2013.850307>
- Vanclay, F., Esteves, A., Aucamp, I., & Franks, D. (2015). *Evaluación de Impacto Social: Lineamientos para la evaluación y gestión de impactos sociales de proyectos (IAIA)*. chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.iaia.org/pdf/Evaluacion-Impacto-Social-Lineamientos.pdf
- Wikimedia Commons. (2009). *English: An SVG periodic table of the elements, which includes name, atomic mass, electron configuration, first ionization energy, and electronegativity. Labels in Spanish*. [Graphic]. This file was derived from: Periodic table large.svg by 2012rc.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Periodic_table_large-es.svg
- Wojewska, A. N., Staritz, C., Tröster, B., & Leisenheimer, L. (2024). The criticality of lithium and the finance-sustainability nexus: Supply-demand perceptions, state policies, production networks, and financial actors. *The Extractive Industries and Society*, 17, 101393.
<https://doi.org/10.1016/j.exis.2023.101393>
- World Bank. (2016). *Environmental and Social Standards (ESS)*. World Bank.
<https://projects.worldbank.org/en/projects-operations/environmental-and-social-framework/brief/environmental-and-social-standards>
- Youssef, A., Anwar, R., Bashter, I. I., Amin, E. A., & Reda, S. M. (2022). Neutron yield as a measure of achievement nuclear fusion using a mixture of deuterium and tritium isotopes. *Physica Scripta*, 97(8), 085601.
<https://doi.org/10.1088/1402-4896/ac7b4f>
- Zhang, B. (2022). *Geological characteristics, metallogenic regularity, and research progress of lithium deposits in China*.
<http://chinageology.cgs.cn/article/doi/10.31035/cg2022054?pageType=en&viewType=HTML>