



# Indicadores de Economía Circular en la Minería Chilena

---

DEPP N° 10/2023

Registro de Propiedad Intelectual N° 2023-A-10030

## **Resumen Ejecutivo**

El presente documento tiene por objetivo formular un conjunto de indicadores para medir la circularidad de distintos procesos de la minería local, con posibilidades de transformarse en una actividad de monitoreo permanente.

La Economía Circular (EC) es un enfoque económico y de desarrollo que busca reducir residuos, maximizar el valor de los recursos y promover la sostenibilidad. Del análisis realizado se desprende que hay más de una conceptualización de la EC aplicada a la minería. Sin embargo, se coincide en aspectos como la minimización de residuos, la mitigación del cambio climático y la preservación de los recursos naturales. Del mismo modo y al contrario de lo que se piensa, la EC va más allá de la mera recuperación de componentes de valor desde los relaves mineros.

Por tratarse de países referentes en temas mineros, se revisaron los avances de Australia y Canadá. Al respecto se concluye que ambos países están en una etapa de instalación de prácticas de EC. Destaca el Plan Canadiense de Minerales y Metales, con énfasis en la extracción de minerales valiosos de los residuos mineros.

Otro aspecto a considerar es la próxima publicación de la norma ISO 59000 la cual, entre otros, brindará orientaciones sobre cómo medir y evaluar la circularidad. Además, entregará los lineamientos que guiarán la instalación de prácticas de EC en minería.

Al igual que en Australia y Canadá, en el sector minero nacional la EC se encuentra en una etapa de implementación. En septiembre de 2021, se lanzó la "Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040", convocada por varios ministerios y entidades gubernamentales. El documento establece metas al 2030 y 2040 y define indicadores como generación de empleos verdes, generación de residuos por PIB, productividad material y tasas de reciclaje.

Otro avance es la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) donde los productores de productos prioritarios son responsables de la organización y financiamiento de la gestión de los residuos derivados de la comercialización de sus bienes en el país. La ley busca reducir la generación de residuos y fomentar su reutilización y reciclaje. En el sector minero, la ley ya ha impactado en lo que se refiere a la revalorización de neumáticos de grandes dimensiones.

En el ámbito sectorial, la Política Nacional de Minería 2050 aborda la temática de EC destacando la valorización y uso de residuos mineros y la búsqueda de una minería circular. Dentro de las directrices está contemplada la formulación de metas específicas relacionadas con el desarrollo de la EC en el sector.

A nivel de las operaciones mineras, existen iniciativas circulares que abarcan ámbitos como reciclaje, reutilización y recirculación, uso de energía renovable, gestión de relaves, reducción de emisiones de GEI y huella de carbono, reducción del consumo de recursos y generación desechos, trabajo con proveedores y otros avances hacia la EC.

La propuesta de indicadores para la minería incluye indicadores de transición y desempeño. Al respecto se eligieron 4 criterios para su categorización: principio de EC al que se orienta el indicador, estrategia que involucra, validez de la métrica y dimensión de desarrollo sostenible en el que se enmarca.

Los indicadores de transición propuestos son:

- Definición de aspectos regulatorios de EC.
- Estrategia para implementar la EC.
- Educación y Conciencia de la EC en el sector minero.
- Fomento de la EC.
- Diseño Circular incorporado en las ingenierías de nuevos proyectos.

Los indicadores de desempeño son:

- Tasa de recirculación de residuos (industriales, orgánicos y domiciliarios).
- Tasa de uso de material reciclado/reusado.
- Recirculación, reciclaje y reutilización de agua operacional
- Emisiones Alcance 1, 2 y 3.
- Energía renovable consumida.
- Empleos verdes.
- Inversión en capacitación (EC).
- Índice de Longevidad Circular.
- Contratos de "servitización."
- Reciclaje de desechos mineros intersectorial.

Este documento presenta una aproximación para establecer indicadores de EC específicos en la industria minera, inicialmente enfocada en la minería del cobre, pero aplicable a otros subsectores. Además, constituye un insumo para la meta 56 de la Política Nacional de Minería al 2050, que busca generar indicadores de circularidad alineados con los compromisos nacionales.

Finalmente se plantean métricas, como la servitización de productos, que aún no existen. Al respecto, el involucramiento de los proveedores es clave para el éxito en estas iniciativas, ideando modelos de negocio viables. En esa línea, no hay que perder de vista que la rentabilidad es un variable esencial para el avance y éxito de la EC, no solo en la industria minera.

