



## **TITULO DEL PROYECTO**

### ***EXPOSICIÓN OCUPACIONAL AL LITIO EN TRABAJADORES EN CHILE: PROMOVRIENDO LA PRECAUCIÓN***

## **RESUMEN**

Chile es el segundo mayor productor mundial de Litio y concentra el 36% de las reservas globales. Actualmente, la producción se concentra en el Salar de Atacama, pero la Estrategia Nacional del Litio busca expandir la actividad a otros salares del país. Este crecimiento ha incrementado la exposición ocupacional a aproximadamente 8 mil trabajadores de la industria minera.

A pesar de su importancia estratégica, el sistema chileno de salud ocupacional sufre un vacío regulatorio crítico al carecer de métricas y la evidencia científica necesaria para proteger la salud de los trabajadores expuestos. Esta omisión representa una brecha significativa en la protección laboral y una potencial amenaza para el desarrollo industrial, con posibles efectos adversos en sistemas como el respiratorio.

Este proyecto propone la elaboración de una Guía de Acción Precautoria para la exposición ocupacional al litio, basada en el Principio Precautorio. El estudio empleará una metodología mixta (cualitativa y cuantitativa), que incluye la toma de muestras biológicas (sangre y orina) para objetivar la exposición, el monitoreo ambiental, y un proceso deliberativo con actores clave (MINSAL, SUSESO, ISP, OAL, trabajadores).

Los resultados esperados incluyen la Guía de Recomendaciones y una Ficha Electrónica Específica de seguimiento de salud, con el objetivo de proponer un instrumento de política pública idóneo para Chile y lograr su formalización e integración al sistema de seguridad y salud en el trabajo en colaboración con las autoridades competentes. Esta acción contribuirá significativamente al Fortalecimiento de la Gestión de la Salud Ocupacional en Chile, alineándose con los Objetivos Sanitarios 2021-2030 y garantizando un entorno laboral seguro en una industria de relevancia nacional como lo es la minería del Litio.

## **PALABRAS CLAVES**

*Litio, Salud Ocupacional, Principio Precautorio, Vigilancia Epidemiológica, Minería, Toxicología Laboral.*



## **1. RELEVANCIA, PLANTEAMIENTO Y SOLUCIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.1 RELEVANCIA DEL TEMA**

En América Latina se encuentra el 60% del litio del mundo, concentrado principalmente en el sector llamado triángulo del Litio: Argentina, Chile y Bolivia. Chile es el segundo mayor productor de litio del mundo después de Australia, lo que le da una ventaja en esta carrera por conseguir los mejores beneficios del actual boom del metal. Este crecimiento ha llevado a una mayor exposición ocupacional en la industria minera del litio en Chile. Sin embargo, los efectos en la salud de estos trabajadores no están completamente documentados, lo que representa una brecha crítica en la protección de la salud ocupacional y una potencial amenaza para el desarrollo de la actividad industrial y minera que utilice este compuesto.

La Estrategia Nacional de Salud para los Objetivos Sanitarios al 2030 en Chile subraya la importancia de fortalecer la gestión de la salud ocupacional, mejorar la calidad de vida laboral y monitorear la salud de los trabajadores. En este contexto, abordar los posibles efectos adversos de la exposición al litio ambiental es fundamental para cumplir con estos objetivos. La falta de guía para el control de potenciales riesgos en humanos de la exposición ocupacional y/o ambiental al litio y es una brecha que sustenta la importancia de esta investigación.

El proyecto propuesto se alinea con los objetivos sanitarios de la década 2021-2030, que incluyen:

- Fortalecimiento de la Gestión de la Salud Ocupacional: Diseñar, implementar y monitorear políticas y normativas que promuevan la protección de la salud, seguridad, buen trato y clima laboral de los trabajadores.
- Mejora de la Calidad de Vida Laboral: Establecer un ambiente laboral que garantice la salud y seguridad de los trabajadores, fundamental para el funcionamiento efectivo del sistema de salud.
- Monitoreo y Evaluación de la Salud de los Trabajadores: Implementar procedimientos que midan la calidad de las atenciones prestadas y la satisfacción de los usuarios, incluyendo la salud y bienestar de los trabajadores.

Para el 2030, el objetivo es disminuir la exposición de la población trabajadora a condiciones y organización del trabajo desfavorables que generan daños a la salud, afectando su seguridad y bienestar. Este proyecto contribuirá significativamente a este objetivo al proporcionar datos esenciales para la formulación de políticas y prácticas de salud laboral más seguras. Además, la investigación permitirá desarrollar medidas de protección más efectivas y protocolos de seguridad adecuados, mejorando el bienestar y calidad de vida de los trabajadores expuestos al litio. También abrirá nuevas vías de investigación en toxicología y salud ocupacional, y contribuirá a la formulación de regulaciones laborales sobre la base de evidencias chilenas.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA y ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

El litio, el metal más liviano, es ampliamente conocido en medicina para el tratamiento de trastornos del estado de ánimo como la depresión, la manía y el trastorno bipolar<sup>1</sup>. Introducido inicialmente en 1949 por John Cade<sup>2-3</sup> quien utilizó inicialmente las sales de litio para manejar la manía, y que a pesar del tiempo el litio sigue siendo hoy en día un pilar en estos tratamientos<sup>4-5</sup>. Es actualmente el tratamiento de elección para la manía, con una tasa de respuesta del 70-80%, aunque los efectos terapéuticos pueden tardar de una a dos semanas en aparecer. Sin embargo, el litio tiene una ventana terapéutica muy estrecha<sup>6</sup>, lo que significa que la dosis necesaria para su efecto terapéutico está muy cerca, y a veces se superpone, con la dosis que causa toxicidad; entre el 75% y el 90% de los pacientes en terapia de mantenimiento pueden experimentar niveles tóxicos, afectando los sistemas neurológico, gastrointestinal y cardiovascular<sup>7</sup>. Las dosis por debajo de 2,5 mmol/L generalmente no causan síntomas, pero niveles tóxicos pueden aparecer entre dos y cuatro horas después de la ingestión<sup>8</sup>. La monitorización hormonal es crucial para guiar el tratamiento, y en casos graves, se puede utilizar diálisis para eliminar el litio del cuerpo. A pesar de estos desafíos, el litio ha cumplido su promesa inicial como un tratamiento eficaz en la era moderna de la psicofarmacología.

