



# **“Barreras para la adopción de la Economía Circular en la Industria Minera de Chile”**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE  
MAGÍSTER EN POLÍTICAS PÚBLICAS**

**Alumna: Orietta Ramírez López  
Profesor Guía: Javier Núñez Errázuriz**

**Santiago, diciembre del 2022**

## I. Introducción

Las consecuencias ambientales, económicas y sociales originadas por el incremento extractivo de materias primas vírgenes para la fabricación de productos ha derivado en una necesidad creciente de que la humanidad cambie la manera en que se está vinculando con el planeta.

Se estima que a nivel mundial se requerirán 3 mil millones de toneladas de minerales y metales al año 2050 para la implementación de energías limpias, a fin de lograr la meta de mantener la temperatura por debajo de los 2°C en el futuro (Banco Mundial, 2020). Sin embargo, esta oportunidad de crecimiento de la industria minera, especialmente del cobre, exige lograr una disminución de sus emisiones de gases de efecto invernadero para que su contribución climática sea mayor a sus impactos, aportando con ello a la generación de valor económico, social y medioambiental. (CircularTec, 2022).

En los países de mayor desarrollo de la OCDE como Estados Unidos, Canadá, Australia, además de los países miembros de la Unión Europea y Reino Unido, China, Corea del Sur y Japón, la aplicación de la EC ha alcanzado una extraordinaria madurez, con alto impacto en su aplicación a la Minería, con alta eficiencia en la recuperación de elementos y eliminación o reducción de residuos, en el reciclaje y reutilización de residuos insertando tales operaciones en un encadenamiento productivo industrial y generando una relación simbiótica con modelos innovadores y tecnológicos. (Corporación Alta Ley, 2021)

El Pacto Verde de la Unión Europea y su Plan de Acción de 2015-2020 (Comisión Europea, 2020) ha sido el referente mundial para el diseño de acciones en países que la conforman, como los países bajos con su plan 2050, El Road Map de Finlandia 2016- 2025 y su actualización, la hoja de ruta actualizada 2021 para Alemania. Se suma también la Visión 2020 de Japón, el XIV Plan Quinquenal de Desarrollo de la Economía Circular 2021 de China, y la Política de Residuos 2018 de Australia, que muestran el compromiso político de avanzar hacia la implementación de este nuevo modelo económico. (CircularTec, 2022)

América Latina y el Caribe han mostrado importantes avances a nivel de políticas públicas, a medida que la Economía Circular es reconocida como un modelo válido para impulsar el desarrollo de los países de la región. Hasta el año 2020 se identificaron 196 iniciativas públicas referidas a temáticas de Economía Circular que se distribuyen en programas (34%), normativas (16%), estrategias (13%) y acuerdos (23%) (Martínez-Cerna et al., 2019). (Ver Anexo N° 1)

En líneas generales, si bien existen avances en materia de compromisos políticos a niveles internacionales y nacionales con el diseño y aprobación de diversas hojas de rutas, estrategias, planes y fondos, lo cierto es que el 2021 sólo un 8,6% de lo que se extrajo regresó a la economía y todo lo demás se desechó, es decir, la brecha de la circularidad del planeta es aún muy grande. (The Circularity GAP Report, 2022).

La llegada de la EC a Chile está aún muy prematura, especialmente, en la minería primaria, sin embargo, existen iniciativas que se han venido adoptando desde lo privado y lo público que deben ser considerados

como pasos iniciales de esta transición productiva, entre ellas, la gestión del consumo de aguas continentales que va a la baja frente al alza que se ha generado de consumo de agua de mar y recirculadas (Cochilco, 2020), o, el consumo eléctrico minero donde el 44% proviene de fuentes limpias y se espera que al 2025 llegue al 62% (Cochilco, 2022).

Chile puede llegar a convertirse en el gran habilitador líder de la economía sustentable del futuro, siempre que su producción sea responsable y sustentable en términos de los consumos de materias primas, tales como recursos fósiles, hídricos y minerales, así como de las emisiones de gases de efecto invernadero, entre otros (Corporación Alta Ley, 2021)

Sin embargo, surge la interrogante acerca de cuáles son las barreras que subyacen para la adopción de la economía circular en la minería de Chile, sobre todo, si a nivel de cifras globales país, las estimaciones macroeconómicas al 2030 son positivas e indican que frente a políticas de economía circular moderada, los efectos en el PIB serían de 1,54%; un 1,9% en el empleo; y, reduciría en cerca de un -7% la emisión de Gases de Efecto Invernadero. (Econometría Consultores, 2022).

## **II. Características del problema y sus tensiones**

La Minería es un sector productivo que ha sido muy relevante para la economía del país. De hecho el 2021 tuvo una participación en el PIB nacional de 14,6%, y si consideramos su efecto multiplicador por encadenamiento productivo (vinculación entre empresas que integran la cadena de valor de las compañías mineras) su participación aumentó a un 26%. No obstante, este crecimiento que ha comenzado a experimentar desde el 2019 y que lo ha acercado a los niveles productivos que tenía hace una década, están sujetos a los desafíos de transitar hacia una minería circular y sustentable, que eleve sus estándares sin perder competitividad en los mercados mundiales. (Banco Central, 2022)

En efecto, Chile al ser líder en la producción de cobre en el mundo se ve enfrentado a una gran oportunidad, pero también al exigente desafío de ser el habilitador de la economía sustentable al 2050. Esto implica un cambio relevante a la forma de producir que tiene actualmente la industria, de tipo lineal, para transitar hacia un modelo productivo circular -bajo en emisiones de carbono- que posicione al cobre chileno como un producto sustentable y diferenciado.