## Contenido

1	Introducción y objetivo .....	5
2	Conceptos y principios de Economía Circular .....	6
2.1	Conceptualización de la Economía Circular en minería .....	6
2.2	Principios de la Economía Circular .....	7
3	Normas ISO 59000 - Economía Circular .....	8
4	Antecedentes sobre el avance de Economía Circular en Australia y Canadá .....	8
4.1	Economía Circular en Australia.....	9
4.2	Economía Circular en Canadá .....	10
5	Economía Circular en Chile .....	11
5.1	Hoja de Ruta de Economía Circular (nivel macro) .....	11
5.2	Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (nivel macro).....	14
5.3	Política Nacional de Minería 2050 (PNM) (niveles macro y meso).....	14
5.4	Economía Circular en Operaciones Mineras (nivel micro).....	15
5.4.1	Reciclaje, recirculación y reutilización.....	16
5.4.2	Uso de fuentes de energía renovables .....	16
5.4.3	Avances en gestión de relaves .....	16
5.4.4	Reducción de Emisiones GEI y huella de carbono .....	17
5.4.5	Reducción del consumo de recursos y generación de desechos. ....	17
5.4.6	Trabajo con proveedores.....	17
5.4.7	Otros avances hacia una economía circular en la minería .....	18
6	Propuesta de indicadores de Economía Circular para la minería del cobre .....	19
6.1	Criterios para categorizar los indicadores .....	20
6.1.1	Principios de Economía Circular aplicados a la minería.....	20
6.1.2	Estrategias de Circularidad en la cadena de producción .....	22
6.1.3	Validez de métricas Economía Circular .....	24
6.1.4	Dimensiones de Desarrollo Sostenible .....	24
6.1.5	Indicadores de transición versus de desempeño .....	24
6.2	Indicadores de Economía Circular para la Minería.....	25
6.2.1	Indicadores de Desempeño .....	26
6.2.2	Indicadores de Transición.....	33
7	Comentarios finales .....	35
9	Referencias .....	37

## **1 Introducción y objetivo**

Aunque la EC es un tema que lleva más de dos décadas de desarrollo en el mundo, los avances concretos están siendo liderados por China y Japón, y los países de Europa. Para este trabajo, se tomaron en cuenta las directrices desarrolladas en el viejo continente debido a la abundante literatura y los avances mostrados al respecto.

Sin embargo, la EC aún se encuentra en sus etapas iniciales de desarrollo y requiere de acuerdos y esfuerzos de la sociedad en su conjunto para consolidar su desarrollo. En Chile hay avances, entre los que destacan la elaboración de una Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040, ley 20.920 que establece el marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y el Fomento al Reciclaje; y la creación del Centro Tecnológico para la Innovación en EC con fondos de CORFO en 2019, entre otros.

No obstante, es importante tener en cuenta que la EC es un medio para garantizar un crecimiento sostenible de la economía y plantea el desafío no menor de pasar de un modelo de economía lineal a uno circular. Estos cambios implican, en muchos casos, transformar la esencia de los procesos productivos de los sectores que forman parte de nuestra economía. Chile no es la excepción y se encuentra en una etapa incipiente en la transición hacia un modelo de Economía Circular.

El objetivo de este trabajo es formular un conjunto de indicadores para medir la circularidad de diferentes procesos en la industria minera local, con la posibilidad de convertirse en una actividad de monitoreo continuo. Se proponen indicadores para ser aplicados en la minería local y que miden la circularidad en las dimensiones ambiental, social y económica.

## **2 Conceptos y principios de Economía Circular**

La Economía Circular (EC) es un modelo económico y de desarrollo sobre la que se ha investigado y escrito bastante; sin embargo, no hay consenso respecto a su definición. Al respecto en los siguientes puntos se presentan algunas definiciones de EC, pero aplicadas al sector minero. La revisión de las definiciones es un paso previo necesario antes de formular una propuesta de indicadores para el sector minero.

### **2.1 Conceptualización de la Economía Circular en minería**

Como primer paso se revisan algunas definiciones de EC y se evalúa cómo se aborda dicho concepto en el sector minero. Sin embargo, no es una tarea sencilla considerando que en términos globales existe un sinnúmero de definiciones de EC. Por ejemplo, el trabajo de Kirchherr et al. (2017), identificó 114 definiciones de EC.