En otros ámbitos, este mineral cuenta con excelentes propiedades de conducción del calor y electricidad, lo que lo convierte en un elemento clave para la fabricación de elementos de uso cotidiano tales como baterías para celulares, computadoras, cámaras, relojes, industria automotriz, cerámicas, vidrio, entre otros.<sup>9</sup>

En los últimos años, el litio ha aumentado significativamente su importancia en distintos ámbitos de la economía chilena.<sup>10</sup> Este mineral se ha convertido en un elemento fundamental en la transición hacia fuentes de energía más sostenibles, siendo clave en la producción de baterías de iones de litio. Así se ha convertido en un insumo hasta ahora irremplazable en la transición hacia la descarbonización y electrificación del transporte y en el almacenamiento de las energías renovables con el fin de reducir las emisiones que contribuyen al cambio climático. Esto explicaría el crecimiento exponencial de su demanda a nivel mundial en los últimos años.

En Chile, el litio representó un 8,2% de las exportaciones totales en 2022, reflejo de una demanda mucho mayor por su importancia en la electromovilidad y almacenamiento energético.<sup>11</sup> En 2023, la producción de litio en el país alcanzó las 44,000 toneladas métricas, representando un incremento del 15,8% respecto al año anterior<sup>12</sup>. En términos de recursos identificados a nivel mundial, Chile representa un 41% de las reservas mundiales de litio, seguido de Australia (25,4%), Argentina (9,8%) y China (6,7%)<sup>13</sup>.

Actualmente, solo dos empresas privadas extraen litio en Chile<sup>14</sup>, empleando alrededor de 10 mil trabajadores. Esta situación presenta una oportunidad para estudiar los posibles efectos en la salud del personal expuesto al litio en el trabajo.<sup>15</sup> A nivel global, la industria minera de litio ha experimentado un crecimiento significativo, aumentando el número de trabajadores con exposición



## FACULTAD DE MEDICINA MAGISTER DE EPIDEMIOLOGIA Jeinny Carbonell Sanjuan

ocupacional a este mineral. El litio además se considera una sustancia peligrosa.<sup>16-17</sup> Sin embargo, existe una falta de comprensión sobre los posibles efectos en la salud de los trabajadores expuestos a este mineral. Esta situación plantea la necesidad de abordar el problema de manera integral para garantizar la seguridad y el bienestar de los trabajadores en entornos laborales con exposición al litio.

La mayoría de los estudios toxicológicos existentes se realizaron en animales de laboratorio.<sup>18</sup> observándose efectos en el sistema respiratorio de los animales expuestos a la inhalación de litio.<sup>19</sup> Aunque los efectos de la intoxicación por litio por vía oral están bien comprendidos en el ámbito médico y se limitan a individuos, aún no se ha determinado el impacto en la salud del personal que trabaja directamente con este mineral. Por lo cual, es fundamental desarrollar protocolos de seguridad laboral específicos para la manipulación del litio en el trabajo y realizar capacitaciones regulares al personal sobre los riesgos asociados y las medidas de prevención,<sup>20</sup> incluyendo el uso de equipos de protección personal adecuados.<sup>21</sup>

A nivel internacional, se han realizado estudios que muestran los efectos adversos del litio en animales, pero persiste una falta de investigación específica y concluyente en humanos expuestos ocupacionalmente<sup>22</sup>. Aunque otros líderes de mercado como Australia ya están iniciando la generación de evidencia, con la publicación de un estudio observacional<sup>23</sup> realizado en el 2025 para comprender el impacto en la salud de sus trabajadores, esta información es aún incipiente. En Chile, no existen estudios exhaustivos que aborden este problema de salud en el contexto laboral. La mayoría de los estudios epidemiológicos existentes se han realizado en animales de laboratorio, y los efectos en humanos no están claramente documentados. Este proyecto llenará este vacío de conocimiento al investigar los efectos del litio en la salud de los trabajadores y desarrollar medidas de protección adecuadas.

Por lo anterior, este proyecto se justifica por el vacío de conocimiento existente sobre los efectos del litio en los trabajadores. La creciente demanda mundial de litio<sup>24</sup> y su importancia económica para Chile hacen urgente la investigación en este campo. La falta de estudios específicos en humanos y la ausencia de protocolos de seguridad adecuados subrayan la importancia de este proyecto. Además, la investigación contribuirá a desarrollar medidas de protección más efectivas y protocolos de seguridad adecuados, mejorando el bienestar y calidad de vida de los trabajadores expuestos al litio.

Este proyecto se alinea, también, con los objetivos sanitarios de la década 2021-2030,<sup>25</sup> que incluyen el fortalecimiento de la gestión de la salud ocupacional, la mejora de la calidad de vida laboral y el monitoreo y evaluación de la salud de los trabajadores. La Estrategia Nacional de Salud para los Objetivos Sanitarios al 2030 subraya la importancia de disminuir la exposición de la población trabajadora a condiciones desfavorables que generan daños a la salud. Este proyecto contribuirá significativamente a estos objetivos al proporcionar datos esenciales para la formulación de políticas y prácticas de salud laboral más seguras.