La llegada de la EC al ecosistema minero es más bien reciente, incluso hace sólo 6 años el Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM, en inglés) propuso un camino por donde debía transitar la industria para implementar este nuevo modelo productivo de clase mundial. En Chile, en tanto, la adopción de la circularidad está dando sus primeros pasos, y no ha estado exento de dificultades, sin embargo, existen iniciativas en marcha (recircularidad de las aguas, consumo de agua desalada y energías limpias para consumo eléctrico) que se encaminan hacia la Economía Circular y que deben ser considerados como parte de la transición y aceleración del proceso circular. (CircularTec, 2022)

Desde esa perspectiva, la EC dentro de la industria minera se debe entender desde la globalidad del proceso, es decir, desde el cómo se utilizan los recursos (ej. agua, energía, etc), si existe un manejo eficiente de éstos, cómo se gestionan los desechos, cómo la compañía minera se relaciona con toda la cadena de valor y si se trata de una cadena sostenible además. “Donde existen menos avances y se está promoviendo un impulso fuerte es en la gestión de residuos, específicamente, de los residuos sólidos (relaves) que representan más de la mitad de los residuos” (Angela Oblasser, gerenta de sustentabilidad de Fundación Chile, 2021)

La implementación de la Ley N°20.920 de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), en el año 2016 ha sido un importante apalancamiento de la circularidad en la minería, principalmente, porque ha permitido identificar, entre otras cosas, a productores y consumidores, con sus respectivas responsabilidades. (Lorena Ramírez, Environmental Manager Minerals America de BHP, 2021)

La Política Nacional de Minería al 2050, cuya vigencia data recién del 2021, señala que la transición hacia

una EC no se puede lograr por completo sin una comprensión de los desafíos que se ha trazado el ecosistema minero nacional. Es decir, las metas que se ha propuesto el sector contemplan el liderar el modelo de economía circular a través de la reutilización de residuos y uso eficiente de recursos; la adaptación y mitigación al cambio climático logrando la carbono neutralidad del sector al 2040, y el minimizar los efectos ambientales armonizando el desarrollo de la actividad minera con el medioambiente.

El Estudio de Emisiones GEI en la Cadena de Suministro 2022, desarrollado por el Ministerio de Minería y la Corporación Alta Ley, con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), reflejó como conclusión principal que más del 50% de las emisiones de carbono de la minería están actualmente radicadas en el alcance 3, vinculado a los proveedores de bienes y servicios.

Dicho lo anterior, el enmarcamiento del debate debe centrarse entonces en cómo Chile (sector público y privado) concibe a la gran minería hoy frente a la creciente demanda mundial hacia el 2050, discusión que implicará necesariamente hacerse cargo de tensiones técnicas y políticas que subyacen, para dar paso a la transición de la gran industria hacia una economía circular.

A poco andar, la tensión técnica más relevante que se visualiza está en que las compañías mineras realicen una estrategia de identificación de los aspectos claves para hacer de la circularidad un impulso potenciador, sobre todo frente a proyectos mineros que han sido diseñados sin la existencia de un marco de economía circular y deben incorporar ex post nuevas exigencias sociales y medioambientales, como son el uso de energías renovables, la eficiencia hídrica y el cambio hacia el uso de agua de mar, además de mayores aportes al desarrollo local, entre otras que están en proceso de implementación. De esta forma, la Economía Circular resulta un nuevo vector para la industria. (CircularTec, 2022)

Otro elemento que genera una tensión técnica tiene que ver con creer que solo la tecnología es suficiente para la implementación de la Economía Circular, sin embargo, también se requiere en los modelos de negocios, y en los distintos actores de la cadena de suministros, como los proveedores (André Henríquez, Director ejecutivo del Centro Tecnológico de EC de la Macrozona Norte, 2021)

Otra tensión técnica se da en el contexto de la carencia de empresas de valorización de residuos instaladas en las zonas donde se desarrolla la actividad minera. La economía circular es una oportunidad relevante para los lugares cercanos, pero al alejarse empieza a no ser rentable económicamente (para las compañías). En nuestro país se concentran mayormente en la Región Metropolitana (65%). (Lorena Ramírez, Environmental Manager Minerals America de BHP)

En esa misma línea, se consideran como parte de ‘los pendientes’ que generan tensión técnica que no se incorpore aún a toda la cadena productiva (proveedores, etc.) ni se construyan líneas base que permitan medir la sustentabilidad, pues si no se mide, no se mejora. (BHP, 2021)

La baja inversión en I+D es una de las limitantes que generan tensión, sobre todo, si se piensa en la necesidad de impulsar innovación de base tecnológica orientada a dar soluciones medioambientales a la industria minera. La figura N° 1 muestra que entre el 2017 y el 2020 el Gasto en I+D ha estado en torno al 0,35% del PIB; y la Inversión en Innovación también a la baja. “Chile continúa por debajo de los países de la OCDE, quienes invierten en promedio un 2,68% del PIB” (Ministerio de Ciencias y Tecnología, 2022). Hoy, la gran minería chilena está abasteciéndose de soluciones tecnológicas 4.0 en países como Australia, por ejemplo. (Revista Minería Chilena, 2022)

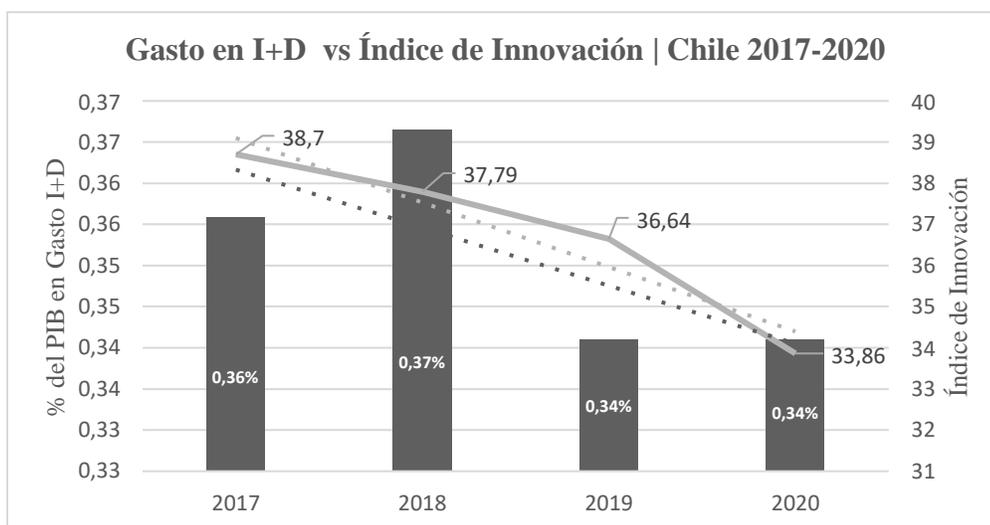


Figura 1. Muestra la relación descendente entre el % del PIB destinado a I+D y el Índice de Innovación.  
Fuente: Elaboración propia con datos GII y OCDE.