Si bien la intención no es hacer una revisión exhaustiva de las definiciones de EC existentes; se toman algunas definiciones cuyo foco es el sector minero. Al respecto se tiene:

- “Una EC es el resultado de procesos mineros que minimizan, reutilizan y, en última instancia, eliminan los desechos; el diseño de productos y procesos que recolectan y reutilizan los metales indefinidamente. (ICMM)”<sup>1</sup>.
- “Avanzar hacia la mitigación y adaptación al cambio climático de la minería del cobre”. (CircularTec, 2022).
- “La EC, en el sector minero, pone su foco en la maximización del valor, minimizando la generación de residuos a través de toda la etapa de extracción y procesamiento, y apuntando a la preservación enfocada de los recursos naturales y su valor a mediante la prolongación de la vida útil de los minerales extraídos” (Enviro Integration Strategies Inc., 2021).
- “El marco general que orienta la implementación y aceleración de la EC en la industria minera se relaciona con dos aspectos fundamentales. Primero, su rol para contener el cambio climático y, segundo, aumentar la legitimidad en las sociedades donde estas actividades se desarrollan;..” (CircularTec, 2022).
- “un modelo que propone no desechar nada, usar mejor los insumos y productos, y comenzar a ver los residuos ya no como basura, sino como un valioso recurso que permitiría generar nuevos bienes” ... “la EC sería una estrategia que aportaría al entorno, y ayudaría al buen uso de los recursos [lo que implicaría -sacar menos de la naturaleza], y a reducir los impactos ambientales negativos generados por actividades productivas o el consumo”. (web Minera Valle Central).
- “En el caso de la minería, esto significa tener operaciones que tengan una contribución neta positiva al medio ambiente y la sociedad y trabajar con amplia

---

<sup>1</sup> Fact Sheet May 2023 ICMM:

[https://www.icmm.com/website/publications/pdfs/innovation/2023/factsheet\\_circular-economy.pdf?cb=60004](https://www.icmm.com/website/publications/pdfs/innovation/2023/factsheet_circular-economy.pdf?cb=60004)

cadena de suministro de metales para promover el uso responsable y la recuperación de metales después de que ingresan a los mercados”. ICMM web<sup>2</sup>

De los textos se desprenden algunos conceptos relacionados con la implementación de prácticas sostenibles en la extracción y procesamiento de minerales:

**Mitigación del cambio climático:** Queda de manifiesto la importancia de avanzar hacia la mitigación del cambio climático en el contexto de la minería. Esto implica adoptar prácticas y procesos que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero y minimicen el impacto ambiental de la extracción y procesamiento de minerales.

**Maximización del valor y minimización de residuos:** La EC en el sector minero se centra en maximizar el valor de los recursos naturales mediante la minimización de la generación de residuos en todas las etapas de extracción y procesamiento. Esto implica optimizar el uso de los insumos y productos, prolongar la vida útil de los minerales extraídos y ver los residuos como recursos valiosos para generar nuevos productos.

**Preservación de los recursos naturales:** La EC en la minería busca preservar los recursos naturales mediante prácticas sostenibles de extracción. Se hace hincapié en la importancia de utilizar de manera eficiente los recursos naturales, sacando menos de la naturaleza y promoviendo la recuperación y reutilización de metales.

**Legitimidad y responsabilidad social:** Existe un reconocimiento respecto a que la implementación de la EC en la industria minera contribuye a aumentar la legitimidad en las sociedades donde se llevan a cabo estas actividades. Se destaca la importancia de generar un impacto positivo en el medio ambiente y la sociedad, trabajando de manera responsable y promoviendo el uso responsable de metales en toda la cadena de suministro.

## 2.2 Principios de la Economía Circular

La EC se sustenta en tres principios que impulsan un cambio y donde la minería requiere de transformaciones sustanciales:

**Eliminar residuos y contaminación desde el diseño.** En EC la basura es un error de diseño. Al respecto, hay una jerarquía en el manejo de residuos donde lo más valorado es reducir, seguido por el reutilizar, luego reciclar y finalmente el desechar.

La minería es una actividad que genera residuos y entre los principales se encuentran los residuos peligrosos sólidos y líquidos, entre ellos los relaves, pilas de lixiviación, transporte de concentrado hacia los puertos, basura industrial, aceites, transporte de ácidos y aguas industriales, entre otros. Por lo tanto, este primer principio de la EC es perfectamente aplicable a la minería.

Es importante aclarar que el reciclaje es uno de los aspectos que aborda la EC y quizás la última opción, ya que en muchas situaciones se hace cargo de los desechos de los procesos y, tal como se señaló, podría considerarse como una falla en el diseño de estos.

**Mantener productos y materiales en uso:** Se debe hacer todo lo posible por evitar que los recursos disminuyan o pierda totalmente su valor, una vez ingresado a la economía.