## FACULTAD DE MEDICINA **MAGISTER DE EPIDEMIOLOGIA** Jeinny Carbonell Sanjuan

Actualmente, no existen normativas específicas en Chile que aborden la exposición ocupacional al litio. Sin embargo, la Ley N° 16.744 sobre Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales establece garantías relativas a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores.<sup>26</sup>

En cuanto a las normas ISO, el Comité Técnico ISO/TC 333<sup>27</sup> se encarga de la estandarización en el campo de la minería, concentración, extracción, separación y conversión de compuestos útiles de litio. Este comité trabaja en la creación de normas que incluyen métodos de análisis y condiciones técnicas para mejorar la calidad general de los productos de litio. Además, en Chile, las empresas mineras pueden adherirse a los Acuerdos de Producción Limpia (APL)<sup>28</sup>, que son instrumentos voluntarios promovidos por el Consejo Nacional de Producción Limpia (CPL) bajo el Ministerio de Economía. Estos acuerdos buscan implementar prácticas de producción más limpias y sostenibles, reduciendo el impacto ambiental y mejorando la seguridad y salud de los trabajadores. Chile cuenta con un marco regulatorio robusto para proteger la salud y seguridad de los trabajadores, que incluye desde regulaciones específicas hasta herramientas de incentivo como las normas ISO y los Acuerdos de Producción Limpia. La Ley N° 16.744 sobre Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales establece garantías relativas a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores. Además, la implementación de normas ISO y la participación en APLs pueden servir como herramientas adicionales para promover un entorno laboral seguro y saludable en la industria minera del litio.

Este proyecto contribuirá a la formulación de instrumentos de gestión del riesgo laboral sólidos y/o a la promoción de prácticas laborales seguras y precautorias en la industria minera del litio. Para la formulación de políticas públicas y el establecimiento de intervenciones acordes a ella es menester que los actores políticos estén motivados y tengan el poder suficiente para movilizar los recursos requeridos para su desarrollo<sup>29</sup>. Entre las intervenciones más usadas para implementar una política pública se tienen a las guías o estándares y a las regulaciones.

Las guías son sugerencias no obligatorias que promueven mejores prácticas, mientras que las regulaciones son normas que deben cumplirse. Las guías se crean consultando a expertos y partes interesadas, y se implementan mediante educación y capacitación. Las regulaciones se desarrollan a través de procesos legislativos y se aplican mediante inspecciones y sanciones.<sup>30</sup> En la industria minera del litio, las guías pueden fomentar prácticas seguras, mientras que las regulaciones aseguran el cumplimiento obligatorio de estándares de seguridad.<sup>31</sup>

Tomando en consideración la evidencia actual este proyecto propone la creación de una guía de recomendación de exposición ocupacional<sup>32</sup>, definición de grados de exposición, incidencia de eventos relacionados a esta exposición, medidas de prevención y protección y establecer en el marco del sistema de vigilancia epidemiológica de los trabajadores.



### **1.3 SOLUCIÓN, RESULTADOS ESPERADOS Y SU IMPLEMENTACIÓN**

#### **1.3.1 Solución**

La solución que proponemos es la elaboración de una guía de acción precautoria para la exposición ocupacional al litio. Esta guía no pretende establecer un estándar definitivo debido a la falta de evidencia concluyente, pero se basa en el principio precautorio, que sugiere tomar medidas proactivas ante la posibilidad de riesgos significativos para la salud. La guía abordará específicamente la exposición ocupacional, proporcionando un marco de referencia para la protección de la salud de los trabajadores. Al comprender de manera más profunda los posibles efectos en la salud de los trabajadores expuestos al litio, se podrán requerir desarrollar medidas de protección más efectivas y protocolos de seguridad adecuados en los entornos laborales con exposición a este mineral. Estas medidas precautorias podrán contribuir a reducir la posible incidencia de enfermedades respiratorias y otros efectos adversos entre los trabajadores, mejorando así su bienestar y calidad de vida. Además, al identificar y describir los posibles mecanismos biológicos que podrían explicar la asociación entre la exposición al litio y los efectos en la salud, este estudio puede abrir nuevas vías de investigación en el campo de la toxicología y la salud ocupacional.

El desarrollo de esta guía tendrá un impacto significativo en la salud de los trabajadores en Chile que están expuestos al litio en la industria minera. Este proyecto permitirá identificar y comprender mejor los riesgos asociados a la manipulación del litio en el trabajo, proponiendo la creación de un protocolo de exposición ocupacional específico para la manipulación del litio, definición de grados de exposición, incidencia de eventos relacionados a esta exposición, medidas de prevención y protección adecuadas para garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores, y establecer un sistema de vigilancia epidemiológica. Esto no solo mejorará la calidad de vida de los trabajadores, sino que también contribuirá a la sostenibilidad de la industria minera al promover prácticas laborales más seguras.

Las recomendaciones propuestas en la guía pueden tener un impacto positivo en la formulación de protocolos y regulaciones laborales relacionadas con la manipulación del litio. Estas recomendaciones podrían ser utilizadas por las autoridades gubernamentales, los organismos administradores laborales (OAL) y las empresas mineras para desarrollar prácticas y estándares de seguridad más sólidos, contribuyendo así a la protección de la salud del personal expuesto. Asimismo, este proyecto tiene el potencial de generar conocimientos valiosos, mejorar las prácticas laborales y promover la seguridad y el bienestar de los trabajadores expuestos al litio, con implicaciones significativas tanto a nivel local como global.