Relevante es también la tensión política que se genera en las expectativas de las comunidades sobre los territorios en los que opera la actividad minera, pues si bien la EC actúa generando valor, las zonas en donde se emplaza la actividad están distantes de los centros urbanos y servicios, y termina siendo la industria la que se ve presionada a responder ante demandas sociales que son legítimas, pero que son de responsabilidad del Estado. (CircularTec, 2022)

Otro elemento que gatilla una tensión política y que además puede ser técnica, está relacionado a la Fuerza Laboral dentro de la Gran Minería, particularmente, la proporcionalidad de trabajadores vinculados contractualmente a las empresas mineras de forma directa (1 de cada 4), como aquellos que tienen dependencia de las empresas proveedoras. El avanzar hacia una Economía Circular requiere que los proveedores y sus propias cadenas de valor estén también alineadas a los principios de la circularidad. La actividad minera –desde el ángulo del capital humano– depende mayormente de sus externos, por tanto, se deben entender como socios estratégicos para alcanzar la sustentabilidad.

A lo anterior, podemos añadir que la baja cooperación de la industria con otras (industrias), ha conllevado a que cada cual resuelva sus problemas solos. No existe una cultura de cooperación ni de co-creación de soluciones. Las soluciones de circularidad requieren comprender y aplicar el concepto de simbiosis industrial. (CircularTec, 2022).

Un caso interesante es lo que ocurre en Australia con los Ecoparques Industriales Kwinana en Australia Occidental y Gladstone en Queensland también en Australia, desarrollando asociaciones y sinergias industriales para llevar a cabo el aprovechamiento y la reutilización de los residuos para crear productos y riqueza. (Halog et al., 2021). En el caso de Chile, la información disponible da cuenta que Ecoparques industriales de similares características a los mencionados no existen. (Ovalle A., 2018)

La debilidad de la cadena de proveedores locales circulares se identifica también como una problemática, y es allí donde la industria tiene un desafío de avanzar hacia una cadena de valor que combine proveedores grandes (Estudio de Caracterización de Proveedores de la Minería Chilena, Expande 2018) que ya tienen estrategias globales de Economía Circular con proveedores locales de distinto tipo, tamaño, capacidad financiera, competencias técnicas, entre otras, que deberán implementar modelos circulares a sus procesos y productos. (CircularTec, 2022)

Otro aspecto que caracteriza y tensiona la adopción de la EC en la Minería es esa ‘brecha de conocimiento’, en la que aún no se tiene claridad del todo qué debe entender la industria como EC, sus alcances y de cómo debe ser aplicada (CircularTec, 2022), lo que se suma además a que el número de profesionales expertos en EC es

aún acotado y que la formación de pre y post grado está en una fase incipiente. (Estudio de Caracterización de Proveedores de la Minería, Expande 2019).

Tanto las tensiones técnicas como políticas plantean dos grandes retos: Por un lado, un gran desafío a la gran industria como principal motor de la economía chilena con proyecciones de demanda global sin precedentes que pueden significar un cambio económico no visto en la historia de Chile; y, por otro, un gran desafío al sector público (Estado + Gobierno) como gran articulador y facilitador para que el ecosistema minero de clase mundial logre flotar en el mar de exigencias productivas sostenibles.

### III. Metodología

Este documento consideró la revisión de artículos que se recopilaron desde las bases de datos Scopus, Web of Science (WOS), Google Académico y Google.

La primera fase de la recopilación implicó la identificación de los criterios de inclusión adecuados para este análisis, entre ellos: el año de publicación, palabras claves y el idioma. En general, solo se seleccionaron los artículos que citaban “Economía Circular” que estaban escritos en español e inglés y que se publicaron entre 2017 y 2022. Esta búsqueda arrojó en Scopus un total de 685 artículos.

La segunda etapa de la revisión consistió en la búsqueda de artículos que tuvieran pertinencia limitándose al ámbito de la “Minería”, por lo que la palabra clave utilizada fue “Economía circular en Minería”. Se limitó además a áreas temáticas como Ciencias Medioambiental, Ingeniería y Energía. Asimismo, por ser Chile el primer productor de cobre en el mundo y representar esta industria más de 90% de la minería nacional, se filtró por países que estuviesen dentro de los 6 primeros productores de Cobre en el mundo, entre ellos, China, Estados Unidos, Perú, Rep del Congo y Australia. Se añadió Canadá porque es una de las naciones mineras más importantes del mundo, con una extracción de más de 60 metales y minerales aportando este sector cerca del 8% a su PIB, una realidad cercana a la nacional. Además se agregó a la Comunidad Económica Europea (CEE) y Reino Unido, por la madurez alcanzada en la Economía Circular aplicada a la industria general y también minera. Esto dio como resultado un total de 71 documentos.

En el caso de los buscadores Web of Science (WOS), Google Académico y Google tradicional, la búsqueda se focalizó hacia Informes, Reportes y Noticias (escrita y audiovisual) bajo palabras claves como ‘Economía Circular’, ‘Planes’, ‘Programas’, ‘Hojas de Ruta’, ‘Minería’, ‘Sustentabilidad’ y “I+D+i”. Se aplicaron los mismos filtros relacionados a los 6 países principales productores de cobre, además de Canadá, la Comunidad Económica Europea y Reino Unido, para el mismo rango de tiempo (2017-2022). En idioma inglés y español. La búsqueda arrojó un total de 53 resultados, de los cuales 36 tenían la pertinencia para este análisis.