---

<sup>2</sup> <https://www.icmm.com/en-gb/our-work/innovation-for-sustainability/circular-economy#:~:text=In%20the%20case%20of%20mining,the%20mining%20and%20metals%20industry.>

Por un lado y en el caso de la minería metálica, existe la oportunidad de mejorar el proceso de reutilización (más que reciclaje) de los minerales, una vez que son incorporados a la economía. Sin embargo la actividad minera demanda una infinidad de recursos para la producción de minerales y sus subproductos. Es más, en el caso de la minería del cobre se trata de una actividad intensiva en capital que involucra el uso de instalaciones, maquinarias y equipos, partes y piezas que operan bajo la lógica de una economía lineal y que presentan un desafío para “re direccionarlos” hacia la producción y consumo bajo la lógica de la EC.

**Regenerar los sistemas naturales:** El sistema económico debe buscar, activamente, la regeneración del capital natural y la biodiversidad de los territorios.

Este principio es aplicable a la minera, ya que es una actividad que comúnmente es cuestionada por generar impactos directos e indirectos negativos en sus entornos, incluidas las especies vegetales y animales que viven en los espacios donde opera. Producto de lo anterior se ha legislado y generado una normativa estricta que entre otros busca regular, evitar, controlar, mitigar y reparar los efectos adversos de la minería.

### **3 Normas ISO 59000 - Economía Circular**

La Organización Internacional para la Estandarización (ISO), es una organización no gubernamental independiente que desarrolla estándares para garantizar la calidad, seguridad y eficiencia de productos, servicios y sistemas.

La ISO está trabajando en el campo de la EC, a través del Comité Técnico 323. El objetivo es la estandarización en el campo de la EC para desarrollar marcos, guías, herramientas de apoyo y requisitos para la implementación de actividades de todas las organizaciones involucradas, para maximizar la contribución al Desarrollo Sostenible. A la fecha de elaboración del presente estudio, la ISO trabajaba en los siguientes documentos:

- ISO/DIS 59004: Economía circular: terminología, principios y orientación para la implementación.
- ISO/DIS 59010: Economía circular — Orientación sobre la transición de modelos de negocio y redes de valor.
- ISO/DIS 59020: Economía circular — Medición y evaluación de la circularidad.

Para efectos de este trabajo, cobra interés la normativa ISO/DIS 59020, que proporciona una orientación sobre cómo puede medirse y evaluarse de manera objetiva, integral y confiable el desempeño de circularidad de un sistema económico utilizando indicadores de circularidad y métodos complementarios.

La norma se puede utilizar para determinar la eficacia de las acciones circulares ejecutadas por organizaciones públicas y privadas. El propósito es ayudar a las organizaciones a recopilar la información necesaria para permitir prácticas económicas circulares que minimicen el uso de recursos y/o permitan un flujo circular de recursos y contribuyan al desarrollo sostenible.

### **4 Antecedentes sobre el avance de Economía Circular en Australia y Canadá**

En los últimos años, varios países de América Latina y el Caribe han comenzado a abordar el tema de la EC. “En este sentido, los países de la región han o están implementando estrategias u hojas de ruta vinculadas a la EC, como un instrumento de planificación, con acciones e iniciativas, proponiendo en muchos de los casos, metas de corto, mediano y

largo plazo” (Samaniego, Rodón, Herrera, & Santori, 2022). En la región, aparte de lo que se ha hecho en Chile, se registran avances en Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Uruguay y Perú.

Sin embargo, por ser considerados referentes en temas mineros, a continuación se muestra un resumen de algunos avances en EC que exhiben Australia y Canadá.

#### **4.1 Economía Circular en Australia**

Australia posee un Plan de Acción Nacional sobre Política de Residuos 2019, cuyo objetivo es reducir en un 10% los residuos totales generados por persona para el año 2030, y aspirando a lograr una tasa de recuperación de recursos promedio del 80% de todos los flujos de residuos aplicando la jerarquía de residuos para el año 2030

Los gobiernos federales y estatales han acordado desarrollar un cronograma para prohibir la exportación de plásticos, papel, vidrio y neumáticos, así como una estrategia para desarrollar la capacidad de Australia para generar commodities reciclados de alto valor a nivel nacional.

Otro antecedente a considerar es que el Departamento de Industria, Ciencia y Recursos del Gobierno de Australia encargó en el 2019 a CSIRO el desarrollo de un Roadmap en consulta con las partes interesadas de la industria y el gobierno<sup>3</sup>.

Australia ha exportado gran parte de sus residuos en el pasado. Debido a prohibiciones parciales, existe la necesidad de procesar, reutilizar y reciclar los residuos a nivel nacional, especialmente en los principales flujos de recursos de desechos.

Por otro lado, a nivel de gubernamental los ministros de medio ambiente de Australia han acordado trabajar con el sector privado para diseñar soluciones que eliminen los residuos y la contaminación, mantengan los materiales en uso y fomenten los mercados con el objetivo de lograr una EC para el 2030.