La falta de protocolos específicos y la ausencia de estudios exhaustivos sobre los efectos del litio en la salud ocupacional perpetuarán un entorno laboral inseguro, lo que podría resultar en un aumento de problemas de salud, afectando tanto a los individuos como a la productividad de la industria. Con la implementación de la guía, se establecerán medidas claras y específicas para la protección de los trabajadores. La guía incluirá recomendaciones sobre el uso de equipos de

protección personal, protocolos de monitoreo de salud y procedimientos de manejo seguro del litio. Además, se promoverá la capacitación regular del personal sobre los riesgos asociados y las medidas de prevención. Esto creará un entorno laboral más seguro y saludable, reduciendo la incidencia de enfermedades y mejorando el bienestar general de los trabajadores.

La guía o protocolo de actuación estará dirigida a empleadores, trabajadores y autoridades de salud ocupacional en la industria minera del litio. Su objetivo será proporcionar directrices claras y prácticas para minimizar la exposición al litio y gestionar de manera efectiva los riesgos asociados. El proyecto evaluará la forma más idónea para formalizar su contenido en colaboración con autoridades sanitarias y de la seguridad social, mutualidades y otros actores relevantes. También se considerará la posibilidad de acuerdos público-privados para asegurar una implementación efectiva y amplia difusión. La guía se presentará en formato escrito, complementada con materiales educativos como videos y folletos informativos. La elaboración de esta guía de acción precautoria representa un paso crucial hacia la protección de la salud de los trabajadores expuestos al litio en Chile. Al adoptar un enfoque proactivo basado en el principio precautorio, se podrán mitigar los riesgos asociados con la exposición al litio, mejorando la seguridad y el bienestar de la población trabajadora y contribuyendo a la sostenibilidad de la industria minera.

### 1.3.2 RESULTADOS Y/O PRODUCTOS ESPERADOS

**Resultado(s) Tecnológico(s) (OBLIGATORIO):** El proyecto tiene como objetivo principal la elaboración de una guía de acción precautoria para la exposición ocupacional al litio y el desarrollo de una ficha electrónica específica para el seguimiento de la salud de los trabajadores. Estos resultados tecnológicos contribuirán significativamente a la protección de la salud de los trabajadores y al cumplimiento de los objetivos sanitarios vigentes en Chile y promoviendo prácticas laborales más seguras y sostenibles.

Título del Resultado Tecnológico	Breve Descripción
<i>Guía de Recomendaciones</i>	La guía de recomendaciones proporcionará directrices claras y prácticas para minimizar la exposición al litio en entornos laborales. Incluirá medidas de protección personal, protocolos de monitoreo de salud, tipos de exposición, procedimientos de manejo seguro del litio y programas de capacitación para trabajadores y empleadores.
Hito N°1 <b>“Año 1”</b>	Revisión y recopilación de literatura científica y normativa existente sobre la exposición ocupacional al litio.
Hito N°2 <b>“Año 2”</b>	Desarrollo del borrador de la guía de recomendaciones, incluyendo consultas con expertos y partes interesadas.
Hito N°3 <b>“Año 3”</b>	Validación y ajuste de la guía a través de talleres y pruebas piloto en entornos laborales seleccionados.

	Publicación y difusión de la guía mediante un Decreto Supremo del Ministerio de Salud y acuerdos público-privados.
<b>Título del Resultado Tecnológico</b>	<b>Breve Descripción</b>
<i>Ficha Electrónica Específica de Seguimiento de la Salud de los Trabajadores</i>	La ficha electrónica permitirá un seguimiento detallado y continuo de la salud de los trabajadores expuestos al litio. Incluirá registros de exposición, resultados de monitoreos de salud, y alertas para intervenciones preventivas y correctivas.
Hito N°1 "Año 1"	Diseño del sistema de ficha electrónica, incluyendo especificaciones técnicas y funcionales.
Hito N°2 "Año 2"	Desarrollo del prototipo de la ficha electrónica y pruebas iniciales en un entorno controlado.
Hito N°3 "Año 3"	Implementación piloto de la ficha electrónica en empresas mineras seleccionadas y recopilación de datos para ajustes.
	Implementación completa y capacitación de usuarios finales, con integración en los sistemas de salud ocupacional existentes.

**Resultados de Producción Científica y Difusión:**

<b>Título del Resultado de Producción Científica y Difusión</b>	<b>Breve Descripción</b>
Publicaciones Científicas:	Se espera la producción de 2 a 3 publicaciones en revistas científicas de alto impacto (Q1/Q2). Estas publicaciones abordarán los hallazgos sobre la exposición ocupacional al litio y sus efectos en la salud, así como las recomendaciones y protocolos desarrollados.
Resultados de difusión:	Eventos de Difusión: Se organizarán 2 eventos de difusión para presentar los resultados del proyecto. Estos eventos estarán dirigidos a audiencias académicas, clínicas y de gestión, y tendrán como objetivo

**Resultados de Formación de Capacidades:**

<b>Título del Resultado de Formación de Capacidades</b>	<b>Breve Descripción</b>
---	--------------------------



**Resultados de Formación de Capacidades**

El proyecto se enfocará en la formación de capacidades de investigación y la creación de nuevas redes de colaboración. Esto incluirá:

- **Formación de Capacidades en SUSESO, MINSAL/Seremis de Salud, Sernageomin, OAL y Empresas:** Se llevarán a cabo programas de capacitación y talleres dirigidos a estos organismos y empresas, con el objetivo de fortalecer sus capacidades para gestionar y mitigar los riesgos asociados con la exposición ocupacional al litio. Estas actividades promoverán la adopción de las recomendaciones y protocolos desarrollados en el proyecto.
- **Fortalecimiento de Redes de Colaboración:** Se fomentará la creación de nuevos grupos de investigación y la colaboración entre instituciones académicas, gubernamentales y del sector privado. Esto permitirá un intercambio de conocimientos y experiencias, potenciando la capacidad de respuesta ante los riesgos ocupacionales del litio.