A partir de esta metodología de literatura comparada, tal como se muestra en la Tabla N° 1, se buscó identificar las principales variables que están impactando negativamente en la adopción de la Economía Circular en la Minería, particularmente, de Chile; frente a lo cual se categorizaron en: a) Barreras externas a la industria minera b) Barreras internas (todo aquello que compete a la industria desde la toma de decisiones) c) Cadena de Valor d) Normativas asociadas. Esto permitió una comprensión sistémica del problema que afecta hoy a la Minería en su tránsito hacia la EC.

**Tabla N°1 Barreras para la adopción de la Economía Circular (EC) en la Industria Minera de Chile**

Barreras externas industria	Barreras de la industria	Cadena de Valor	Normativas
Baja inversión en I+D. Chile está bajo el promedio OCDE. La inversión para la	Mentalidad Conservadora. La industria aplica un modelo lineal de	Altos niveles (+50%) de Emisión GEI por los	Falta de normativas que incentiven los procesos de circularidad en la industria. Ley REP

<p>Innovación también ha venido a la baja.</p> <p>Incertidumbre normativa: Incertidumbre por Reforma Tributaria, Royalty Minero. Inestabilidad política, Social y económica.</p> <p>Comunidades más empoderadas frente a los impactos negativos que genera la actividad minera. Licencia Social para Operar (LSO) cada vez más exigente.</p> <p>Actividad minera distante de centros urbanos, Industria minera presionada para responder a demandas sociales que, en no pocos casos, son responsabilidad del Estado.</p> <p>Bajo número de profesionales expertos en Economía Circular en el mercado. Formación de pre y postgrado muy incipiente.</p> <p>Falta de Cooperación Internacional para impulsar concertadamente la EC en la Industria minera.</p> <p>Falta de data sobre la circularidad en los proyectos que se están comenzando a implementar este año en Chile. Suman 9 y están valorizados en USD 5.401 millones.</p>	<p>producción que mide resultados en base a cumplimiento de metas y rentabilidad (accionistas). Utiliza tecnología estándar que ya ha sido probada internacionalmente.</p> <p>Baja disposición a la innovación. Desarrolla proyectos que han sido concebidos sin el enfoque de economía circular.</p> <p>(A nivel mundial donde Chile lidera el mercado) Capacidad productiva limitada frente a la demanda de cobre. Se proyecta un consumo de 30 mill/ton al 2030, pero aun teniendo todos los proyectos operativos, sólo se llegará a 25 mill/ton de cobre (IMCC, 2021)</p> <p>Proyectos mineros que han sido diseñados sin la existencia de un marco de EC.</p> <p>Economía chilena es pequeña, por lo que no es rentable abordar una economía circular muy amplia, sino solo proyectos factibles y rentables.</p> <p>Baja cooperación y co-creación de soluciones circulares entre las industrias. Cada cual resuelve sus problemas. No hay mirada de simbiosis industrial.</p> <p>Brecha de conocimiento en la industria acerca de lo que se debe entender</p>	<p>proveedores de bienes y servicios de la minería.</p> <p>Necesidad de modelos de negocios con enfoque de circularidad.</p> <p>Baja capacidad instalada de empresas en las zonas de actividad minera para reciclar y/o valorizar residuos.</p> <p>Ausencia de líneas bases para medir sustentabilidad de proveedores. ‘Si no se mide, no se mejora’.</p> <p>3 de cada 4 trabajadores de la Minería son externos. No necesariamente alineados a principios de la circularidad.</p> <p>Cadena de proveedores locales circulares debilitada frente a proveedores grandes de clase mundial que ya tienen estrategias globales de EC.</p>	<p>aplica, por ahora, a neumáticos de camiones mineros.</p> <p>Mayor articulación entre leyes y reglamentos que tienen incidencia en la implementación de la EC.</p> <p>Falta de incentivos tributarios, legales, para transitar de la Economía Lineal a la EC.</p> <p>Cuerpos normativos recientes: Ley Marco de Cambio Climático (2022), Política Nacional de Minería 2050 (2021), Hoja de Ruta hacia la Economía Circular (2020), y Estrategia de Hidrógeno Verde (2021). La Ley REP si bien se promulgó el 2016, sus plazos de exigencia para cumplimiento comenzarán (para la minería) el 2023.</p>
--	---	---	--

como EC, sus alcances y cómo ser aplicada.

Disparidad de data y de información consolidada y comparable. Existen informes parciales respecto de la cantidad de residuos masivos minero (relaves, etc).

Fuente: Elaboración propia basada en los artículos revisados.

En la Tabla N° 2, se analizaron las barreras que tuvo la Industria de la Minería australiana –país con mayor desarrollo de Simbiosis Industrial Minero- con respecto a la implementación de la Economía Circular. Se categorizó en: a) Barreras Externas, y en b) Barreras Internas de la propia Industria. Asimismo, frente a las barreras diseñaron Estrategias que se categorizaron como: c) Estrategias para el periodo 2020-2023 (Halog A, 2021), y d) acciones concretas.

**Tabla N°2 Barreras y Estrategias de Implementación EC en la Industria Minera en Australia**

Barreras Externas	Barreras Internas	Estrategias 2020-2023	Acciones Concretas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recesión económica inducida por la pandemia de COVID-19.</li> <li>• Falta de accesibilidad y disponibilidad de datos.</li> <li>• Normativa sobre modelos de negocio alternativos.</li> <li>• Disparidad de datos e información.</li> <li>• Falta de incentivos o de elección para cambiar el comportamiento de lineal a circular.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo precio de los recursos útiles y el bajo costo de la eliminación de residuos.</li> <li>• La confidencialidad y las cuestiones comerciales (Visibiliza información a terceros).</li> <li>• Que el negocio principal sea más rentable pero ineficiente en los procesos.</li> <li>• La distancia que existe entre las empresas para la reutilización de subproductos y, además, la disponibilidad de tecnologías de recuperación fiables.</li> <li>• No buscar nuevas oportunidades a lo largo de toda la cadena.</li> <li>• El fuerte enfoque en el reciclaje de materiales y la falta de datos para</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reponer los Stocks y repensar su uso (rethink value)</li> <li>• Diseño para energías renovables y ciclos de recursos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer un sistema regional y nacional de: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuentas del medio ambiente-evaluar la salud de las existencias</li> <li>- Cuentas de residuos-identificar el valor de los recursos disponibles</li> <li>- Objetivo de productividad-recursos y energía.</li> </ul> </li> <li>• Aprovechar la transición hacia energía renovable en todo el mundo. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Exportar minerales responsables.</li> <li>- Ciclos de recursos, logística inversa.</li> </ul> </li> </ul> <p>Gestión: diseñar para recrear</p> <p>-Construir el conocimiento y el</p>