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua, estableció el Grupo Asesor Ministerial sobre EC para asesorar al gobierno sobre las oportunidades, desafíos y acciones necesarias para desarrollar la EC en Australia.

El Grupo Asesor estableció un plan de trabajo con 7 reuniones propuestas a lo largo de 2 años<sup>4</sup>. Cada reunión se centrará en diferentes temas: diseño circular y consumo de productos; construcción del entorno y emisiones de carbón; innovación, economía e indicadores; alimentos, recursos y comercio; brechas; y Roadmap, reporte y gira de presentaciones.

Analizando los antecedentes se observa que la EC aún es un tema que se encuentra en desarrollo en Australia. Al respecto, Halog et al. (2021) señalan que Australia ha intensificado sus esfuerzos en EC y ha desarrollado parques ecoindustriales en las industrias de metalurgia/metál, eco-ciudades y estrategias de creación de riqueza a pequeña escala a partir de residuos. La minería ha liderado el desarrollo de la EC con las áreas ecoindustriales en Kwinana (Australia Occidental) y Gladstone (Queensland). De

---

<sup>3</sup> Si bien el documento “Circular economy roadmap for plastics, glass, paper and tyres. Pathways for unlocking future growth opportunities for Australia” de Enero del 2021 está publicado, no se logró acceder a información sobre los pasos que se tomaron posteriormente.

<sup>4</sup> La primera se realizó en febrero del 2023 y la última está programada para el mes de agosto del 2024.

igual forma, dichos autores son críticos al identificar barreras a la instalación de la EC, tales como la falta de visión a la hora de buscar oportunidades en toda la cadena de suministro, limitaciones tecnológicas, falta de coordinación de políticas para la innovación empresarial, y falta de incentivos para cambiar del enfoque lineal al circular.

## **4.2 Economía Circular en Canadá**

En agosto de 2017, los ministros federales, provinciales y territoriales responsables de la minería solicitaron un Plan Canadiense de Minerales y Metales para consolidar la posición de Canadá en minería y sentar las bases para un éxito duradero, tanto en el país como en el extranjero.

El Plan Canadiense de Minerales y Metales incluye una visión, principios y direcciones estratégicas que los gobiernos, la industria y las partes interesadas pueden seguir para impulsar la competitividad de la industria y su éxito a largo plazo.

El Plan incluye una serie de acciones específicas y coordinadas que pueden ser emprendidas por los gobiernos federales, provinciales y territoriales para alcanzar los objetivos establecidos.

En lo que respecta a EC, la visión del plan es: “Una EC donde los residuos mineros se transforman en productos útiles y se reduce la responsabilidad ambiental”. Es más la EC es considerada una de las áreas de acción del Plan, pero con un foco especial en los relaves mineros, señalando que los gobiernos federal, provinciales y territoriales, así como la industria, deberían estudiar las capacidades de reciclaje y reprocesamiento de Canadá para determinar cómo pueden respaldar la sostenibilidad y la competitividad. Esto incluye adoptar un enfoque integral para extraer valor de los relaves como fuente de metales y minerales industriales.

Tal como señala en el documento elaborado por Enviro Integration Strategies Inc. (2021), Canadá se encuentra en las primeras etapas de explorar las aplicaciones de estrategias de EC en varios sectores de la economía. Además, se señala que en el sector minero y de minerales, existen oportunidades emergentes asociadas con la revolución de la energía verde que pueden aprovechar los recursos geológicos de Canadá, su capacidad minera y las economías regionales. Por ejemplo, el Plan Canadiense de Minerales y Metales identifica la extracción de minerales residuales valiosos de los residuos mineros existentes como un área de enfoque.

Otra área que tiene sinergias potenciales significativas con una estrategia minera de EC es la creciente importancia de las cadenas de suministro de Minerales Críticos y Estratégicos (CSM en inglés). Canadá ha establecido políticas y programas relacionados con el comercio con la Unión Europea, Estados Unidos, Japón y Australia, para promover la innovación en la extracción, recuperación, procesamiento y fabricación de minerales esenciales para la infraestructura de transición energética verde. A nivel provincial, el gobierno de Quebec ha adoptado un enfoque agresivo para promover una estrategia de desarrollo circular de los CSM.

En el mismo documento se señala que los desafíos que tiene el sector minero para avanzar en la EC son la toma de conciencia y comprensión de qué es, cómo se aplica y cuales son los beneficios. Otro desafío está relacionado con la mentalidad y la cultura, así como los cambios de comportamiento requeridos para cumplir con las nuevas expectativas de rendimiento o para desarrollar negocios bajo nuevos modelos. Dentro de los desafíos se plantea avanzar hacia el establecimiento de objetivos de EC, métricas e incentivos.