### 1.3.3 IMPLEMENTACIÓN DE EL(LOS) RESULTADOS O PRODUCTO(S) ESPERADO(S)

**Beneficiarios Finales:** Los beneficiarios finales de este proyecto son los trabajadores de la industria minera del litio en Chile, las empresas mineras, las autoridades de salud ocupacional y el público en general. Los trabajadores se beneficiarán directamente de las medidas de protección y los protocolos de seguridad desarrollados, lo que mejorará su salud y bienestar. Las empresas mineras podrán implementar prácticas laborales más seguras, reduciendo el riesgo de enfermedades ocupacionales y mejorando la productividad. Las autoridades de salud ocupacional obtendrán datos esenciales para la formulación de políticas y regulaciones basadas en evidencia, contribuyendo a un entorno laboral más seguro.

**Estrategia de Implementación:** La implementación de los resultados y productos esperados se llevará a cabo en varias etapas, asegurando una transferencia efectiva y sostenible de los conocimientos y prácticas desarrolladas:

#### 1. **Desarrollo y Validación de la Guía de Recomendaciones:**

- **Año 1:** Revisión y recopilación de literatura científica y normativa existente sobre la exposición ocupacional al litio.
- **Año 2:** Desarrollo del borrador de la guía de recomendaciones, incluyendo consultas con expertos y partes interesadas.
- **Año 3:**
  - Validación y ajuste de la guía a través de talleres y pruebas piloto en entornos laborales seleccionados.
  - Publicación y difusión de la guía mediante un Decreto Supremo del Ministerio de Salud y acuerdos público-privados.

#### 2. **Desarrollo y Implementación de la Ficha Electrónica Específica:**

- **Año 1:** Diseño del sistema de ficha electrónica, incluyendo especificaciones técnicas y funcionales.
- **Año 2:** Desarrollo del prototipo de la ficha electrónica y pruebas iniciales en un entorno controlado.
- **Año 3:**
  - Implementación piloto de la ficha electrónica en empresas mineras seleccionadas y recopilación de datos para ajustes.
  - Implementación completa y capacitación de usuarios finales, con integración en los sistemas de salud ocupacional existentes.

#### 3. **Difusión y Capacitación:**

- **Eventos de Difusión:** Se organizarán 2 eventos de difusión para presentar los resultados del proyecto a audiencias académicas, clínicas y de gestión.
- **Capacitación:** Programas de capacitación y talleres dirigidos a SUSESO, MINSAL/Seremis de Salud, Sernageomin, OAL y empresas mineras para fortalecer sus capacidades en la gestión de riesgos asociados con la exposición ocupacional al litio.

#### 4. **Colaboración y Redes:**



## FACULTAD DE MEDICINA

### MAGISTER DE EPIDEMIOLOGIA

Jeinny Carbonell Sanjuan

- **Fortalecimiento de Redes de Colaboración:** Creación de nuevos grupos de investigación y colaboración entre instituciones académicas, gubernamentales y del sector privado para el intercambio de conocimientos y experiencias.

#### **Responsables del Proceso de Implementación:**

- **Ministerio de Salud (MINSAL):** Liderará la publicación y difusión de la guía de recomendaciones mediante un Decreto Supremo.
- **Superintendencia de Seguridad Social (SUSESO):** Supervisará la implementación de la ficha electrónica y la capacitación de usuarios finales.
- **Empresas Mineras:** Participarán en la implementación piloto de la ficha electrónica y en la adopción de las recomendaciones de la guía.
- **Instituciones Académicas y de Investigación:** Colaborarán en la validación de la guía y en la difusión de los resultados del proyecto.

**Participación de Entidades Colaboradoras:** La participación de entidades colaboradoras como SUSESO, MINSAL, Sernageomin, OAL y empresas mineras es crucial para la implementación efectiva de los resultados del proyecto. Estas entidades aportarán su experiencia y recursos para la validación, difusión y adopción de las recomendaciones y protocolos desarrollados. Además, su colaboración garantizará que los resultados del proyecto se integren en las políticas y prácticas de salud ocupacional a nivel nacional.



## **2. COMPONENTE CIENTÍFICO, METODOLOGÍA, ÉTICA Y PLANIFICACIÓN**

### **2.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS O SUPUESTOS DE INVESTIGACIÓN**

#### **PREGUNTA DE INVESTIGACION**

¿Cuál es el instrumento de política pública más idóneo para implementar una política precautoria en materia de seguridad ocupacional en materia de exposición poblacional al Litio?

#### **SUPUESTO**

La exposición ocupacional al litio se asocia con un aumento en la incidencia de enfermedades respiratorias en comparación con los trabajadores no expuestos. Al hablar de enfermedades pulmonares en la minería, se piensa comúnmente en la silicosis o neumoconiosis. Sin embargo, el litio, figura en el listado de sustancias peligrosas y los posibles efectos durante la exposición incluyen irritaciones en los ojos y el tracto respiratorio superior, tos, dolor en el pecho y dificultad respiratoria. Los irritantes respiratorios, como el litio, son sustancias que provocan inflamación en las vías respiratorias tras ser inhaladas, pudiendo causar daños en las vías respiratorias superiores e inferiores. Estos daños pueden manifestarse como neumonitis química, edema pulmonar no cardiogénico o incluso asma ocupacional.



## **2.2 OBJETIVOS**

### **2.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Definir una estrategia de acción precautoria frente a la exposición ambiental y ocupacional al litio.

### **2.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Revisar la literatura científica existente para determinar si existe asociación entre la exposición al litio y efectos adversos en la salud de los trabajadores
2. Explorar los posibles mecanismos biológicos que podrían estar involucrados en la relación entre la exposición al litio y la salud, con un enfoque sobre el sistema respiratorio.
3. Identificar otros posibles efectos adversos para la salud asociados con la exposición ocupacional al litio.
4. Desarrollar recomendaciones en materia de exposición ambiental a litio para proteger precautoriamente la seguridad y salud de los trabajadores.
5. Proponer un instrumento de política pública idóneo para Chile en materia de exposición a Litio por parte de los trabajadores de la industria.