justificar nuevas inversiones.	intercambio de información.
<ul style="list-style-type: none"> <li>Aprovechar la innovación disruptiva para la producción y el consumo 2.0</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fabricación con valor agregado.</li> <li>-Nuevos modelos de negocio para la era digital</li> <li>- Potenciar el papel de las empresas sociales y las organizaciones sin fines de lucro.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Aprovechar los conocimientos y las redes en nuevos mercados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>De la ciencia y la tecnología a la minería.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia basada en los artículos revisados.

#### IV. Análisis

La evidencia analizada permite identificar las dificultades técnicas y políticas que subyacen en la industria minera chilena para la adopción de la EC, siendo la principal la mentalidad conservadora que está permeando el proceso transformador al que Chile debe incorporarse de lleno, si es que efectivamente comprende (sobre todo los tomadores de decisiones) que el mundo está reconfigurando su desarrollo económico en clave sustentable, vale decir, anteponiendo una economía regenerativa que apunte a restablecer el perdido equilibrio entre el ser humano y los ecosistemas, desprendiendo el consumo del medio ambiente.

Desde esa lógica, entonces, Chile en su condición de liderazgo frente a la producción de cobre en el mundo, (y del Litio de forma pujante) tiene a su favor un gran futuro como habilitador de la transición del mundo hacia las tecnologías limpias para combatir el cambio climático, pero debe volver sostenible la industria para que el impacto que genere en la disminución de emisiones GEI a nivel global sea mayor al de su producción.

Al pasar al siguiente nivel de análisis, se observa la ausencia de una mirada sistémica de la minería y un predominio de desempeños independientes entre las distintas industrias, donde cada cual ha venido resolviendo sus problemas solos. Los acopios de residuos mineros mayores (relaves) y menores (pallets de madera, plástico, textil, etc), por ejemplo, dan cuenta que frente a problemas comunes, soluciones individuales. No existe una cultura de simbiosis industrial, ni de cooperación ni de co-creación de soluciones circulares.

Desde una mirada país, al analizar la barrera tecnológica del sector se observa que la inversión país en I+D se ha mantenido a la baja durante la última década (0,34% del PIB), incluso por debajo de la media OCDE (2,68 %del PIB), lo que ha gatillado una baja en la productividad, y un decreciente desarrollo de tecnología como base para la EC. Chile hoy está comprando tecnología afuera.

Otro aspecto que tras ser analizado se identifica como barrera de la EC es que la cadena de valor (2 y 3) de la industria tampoco opera bajo una lógica sistémica de socios estratégicos con sus proveedores. La ausencia de líneas bases para medir la sustentabilidad de sus proveedores impide mejoras, ralentiza la implementación de tecnología habilitante para la adopción de la EC, y dificulta la transformación de sus modelos de negocios al enfoque circular.

Al analizar el momento político país junto a la crisis social y económica que atraviesa, sumado a una reforma tributaria y un royalty minero que se discute en el parlamento, se convierten también en barreras

que ralentizan la transformación hacia procesos circulares, y ante la incertidumbre se generan desincentivos. Recientemente, se añade otro elemento que es la ralentización en la revisión de 13 proyectos de inversión por el Comité de Ministros por US 11.071 millones (LT Pulso 21 noviembre 2022).

Respecto de los impactos económicos que la implementación de la EC genera en la Minería, en general existe escasa información, sin embargo, se destaca un estudio de la CEPAL publicado en el primer semestre de este año referido a un Modelamiento de los efectos macroeconómicos de la transición a la economía circular para Latinoamérica al 2030, en países como Chile, México, Colombia y Perú, aplicado en metas de reducción de uso de 4 materias primas: plástico, metales, materiales de construcción y combustibles fósiles. Las variables de interés: PIB, Emisiones y Empleo. El año base es el 2018.

Se analizaron los datos a nivel macroeconómico, bajo un modelo de consistencia dinámica, y se llegó a la conclusión que –en un escenario moderado de metas circulares- los efectos son positivos tanto en el PIB aumentando un 1,54%, Empleo en 1,8% y en Emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) se produce una baja de -7%. Ahora bien, al abrir estas cifras globales y analizar el sector de la Minería y Petróleo de Chile (que por efectos metodológicos se estableció una agregación sectorial común para los cuatro países), se concluye que en el caso del PIB se ve afectado de forma negativa marginal en un 0,54% al 2030 frente a su aporte de un 12% en la economía.

En el caso del empleo, la estructura del modelo asume que la relación entre la remuneración total de los trabajadores de un sector y su nivel de empleo es constante, lo cual genera una correlación importante entre el PIB y el nivel de empleo. Para el caso del sector de la Minería y Petróleo es de 0%.

Y en el caso de las Emisiones GEI de la Minería y Petróleo al 2030, la aplicación de medidas moderadas de economía circular genera un impacto positivo con la reducción de 999 mil toneladas de CO<sub>2</sub> debido al efecto de sustitución que tiene en el modelo el consumo de combustibles a otro tipo de fuentes energéticas como la electricidad.

Ahora bien, en un análisis de la Industria Minera en Australia, se constató –a través del estudio de Halog et al, 2021- que las barreras que dificultan la implementación de la EC guardan relación con escenarios externos como: la recesión económica generada por la pandemia de COVID-19; la falta de accesibilidad y disponibilidad de data, la ausencia de una normativa sobre modelos de negocio alternativos, la disparidad de datos e información, y la falta de incentivos o de elección para cambiar el comportamiento de lineal a circular. Asimismo, barreras internas o propias de las industrias relacionadas a: un bajo precio de los recursos reutilizados, bajo costo de la eliminación de residuos, que el negocio principal sea más rentable que hacer más eficiente sus procesos, la distancia entre las empresas para la reutilización de subproductos, y que no se buscan nuevas oportunidades a lo largo de toda la cadena de valor.