## 5 Economía Circular en Chile

Al igual que en Australia y Canadá, la EC en Chile presenta avances y el sector minero se está sumando a la implementación de iniciativas. A continuación se presentan algunas iniciativas como la Hoja de Ruta, Política Nacional de Minería 2050, Ley REP y acciones concretas de algunas empresas del sector.

### 5.1 Hoja de Ruta de Economía Circular (nivel macro)

Para acelerar la transición hacia el modelo de Economía Circular, que involucra un cambio profundo en la formas de producción y consumo, en septiembre del año 2021 se lanzó la “Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040”; la cual fue convocada por el Ministerio de Medio Ambiente; Ministerio de Economía, Fomento y Turismo; Corporación de Fomento de la Producción y la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático. El proceso contó con un Comité Estratégico conformado por 33 representantes del mundo privado, público, sociedad civil y academia<sup>5</sup>.

En el documento se exponen los resultados de 4 talleres regionales realizados a fines del 2019, en donde se identificaron sectores prioritarios para la transición regional a la EC en base a dos criterios: potencial circular e importancia regional. Los resultados difieren para las regiones analizadas y están influenciadas fuertemente por su vocación productiva. Como reflejo de lo anterior, a continuación se presentan los resultados para la región de Antofagasta:

**Figura N° 1: Potencial Circular de los sectores productivos en la Región de Antofagasta**



Fuente: Hoja de Ruta Minería Circular al 2040

En el caso particular de la región de Antofagasta, la minería representa el 74,5% del PIB regional y es un sector prioritario para la transición a la EC.

Para guiar y evaluar el nivel de avance en la transición, se establecieron metas de largo plazo al 2040 y metas intermedias al año 2030. Las metas están asociadas a 7 indicadores:

<sup>5</sup> En representación del sector minero, en dicho comité hubo representantes de la Sociedad Nacional de Minería y del Consejo Minero. No se hace mención a representantes del sector público concededores de la minería, como el Ministerio de Minería o de la Comisión Chilena del Cobre.

1. Generación de empleos verdes: gestión de residuos y reciclaje, reparación, empleos profesionales especializados, empleos que aún no se “logran imaginar”.
2. Generación de residuos sólidos municipales por habitante.
3. Generación total de residuos por PIB.
4. Productividad material.
5. Tasa general de reciclaje. Impulso ley REP y impulso desarrollo tecnológico para la EC.
6. Tasa de reciclaje de residuos sólidos municipales.
7. Recuperación de sitios afectados por la disposición ilegal de residuos. Apunta a basurales y microbasurales.

En el caso particular de la región de Antofagasta, se visualiza una alta incidencia de las metas 1, 3, 4 y 5 en el sector minero.

A su vez, las metas que se plantean en la Hoja de Ruta están vinculadas a 28 iniciativas compuestas, cada una, por distintas acciones. Las iniciativas se agrupan en torno a cuatro grandes ejes de acción: innovación circular, cultura circular, regulación circular y territorios circulares.

El primer paso del proceso para elaborar la Hoja de Ruta incluyó un estudio de mapeo que concitó a actores a nivel global (no por sectores económicos). Sin embargo, dentro de las conclusiones, el informe de la consultoría<sup>6</sup> identificó la necesidad profundizar en el análisis a nivel de diagnóstico, para varios sectores, entre ellos el minero.

Si bien la Hoja de Ruta establece iniciativas y acciones, solo se hará referencia a las que se relacionan con el alcance final de este trabajo, es decir, se relacionan con las métricas de EC en minería:

En el eje Innovación Circular:

- La iniciativa Empresa Cero Residuos consta de dos acciones y una de ellas se refiere a “Promover el desarrollo y el uso de herramientas de diagnóstico y medición de la circularidad a nivel organizacional, que tengan en cuenta tanto indicadores de proceso (existencia de sistemas de información, de estructuras organizacionales habilitantes, etc.), como de resultado (reducción de uso de recursos, reducción de generación de residuos, aumento de tasas de valorización, etc.), y que permitan identificar las áreas de mejora prioritarias para la transición”. Al respecto se menciona la publicación de la norma ISO que establece un marco para medir circularidad y sobre el cual se hace referencia más adelante, en este mismo documento.
- La iniciativa Sistema de Información para la modelación ambiental del impacto ambiental local de bienes y servicios presenta la iniciativa que es “Reunir indicadores de relevancia ambiental (ej: uso de recursos, huella de carbono, uso de agua, uso de energía, análisis de flujo de materiales, generación de residuos, entre otros), que se puedan levantar fácilmente y que permitan ser utilizados para acelerar los avances en las áreas del eco diseño y el ecoetiquetado”. Al respecto, dicha acción podría involucrar al sector de proveedores de la minería.