### 2.3 METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS

Los métodos cualitativos permiten explorar en profundidad las experiencias y percepciones de los trabajadores sobre la exposición al litio, evaluar guías y recomendaciones de la OMS y otras organizaciones internacionales y establecer una base de consenso entre los actores involucrados.

Para este fin se establecerá un grupo compuesto por representantes de: trabajadores, autoridades sanitarias (Minsal, ISP) y del trabajo (SUSESO), representantes de gremios y/o empresas del rubro. Este grupo deliberará sobre la base de los antecedentes presentados por la investigación para proponer el instrumento de política más adecuado para Chile. El método deliberativo comprenderá reuniones periódicas, registro de las conversaciones, y establecimiento

Por otro lado, los métodos cuantitativos proporcionan datos sobre la frecuencia de enfermedades relacionadas con la exposición al litio y permiten realizar evaluaciones de exposición mediante la toma de muestras biológicas (sangre y orina), de modo de objetivar la cuantía de la exposición

La población de estudio estará compuesta por trabajadores de la industria minera del litio en Chile. Los participantes serán seleccionados con base en los siguientes criterios de inclusión: tener al menos un año de experiencia en la manipulación de litio, estar dispuestos a proporcionar muestras biológicas (sangre y orina) y participar en entrevistas y encuestas, y firmar un consentimiento informado. Se excluirán aquellos trabajadores que estén tomando medicamentos que puedan interferir con los niveles de litio en el cuerpo o con los resultados de las pruebas biológicas, aquellos portadores de Enfermedad Bipolar en tratamiento con litio, y aquellos que no puedan comprometerse a participar en todas las fases del estudio o que no estén dispuestos a firmar el consentimiento informado. Este enfoque permitirá obtener una muestra que refleje adecuadamente la diversidad de la población trabajadora en términos de edad, género y roles laborales con sus distintos niveles de exposición.

#### Recolección de Datos

##### 1. Evaluación de Exposición:

- Muestreo de Sangre y Orina: Se realizarán análisis de sangre y orina para medir los niveles de litio en el cuerpo de los trabajadores. Estas muestras se tomarán en diferentes actividades y formas de exposición para obtener una visión completa de la exposición ocupacional. Los análisis se llevarán a cabo en laboratorios certificados, siguiendo protocolos estandarizados para asegurar la precisión y confiabilidad de los resultados.

- Monitoreo Ambiental: Se medirán las concentraciones de litio en el aire y en las superficies de trabajo utilizando equipos de muestreo de aire y análisis de superficies. Este monitoreo se realizará en distintos puntos de las instalaciones mineras para evaluar la variabilidad de la exposición en diferentes áreas y condiciones de trabajo. También se medirá la presencia de litio en agua de consumo de los trabajadores.

2. Entrevistas en Profundidad: Se llevarán a cabo entrevistas con trabajadores, supervisores y expertos en salud ocupacional para obtener información cualitativa sobre las condiciones de trabajo, vías potenciales de exposición y las percepciones de riesgo. Las entrevistas serán



semiestructuradas, permitiendo una exploración detallada de los temas relevantes mientras se mantiene una guía consistente.

3. Encuestas Estructuradas: Se administrarán encuestas estructuradas para obtener datos cuantitativos sobre la salud de los trabajadores, hábitos tales como tabaquismo, dieta representativa, entre otros y sus condiciones laborales. Las encuestas incluirán preguntas sobre síntomas de salud, uso de equipos de protección personal y conocimiento de los riesgos asociados con la exposición al litio.

4. Revisión de Registros Médicos: Se revisarán los registros médicos de los trabajadores para identificar casos de enfermedades relacionadas con la exposición al litio. Esta revisión permitirá correlacionar los datos de exposición con los diagnósticos médicos y evaluar la frecuencia de enfermedades específicas.

#### Análisis de Datos

Los datos cualitativos obtenidos de las entrevistas se analizarán utilizando software de análisis de datos para identificar temas y patrones. Se realizará una revisión de las guías de la OMS y otras organizaciones internacionales sobre la exposición ocupacional al litio para contextualizar los hallazgos y comparar las prácticas locales con las recomendaciones globales. Los datos cuantitativos se analizarán utilizando técnicas estadísticas para determinar la relación entre la exposición al litio y la incidencia de enfermedades. Se realizarán análisis descriptivos para caracterizar la población de estudio y las condiciones de exposición, así como análisis inferenciales para evaluar la asociación entre los niveles de litio en sangre y orina y los efectos en la salud. Se utilizarán modelos de regresión para ajustar por posibles factores de confusión y evaluar la fuerza de las asociaciones observadas.

#### Evaluación de Riesgo

La evaluación de riesgo incluirá la identificación de peligros asociados con la exposición al litio en el entorno laboral, basándose en la literatura existente y los datos recopilados en el estudio. Se cuantificará la exposición de los trabajadores al litio mediante el análisis de las muestras biológicas y ambientales. Los resultados se compararán con los límites de exposición recomendados por la OMS y otras organizaciones para evaluar el nivel de riesgo. La caracterización del riesgo incluirá la estimación de la probabilidad y severidad de los efectos adversos asociados con diferentes niveles de exposición.

#### Validación de Resultados

Para validar y ajustar la guía de recomendaciones y la ficha electrónica, se realizarán talleres con los trabajadores y expertos. Estos talleres permitirán obtener retroalimentación sobre la aplicabilidad y efectividad de las recomendaciones propuestas y realizar ajustes necesarios antes de su implementación final.