## **V. Conclusiones y recomendaciones**

La mentalidad conservadora de los tomadores de decisiones de la industria minera. Sigue vigente la medición lineal de resultados en base a cumplimiento de metas y rentabilidad de los accionistas. La recomendación está en aumentar los niveles de conocimiento y formación sobre EC en tomadores de decisiones.

Bajos niveles de inversión país en I+D en la última década. Chile hoy está comprando tecnología en países desarrollados como Australia y Reino Unido. La recomendación está en incrementar los niveles de inversión en I+D con foco en tecnología para la minería, con base en EC.

Ausencia de una mirada de conjunto, de ecosistema cooperativo y de co-creación de soluciones circulares ha sido un obstáculo para el entendimiento que el trabajo concatenado tiene impactos positivos. La solución está en desarrollar una cultura de simbiosis industrial. A problemas comunes, soluciones comunes.

Más del 50% de las emisiones GEI son de EA3, es decir, de los proveedores. La recomendación está medir sus niveles de circularidad e incorporación de tecnología en sus operaciones. Generar incentivos financieros para transitar hacia la EC, a objeto de fortalecer y hacer sostenible la cadena de valor.

El estudio de modelamiento macroeconómico para medir los efectos de la política de la EC en 4 países LATAM es un valioso insumo que permite dar contexto y base para tomar decisiones y para generar incentivos de EC, sin embargo, al revisar el sector de la Minería en Chile el dato no está depurado. La recomendación sería generar nuestra propia data y un modelo de consistencia dinámica como herramienta.

Comparativamente, las barreras externas de Australia y Chile pueden ser aplicables a ambas realidades. No obstante, dada la etapa temprana de transición hacia la EC de Chile, lo referido a barreras internas sólo aplican las últimas tres barreras identificadas en Australia. La recomendación sería seguir de cerca los procesos de implementación y estrategias australianas en EC para importar las mejores acciones.

## Referencias

1. Akinade O., Oyedele L., Oyedele A., Davila Delgado J.M., Bilal M., Akanbi L., Ajayi A.,Owolabi H. (2020) Design for deconstruction using a circular economy approach: barriers and strategies for improvement. [Link](#).
2. Araya N., Ramírez Y., Kraslawski A., Cisternas L., (2021) Feasibility of re-processing mine tailings to obtain critical raw materials using real options analysis, Journal of Environmental Management, Volume 284, 2021, 112060, ISSN 0301-4797. [Link](#)
3. Arvind Upadhyay, Tim Laing, Vikas Kumar, Manoj Dora, (2021) Exploring barriers and drivers to the implementation of circular economy practices in the mining industry, Resources Policy, Volume 72. [Link](#)
4. Benjamin I. Oluleye, Daniel W.M. Chan, Timothy O. Olawumi, (2022) Barriers to circulareconomy adoption and concomitant implementation strategies in building construction and demolition waste management: A PRISMA and interpretive structural modeling approach, Habitat International, Volume 126. [Link](#).
5. Batterham J., (2017) The mine of the future – Even more sustainable, Minerals Engineering, Volume 107, 2017, Pages 2-7, ISSN 0892-6875. [Link](#)
6. Bergeaud, A., Cette, G. & Lecat, R. (2018). Long-Term Growth and Productivity Trends:Secular Stagnation or Temporary Slowdown?. Revue de l'OFCE, 157, 37-54. [Link](#)
7. Canadian Mining Journal. (2020). Aproximación a la circularidad en la minería. 10 agosto 2022, de Canadian Mining Journal Sitio web: [Link](#)
8. Circular, P. and Circular, P., (2022). Economía circular en minería: los principales desafíos que enfrenta la industria para generar valor económico, social y ambiental - PaísCircular. [online] País Circular. [Link](#)
9. Comisión Chilena del Cobre (2021), Dirección de Estudios y Políticas Públicas, Identificación de oportunidades mediante la implementación de la Economía Circular en minería secundaria del cobre. [Link](#)
10. Congreso Futuro. (2020). Congreso Futuro - Economía Circular por Petar Ostojic (2020).11 agosto

2022, de Petar ostójico Sitio web: [Link](#)

11. Consejo Minero. Estudio Fuerza Laboral Gran Minería Chilena 2021 – 2030. Demanday brechas de Capital Humano (2021). [Link](#)
12. CNN Chile. (2021). Angela Oblasser y la economía circular en minería: “El sector minero es el que va a impulsar la transición verde”. 09 agosto 2022, de Programa Minería 360 Sitio web: [Link](#)
13. Deloitte. (2022). ¿Qué le espera a la industria minera en 2022? Explore las 10 principales tendencias que darán forma a la industria en los próximos 12-18 meses. 05 agosto 2022, de Deloitte web: [Link](#)
14. De la Torre de Palacios, Luis; Espí Rodríguez, José Antonio (2022) In mining, not everything is a circular economy: Case studies from recent mining projects in Iberia. Resources Policy, 78, art. no. 102798. [Link](#).
15. Econometría Consultores (2022), Modelamiento de los efectos macroeconómicos de la transición a la economía circular para Latinoamérica: casos de Chile, Colombia, México y Perú. Documentos de Proyectos CEPAL-Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Euroclima-Ministerio de Medio Ambiente de Chile. [Link](#)
16. Economía circular y políticas públicas. Estado del arte y desafíos para la construcción de un marco político de promoción de economía circular en América Latina. (2019) [Link](#)
17. Estudio Consumo de agua en la minería del cobre al 2019. Dirección de Estudios y Políticas Públicas. DEPP 14/2020. [Link](#)
18. Estudio Proyección del consumo de energía eléctrica en la minería del cobre 2021-2032. Dirección de Estudios y Políticas Públicas. DEPP 02/2022 [Link](#)
19. EU Environment. (2022). En la Vía Verde #LaPistaVerde campaña moviliza a los jóvenes en la lucha para proteger y restaurar nuestro mundo natural. 05 agosto 2022, de EU Environment Sitio web: [Link](#)
20. Flores M.I.V., Schüler A.V., Bernal S.G. (2021) Attitudes toward the Circular Economy: Views from the Perspective of Students of Industrial Design and Manufacturing Engineering International Journal of Learning in Higher Education, 28 (1), pp. 75 - 84, [Link](#)
21. Fundación Chile. (2021). Expertos coinciden en que un avance más acelerado en economía circular demanda el trabajo colaborativo entre los actores territoriales. 10 agosto 2022, de Sitio web: [Link](#)
22. Gahona-Flores O. (2021) Selection criteria for sustainable suppliers in the supply chain of copper mining in Chile. Ingenieria e Investigacion, 41 (2), art. no. e89641, [Link](#)
23. Ghisellini Patricia, Ulgiati Sergio, (2020) Circular economy transition in Italy. Achievements, perspectives and constraints, Journal of Cleaner Production, Volume 243, 2020, 118360, ISSN 0959-6526. [Link](#)
24. Glenn A. Aguilar-Hernandez, João F. Dias Rodrigues, Arnold Tukker, (2021). Macroeconomic, social and environmental impacts of a circular economy up to 2050: A meta-analysis of prospective studies, Journal of Cleaner Production. [Link](#)