En el Eje Cultura Circular:

- La iniciativa Seguimiento del proceso hacia una Economía Circular señala: “Poner en marcha un sistema de monitoreo permanente de los avances del país en la transición

---

<sup>6</sup> Informe Final, Consultoría para mapeo de actores e impacto potencial de la economía circular en Chile, Rubik Sustentabilidad.

a la economía circular, que distinga entre indicadores de proceso e indicadores de resultados, y que sea capaz de dar cuenta de los avances en la implementación de las iniciativas y el cumplimiento de las metas de esta hoja de ruta”.

- También para la misma iniciativa se plantea la acción “Establecer las bases metodológicas e institucionales para la medición sistemática de la cantidad de empleos verdes en la economía”.
- La iniciativa “Incorporar el enfoque circular en la planificación del desarrollo regional y comunal”, plantea en una de sus acciones el “Poner en marcha un sistema de indicadores de circularidad territoriales, que permita monitorear de forma permanente y participativa las brechas y los avances de distintos territorios en la transición a la economía circular”.

La Hoja de Ruta señala, además, que es importante tener presente que el potencial de la EC no se limita a la eficiencia en el uso de los recursos y la mitigación y adaptación al cambio climático. En este sentido, destaca que de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, al menos 10 serían impactados directa y positivamente por la transición a una economía circular.

Por otro lado y a modo de comparación, la industria del cobre, principal producto minero del país, también aporta a algunos de los ODS (Sociedad Nacional de Minería SONAMI, 2021). En la siguiente tabla se comparan los ODS impactados por la EC y aquellos donde aporta la minería del cobre.

**Tabla N° 1: Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**

<b>Impactados positivamente por la transición a una Economía Circular</b>	<b>En los que aporta la Minería del Cobre</b>
ODS 2: Hambre y seguridad alimentaria	ODS 3: Buena Salud y Bienestar
ODS 6: Agua y saneamiento	ODS 7: Energía Limpia y Accesible
ODS 7: Energía	ODS 11: Ciudades y Comunidades
ODS 8: Crecimiento económico	ODS 12: Producción y Consumo Responsable
ODS 9: Infraestructura	ODS 13: Acción Climática
ODS 11: Ciudades	
ODS 12: Producción y consumo sostenibles	
ODS 13: Cambio climático	
ODS 14: Océanos	
ODS 15: Bosques, desertificación y diversidad biológica	

Fuente: Elaboración propia en base Boletín Minero (Sonami) y Hoja de Ruta EC (MMA)

## **5.2 Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (nivel macro)**

La ley 20.920 fue publicada en el Diario Oficial el 1° de junio de 2016 y tiene como principal instrumento la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), un mecanismo en virtud del cual los productores de productos prioritarios son responsables de la organización y financiamiento de la gestión de los residuos derivados de la comercialización de sus productos en el país.

La ley busca disminuir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización. Con este fin, instaura la REP, haciendo responsable al productor de los residuos que se generen a partir de sus productos, desde su generación hasta su valorización o eliminación.

La Ley estableció diversos productos prioritarios, a los cuales se aplicará el régimen de la REP. Estos son:

- Aceites lubricantes
- Pilas y aparatos eléctricos y electrónicos
- Baterías
- Envases y embalajes
- Neumáticos

Además, la Ley señala que para cada producto prioritario se deberá establecer un Decreto de Metas y Otras Obligaciones Asociadas. La publicación de dichos decretos determina el momento en que comienza a regir la obligación de organizar y financiar la recolección y tratamiento de cada uno de los productos prioritarios.

A la fecha de elaboración de este documento, los productos que ya contaban con Decreto de Metas vigente son los neumáticos y envases y embalajes<sup>7</sup>.

Por los volúmenes involucrados, la Ley REP en minería tiene una alta incidencia en lo relacionado a la revalorización de los neumáticos de grandes dimensiones (categoría B). Al respecto, en el 2030 se debe alcanzar una meta de 100% de valorización de los neumáticos introducidos en el mercado nacional el año inmediatamente anterior.

## **5.3 Política Nacional de Minería 2050 (PNM) (niveles macro y meso)**

En marzo del 2023 fue publicada en el Diario Oficial la Política Nacional Minera 2050, cuya finalidad es “ fijar un horizonte de largo plazo, ambicioso pero realista, que tenga la virtud, por una parte, de ordenar y orientar la acción del Estado y sus organismos, trascendiendo los períodos presidenciales y dando continuidad a los considerandos esenciales incluidos, y, por otra, que sea capaz de convocar y alinear al sector privado y a la sociedad civil para legitimar e implementar acciones concretas que permitan construir la minería del año 2050”.