### Plan de Análisis

El plan de análisis de datos se llevará a cabo en varias etapas. Primero, se realizará un análisis descriptivo para caracterizar la población de estudio y las condiciones de exposición. Esto incluirá la descripción de las características demográficas de los participantes, los niveles de exposición medidos y la prevalencia de síntomas y enfermedades reportadas. Luego, se realizarán análisis inferenciales para evaluar la asociación entre la exposición al litio y los efectos en la salud. Se utilizarán modelos de regresión para ajustar por posibles factores de confusión y evaluar la fuerza de las asociaciones observadas. Finalmente, se realizará un análisis de contenido de los datos cualitativos para interpretar los hallazgos y contextualizarlos en el marco de las guías y recomendaciones internacionales.

### Aspectos Críticos

La viabilidad del proyecto dependerá de la colaboración con empresas mineras y autoridades de salud ocupacional. Es crucial obtener el apoyo de estas entidades para facilitar el acceso a los trabajadores y los datos necesarios para el estudio. Además, se garantizará la confidencialidad y el consentimiento informado de todos los participantes para cumplir con los estándares éticos. La implementación de la guía de recomendaciones y la ficha electrónica requerirá un enfoque colaborativo y la participación de todos los actores involucrados para asegurar su efectividad y sostenibilidad.



## 2.4 ANÁLISIS DE LAS IMPLICANCIAS ÉTICAS

La ejecución de este proyecto implica una serie de consideraciones éticas que deben ser abordadas para asegurar la preservación de los principios éticos y bioéticos. A continuación, se detallan las estrategias y acciones que se implementarán para mitigar los riesgos éticos asociados.

**Consentimiento Informado:** Es crucial obtener el consentimiento informado de los trabajadores participantes. Este debe ser claro y detallado, explicando los objetivos del estudio, los procedimientos a seguir, los posibles riesgos y beneficios, y la confidencialidad de la información recolectada. Los trabajadores deben tener la oportunidad de hacer preguntas y retirar su consentimiento en cualquier momento sin repercusiones.

**Confidencialidad y Privacidad:** La información recolectada será manejada con estricta confidencialidad. Los datos personales de los trabajadores serán anonimizados para proteger su identidad. Se implementarán medidas de seguridad para evitar el acceso no autorizado a la información.

**Minimización de Riesgos:** Aunque el estudio implica procedimientos no invasivos como la medida antropométrica y espirometría, es importante minimizar cualquier posible incomodidad o estrés para los trabajadores. Las evaluaciones serán realizadas por personal capacitado y en un ambiente cómodo y seguro. La toma de muestras biológica se hará por personal calificado.

**Análisis de Riesgo-Beneficio:** El estudio muestra un claro beneficio potencial para la salud pública, contribuyendo al conocimiento sobre los factores de riesgo en los trabajadores expuestos al litio que puedan ser abordados mediante políticas de salud y programas de intervención. Este beneficio debe ser comunicado claramente a los participantes.

**Equidad y Justicia:** El estudio asegurará la inclusión equitativa de participantes de diferentes regiones, años de antigüedad laboral y contextos socioeconómicos para evitar sesgos y asegurar que los resultados sean representativos.

**Autonomía:** Respetar la autonomía de los participantes es fundamental. Los trabajadores deberán tomar decisiones informadas sobre su participación sin coerción.

**Validez Científica:** Asegurará que el diseño estudio y los métodos utilizados sean científicamente válidos para obtener resultados fiables y aplicables.

**Comunicación de Resultados:** Los resultados del estudio serán comunicados de manera transparente y accesible a todos los participantes y partes interesadas, asegurando al mismo tiempo la confidencialidad de los datos individuales de cada participante.

**Responsabilidad Social:** El estudio deberá asegurar que los hallazgos se utilicen para mejorar las condiciones de salud y seguridad de los trabajadores.

**Autorizaciones Institucionales:** El estudio requerirá la aprobación de un comité de ética en investigación que evaluará el diseño del estudio, los procedimientos de consentimiento informado y las medidas de protección de los participantes. Además, se necesitarán autorizaciones administrativas de: Instituto de Salud Pública de Chile (ISP), Superintendencia de Seguridad Social (SUSESO), Ministerio de Salud (MINSAL), que participará como organismos asociados y empresas mineras y sus departamentos de salud ocupacional, y municipalidades y servicios de salud locales, según la ubicación de las minas.





## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- <sup>1</sup> Brunton, L. L., Hilal-Dandan, R., & Knollmann, B. C. (Eds.). (2018). *Goodman & Gilman: Las bases farmacológicas de la terapéutica* (13ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- <sup>2</sup> Cade, JFJ. Sales de litio en el tratamiento de la excitación psicótica. *Med J Aust* 1949; 2:349-352
- <sup>3</sup> J Garrabé. La historia de la introducción del litio en medicina y psiquiatría: El nacimiento de la psicofarmacología moderna en 1949. *Salud mental*. 35. 541-544. 2012.
- <sup>4</sup> Domínguez, L., Medina, O., & Cabrera, S. (2006). Intoxicación con litio. *Anales de Medicina Interna, Madrid*. 23(9), 441-445. [citado noviembre 23 de 2024] Disponible en: [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0212-71992006000900010&lng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-71992006000900010&lng=es).
- <sup>5</sup> Manríquez, F. Mosso, L. & Fardella, C. (2024). Efectos endocrinológicos del litio: Mecanismos fisiopatológicos e implicancias clínicas. *Revista médica de Chile*, 152(4), 498-507. [citado noviembre 26 de 2024] Disponible en <[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-98872024000400498&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872024000400498&lng=es&nrm=iso)>.
- <sup>6</sup> Silva, Ana Luísa, et al. "Syndrome of Irreversible Lithium-Effectuated NeuroToxicity." *Acta Médica Portuguesa*, vol. 30, no. 2, 2017, pp. 151-153, [citado noviembre 24 de 2024] Disponible en: <https://doi.org/10.20344/amp.7907>.
- <sup>7</sup> Martínez-Martín, Á., Sánchez-Larsen, Á., Sánchez-Mora, C., Sáez-Povedano, R., & Segura, T. (2021). Intoxicación por litio: la amenaza SILENTiosa. *Revista de Psiquiatría y Salud Mental*, 14(4), 233-234. <https://doi.org/10.1016/j.rpsm.2020.06.006>
- <sup>8</sup> Price, Lawrence H., and George R. Heninger. "Lithium in the Treatment of Mood Disorders." *The New England Journal of Medicine*, vol. 331, no. 9, 1994, pp. 591-598, [citado noviembre 23 de 2024] Disponible en: <https://doi.org/10.1056/NEJM19940901331090>
- <sup>9</sup> Provisional Peer Reviewed Toxicity Values for Lithium. Superfund Health Risk Technical Support Center National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency EPA. 2008.
- <sup>10</sup> Griffith-Jones, S; Vivanco, D; Briones, L. Importancia reciente del litio en la economía chilena. Banco Central de Chile. Agosto 2023
- <sup>11</sup> Litio: Mineral que causa furor y expectativas en la economía chilena. Diario Financiero. Noviembre 2023
- <sup>12</sup> Producción minera de litio en Chile | Disponible en Statista.com. [citado noviembre 13 de 2024].
- <sup>13</sup> U.S. Geological Survey, 2021, Mineral commodity summaries 2021: U.S. Geological Survey, 200 p., Disponible en: <https://doi.org/10.3133/mcs2021>
- <sup>14</sup> Equipo DF. Diario Financiero (Internet). 5 Noviembre 2023 Disponible en: <https://www.df.cl/aniversario/litio-mineral-que-cause-furor-y-expectativas-en-la-economia-chilena>
- <sup>15</sup> H Aral and A Vecchio-Sadus. Toxicity of lithium to humans and the environment—A literature review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2008
- <sup>16</sup> ICSC 0710 – LITHIUM, International Chemical Safety Card, ILO and WHO 2021. Disponible en: [https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=0710](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=0710)
- <sup>17</sup> NJHealth. New Jersey Department of Health. Derecho a saber. Hoja informativa sobre Sustancias peligrosas. Disponible en: <https://www.nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1119sp.pdf>. 2009
- <sup>18</sup> H Aral and A Vecchio-Sadus. Lithium: Environmental Pollution and Health Effects, *Encyclopedia of Environmental Health*, Second Edition, Volume 6. Elsevier. 2019
- <sup>19</sup> Lagerkvist, B. J., & Lindell, B. *Lithium and lithium compounds*. *Arbete och Hälsa*, 16, 1-48. National Institute for Working Life, Suecia. ISBN 91-7045-659-3. (2002).
- <sup>20</sup> Lithium, Substance Infocard, European Chemicals Agency (ECHA). <https://echa.europa.eu/es/brief-profile/-/briefprofile/100.028.274>. Sept 2023
- <sup>21</sup> Hoja Informativa sobre sustancias peligrosas. New Jersey Department of Health <https://www.nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1119sp.pdf> 2009

- <sup>22</sup> Brown, CW, Goldfine, CE, Allan-Blitz, LT. *et al.* Riesgos ocupacionales, ambientales y toxicológicos para la salud de la minería de metales para baterías de iones de litio: una revisión narrativa de la base de datos Pubmed. *J Occup Med Toxicol*, 35 (2024). Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12995-024-00433-6>
- <sup>23</sup> Gbondo, D.; Cerpa-Perez, V.; Pham, N.M.; Zhao, Y.; Rumchev, K. Exposure to Airborne Contaminants and Respiratory Health Among Lithium Mine Workers in Western Australia. *Environments* 2025
- <sup>24</sup> Litio en Chile - Ministerio de Minería de Chile. Recuperado de [minmineria.cl](http://minmineria.cl). (2022).
- <sup>25</sup> Ministerio de Salud. *Estrategia Nacional de Salud para los Objetivos Sanitarios al 2030*. Recuperado de [<https://cens.cl/wp-content/uploads/2022/03/Estrategia-Nacional-de-Salud-al-2030.pdf>]. (2021).
- <sup>26</sup> Ministerio del Trabajo y Previsión Social. Ley N° 16.744 sobre Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales. Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=28650>
- <sup>27</sup> International Organization for Standardization. ISO/TC 333 Lithium. Creation date: 2020. Disponible en: <https://www.iso.org/es/contents/data/committee/80/31/8031128.html>.
- <sup>28</sup> Agencia de Sustentabilidad y cambio climático por Corfo. Acuerdos de Producción Limpia. Disponible en: <https://www.ascc.cl/pagina/apl.2024>
- <sup>29</sup> Olavarría M, Navarrete B, Figueroa V. ¿Cómo se formulan las políticas públicas en Chile? Evidencia desde un estudio de caso. *Política y Gobierno*. Volumen XVIII. PP 109-154. Universidad de Chile; 2011.
- <sup>30</sup> Guía de la OCDE para el cumplimiento regulatorio y las inspecciones. Recuperado de OECD. 2019
- <sup>31</sup> Cliff, D. La gestión de la Salud y Seguridad Ocupacional en la Industria Minera de Australia. International Mining for Development Centre. (2012). Recuperado de IM4DC.
- <sup>32</sup> Instituto de Salud Pública de Chile, “Guía para la identificación y evaluación de riesgos de seguridad en los ambientes de trabajo”. Disponible en: <http://www.ispch.cl/saludocupacional>. Primera versión 2013.