25. Halog, A., Balanay, R., Anieke, S. et al. (2021) Economía circular en Australia: evaluación del progreso y las lecciones. *Circ.Econ.Sust.* 1 [Link](#)
26. Huilong Li, Xinyuan Wei, Xinyu Gao, (2021) Objectives setting and instruments selection of circular economy policy in China's mining industry: A textual analysis, *Resources Policy*, Volume 74, 2021, 102410, ISSN 0301-4207. [Link](#)
27. Jaeger, B. and Upadhyay, A. (2020), "Understanding barriers to circular economy: cases from the manufacturing industry", *Journal of Enterprise Information Management*, Vol. 33 No. 4, pp. 729-745. [Link](#)
28. Lèbre Éléonore, Glen Corder, Artem Golev Publicado por primera vez: 15 mayo 2017. [Link](#)
29. Lúcia Helena Xavier, Ellen Cristine Giese, Ana Cristina Ribeiro-Duthie, Fernando Antonio Freitas Lins, (2021) Sustainability and the circular economy: A theoretical approach focused on e-waste urban mining, *Resources Policy*, Volume 74, 101467, ISSN 0301-4207. [Link](#)
30. Marín Oscar, Kraslawski Andrzej, Cisternas Luis A., (2022) Estimating processing cost for the recovery of valuable elements from mine tailings using dimensional analysis, *Minerals Engineering*, Volume 184, 2022, 107629, ISSN 0892-6875. [Link](#)
31. Martínez-Cerna, L., Henríquez-Aravena, A., & Freire-Castello, N. (2019). Economía circular y políticas públicas (Konrad-Adenauer-Stiftung e.V. (KAS) (ed.)). Konrad-Adenauer-Stiftung e.V. (KAS). [Link](#)
32. Meisam Ranjbari, Michael Saidani, Zahra Shams Esfandabadi, Wanxi Peng, Su Shiung Lam, Mortaza Aghbashlo, Francesco Quattraro, Meisam Tabatabaei, (2021) Two decades of research on waste management in the circular economy: Insights from bibliometric, text mining, and content analyses, *Journal of Cleaner Production*, Volume 314, 2021, 128009, ISSN 0959-6526. [Link](#)
33. Mineras chilenas apuestan por soluciones desarrolladas en Australia. (2022). Recuperado 8 de septiembre de 2022, de Revista Minería Chilena website [link](#)
34. Ministerio del Medio Ambiente. (2020). Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040.2020, de MMA Sitio web: [Link](#)
35. Ministerio de Minería. Política Nacional Minera. Minería 2050. (2022) [Link](#)
36. OECD. (2022). 14ta edición del Foro Económico Internacional sobre América Latina y el Caribe: Estrategias verdes para América Latina y el Caribe. 06 agosto 2022, de OECD. Sitio web: [Link](#)
37. Orlando G.-F. (2020) Management of suppliers in the copper mining supply chain in Chile, *Revista Venezolana de Gerencia*, 25 (92), pp. 1671 - 1683, Cited 2 times. DOI: 10.37960/rvg.v25i92.34288. [Link](#)
38. Ormazabal Marta, Prieto-Sandoval Vanesa, Rogério Puga-Leal, Carmen Jaca, (2018) Circular Economy in Spanish SMEs: Challenges and opportunities, *Journal of Cleaner Production*, Volume 185. [Link](#)
39. Ovalle, A. (2018). Propuesta de modelo de simbiosis industrial en Chile: aplicación al parque industrial de La Reina. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de Chile. [Link](#).

40. Päivi H.-M. Kinnunen, Anna H. Kaksonen, (2019) Towards circular economy in mining: Opportunities and bottlenecks for tailings valorization, *Journal of Cleaner Production*, Volume 228, 2019, Pages 153-160, ISSN 0959-6526. [Link](#)
41. Poveda Bonilla, (2021) “Estudio comparativo de las políticas públicas de encadenamientos productivos del cobre en Chile, el Ecuador y el Perú”, *Documentos de Proyectos (LC/TS.2021/90)*, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). [Link](#)
42. Qi, Yu, Ruying Gong, Xianlai Zeng y Junfeng Wang. 2022. "Examen de los modelos temporales y espaciales de la economía circular de China en función de datos detallados del reciclaje de plástico electrónico" *Revista internacional de investigación ambiental y salud pública* 19, no. 5: 2807. [Link](#)
43. Rajesh Kumar Singh, Anil Kumar, Jose Arturo Garza-Reyes, Marcelo M. de Sá, (2020) Managing operations for circular economy in the mining sector: An analysis of barriers intensity, *Resources Policy*, Volume 69. [Link](#)
44. *Revolución Circular*. (2022). Podcast 98. Karin Eggers - KPMG: ESG y Economía Circular en Servicios de Auditoría, Asesoría y Consultoría. 08 agosto 2022, de *Revolución Circular*. Sitio web: [Link](#)
45. *Revolución Circular* Petar Ostójić. (2022). Cap 79. Codelco: Minería, Economía Circular y 5 Compromisos de Desarrollo Sustentable. 10 agosto 2022, de *Revolución Circular* Sitio web [Link](#)
46. *Revolución Circular*. (2022). Podcast 96. Luis Cecchi - OCDE: Perspectivas Económicas y Desarrollo Sostenible de América Latina. 06 agosto 2022, de *Revolución Circular* Sitio web: [Link](#)
47. Scapini V., Berrios P. (2021) CIRCULAR ECONOMY in CHILE: BACKGROUND, LAW and OPPORTUNITIES *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 253, pp.185-194. [Link](#)
48. Serrano T., Aparcana S., Bakhtiari F., Laurent A. (2021) Contribution of circular economy strategies to climate change mitigation: Generic assessment methodology with focus on developing countries (2021) *Journal of Industrial Ecology*, 25 (6), pp. 1382 – 1397. [Link](#)
49. Sharfuddin Ahmed Khan, Muhammad Shujaat Mubarik, Sanjoy Kumar Paul, (2022) Analyzing cause and effect relationships among drivers and barriers to circular economy implementation in the context of an emerging economy, *Journal of Cleaner Production*, Volume 364. [Link](#)
50. Sunil Luthra, Sachin Kumar Mangla, Joseph Sarkis, Ming-Lang Tseng, (2022) Resource melioration and the circular economy: Sustainability potentials for mineral, mining and extraction sector in emerging economies, *Resources Policy*, Volume 77. [Link](#)
51. Tayebi-Khorami, Maedeh, Mansour Edraki, Glen Corder, and Artem Golev. (2019). "Re- Thinking Mining Waste through an Integrative Approach Led by Circular Economy Aspirations" *Minerals* 9, no. 5: 286. [Link](#)
52. Tapia-Ubeda, Francisco J., José A. Isbej Muga, and Diego A. Polanco-Lahoz. 2021. "Marco Greening Factor que integra la sostenibilidad, la gestión de la cadena de suministro verde y la economía circular: el caso chileno" *Sostenibilidad* 13, no. 24: 13575. [Link](#)
53. *The Circularity Gap Report 2022*. [Link](#)
54. Vargas, John Paul, Angélica Patricia Muñoz Lagos, José William Feriz Towers, Ian Scott Kinney,

Sebastián Pérez Cortés, and John Paul Hurtado. 2022. "Logrando la Circularidad a través de Nuevos Sistemas de Producto-Servicio en la Industria Minera: Una Oportunidad para la Circularidad" *Sustentabilidad* 14, no. 6: 3614. [Link](#)

55. Vidyadhar V. Gedam, Rakesh D. Raut, Ana Beatriz Lopes de Sousa Jabbour, (2021) Nishant Agrawal, Moving the circular economy forward in the mining industry: Challenges to closed-loop in an emerging economy, *Resources Policy*, Volume 74. [Link](#)
56. Xianlai Zeng, Tongxin Xiao, Guochang Xu, Eva Albalghiti, Guijuan Shan, Jinhui Li, (2022) Comparing the costs and benefits of virgin and urban mining, *Journal of Management Science and Engineering*, Volume 7, Issue 1, 2022, Pages 98-106, ISSN 2096-2320. [Link](#)
57. Yun Hu, Zongguo Wen, Jason C.K. Lee, Enhua Luo, (2017) Assessing resource productivity for industrial parks using adjusted raw material consumption (ARMC), *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 124, 2017, Pages 42-49, ISSN 0921-3449. [Link](#)

**PROGRAMAS, NORMATIVAS, ESTRATEGIAS Y ACUERDOS DE ECONOMÍA CIRCULAR EN ALC**

País	Nombre Iniciativa	Gestor	N° Iniciativas
<b>Argentina</b>	Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos 2005-2025	Ministerio de Salud y Ambiente	6
<b>Bolivia</b>	Ley N° 755 sobre Gestión Integral de Residuos, 2015	Ministerio de Medio Ambiente y Agua	2
<b>Brasil</b>	Ley N° 12,305 Política Nacional de Residuos Sólidos, 2010	Ministerio del Medio Ambiente	3
<b>Chile</b>	Centro de Economía Circular Macrozona Norte, 2019	Corfo	17
<b>Colombia</b>	Estrategia Nacional de Economía Circular 2018-2022	Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible	3
<b>Costa Rica</b>	Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos, 2010-2021	Ministerio de Salud	5
<b>Cuba</b>	Política para Implementar el Reciclaje de Materias Primas, 2012	Ministerio de las Industrias	1
<b>Ecuador</b>	Pacto por la Economía Circular, 2019	Ministerio del Ambiente y UE	7
<b>El Salvador</b>	Plan El Salvador Sustentable al 2030	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales	5
<b>Guatemala</b>	Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos, 2015	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales	1
<b>Honduras</b>	Reglamento para el Manejo Integral de los Residuos Sólidos, 2010	Secretaría de Recursos naturales y Ambiente	1
<b>México</b>	Plan de Acción para una Economía Circular, 2019	Gobierno de la Ciudad de México	2
<b>Nicaragua</b>	Política Nacional sobre Gestión Integral de los Residuos, 2004-2023	Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales	2

<b>Panamá</b>	Ley N° 33 Basura Cero, 2018	Municipios y Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliario	4
<b>Paraguay</b>	Ley N° 3956/09 sobre Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2017	Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible	4
<b>Perú</b>	Eje Estratégico “Perú Limpio”, 2016	Ministerio del Ambiente	8
<b>Puerto Rico</b>	Ley N° 411 para crear un Programa de Reducción y Reciclaje de los Desperdicios Sólidos en Puerto Rico, 2000	Autoridad Desperdicios Sólidos	3
<b>República Dominicana</b>	Creación de la Comisión Interinstitucional de Alto Nivel para el Desarrollo Sostenible, 2016	Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo	3
<b>Uruguay</b>	Programa de Oportunidades Circulares, 2018	Multiministerial	4
<b>Venezuela</b>	-	-	0