Dichos lineamientos abordan la temática de la EC, estableciendo que se trata de un desafío del ámbito ambiental y cuyo alcance es la potencial valorización y uso en las mismas operaciones u otras industrias de los residuos y desechos mineros (material estéril o lastre, relaves, escorias, gases metalúrgicos y soluciones de refino, entre otros).

---

<sup>7</sup> Los decretos de metas del resto de los productos prioritarios se encontraban en proceso de elaboración.

En línea con lo anterior y como parte del Eje Económico, también se hace referencia a la búsqueda de una minería circular, a través de un cambio de paradigma. Sin embargo, es en las definiciones del Eje Ambiental donde la PNM 2050 plasma conceptualmente las temáticas relacionadas con EC. Al respecto, se indica que una minería sustentable debe ser líder en economía circular, estar a la vanguardia en gestión ambiental y comprometida con un uso racional y eficiente de los recursos naturales en sus procesos productivos. Uno de los objetivos estratégicos de dicho eje es “liderar el modelo de EC a través de la reutilización de residuos y uso eficiente de recursos”. Al respecto, hay 4 metas ligadas a dichos objetivos:

Meta 53. Impulsa la economía circular a través de minería secundaria polimetálica.

Meta 54. Impulsa la economía circular a través de los procesos constructivos de los proyectos mineros.

Meta 55. Fomenta la inclusión en la Ley REP de otros residuos no mineros, fuera de los residuos prioritarios.

Meta 56. Promueve generación de indicadores de circularidad en línea con los compromisos de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) al 2022.

Obviamente, el desarrollo del presente trabajo se enmarca directamente dentro de la última meta, pero indirectamente también aborda las restantes.

#### **5.4 Economía Circular en Operaciones Mineras (nivel micro)**

El presente acápite presenta los resultados de una revisión de los Reportes de Sustentabilidad de ocho empresas mineras que llevan a cabo iniciativas circulares en Chile. A priori se puede adelantar que, de una u otra forma, ya se están abordando algunos aspectos relacionados con EC, como por ejemplo, el reciclaje de neumáticos, reutilización de agua, manejo de residuos, etc.

Esta situación coincide con los hallazgos del estudio realizado a nivel global por Upadhyay et al. (2021), quienes revisaron los reportes de sustentabilidad de 3 empresas mineras globales y concluyeron que las empresas mineras a gran escala están informando sobre algunos de los datos clave que subyacen a los movimientos hacia una EC, aunque no se estaba haciendo de manera consistente. Por ejemplo, se está informando sobre el reciclaje de desechos y agua; ambos aspectos cruciales de la adopción de prácticas de EC en la industria minera. Según la investigación, los datos de las empresas no mostraban una tendencia clara de que estas prácticas estuvieran dando como resultado niveles más altos de reciclaje y reducciones en los desechos. Además, observa que si bien la identificación de prácticas que acentúan la transición hacia una EC puede ser cada vez más común en la industria minera, el aumento real de éstas aún no se ha producido a gran escala; al menos a la fecha de realización de dicho estudio.

Las iniciativas circulares identificadas fueron agrupadas en 7 temas:

- Reciclaje, recirculación y reutilización.
- Uso de fuentes de energía renovables.
- Avances en gestión de relaves.
- Reducción de emisiones GEI y huella de carbono.
- Reducción del consumo de recursos y generación de desechos.
- Trabajo con proveedores.

- Otros avances hacia una Economía Circular.

Muchas de las iniciativas circulares han sido implementadas por más de una de las empresas analizadas, por lo que no se individualizan los nombres de los ejecutores.

#### **5.4.1 Reciclaje, recirculación y reutilización**

Existe un conjunto de iniciativas que muestran el compromiso de gran parte de las empresas mineras con la gestión sostenible de los residuos y la promoción de la EC en el sector. A continuación se mencionan algunas iniciativas:

- Retiro y reciclaje de camiones y equipos mineros en desuso.
- Implementación de programas para ordenar los sectores y reciclar chatarra, bolsas de molinos y aceite.
- Reciclaje y valorización de neumáticos.
- Avances en la gestión de residuos peligrosos y no peligrosos, con elevados porcentajes de reciclaje.
- Tratamiento y reutilización de escorias.
- Implementación de la Ley REP (neumáticos).
- Emprendimiento de proyectos de conversión de residuos en nuevos recursos, como la transformación de madera, neumáticos y cañerías.

#### **5.4.2 Uso de fuentes de energía renovables**

Las iniciativas de las empresas analizadas están estrechamente relacionadas con la EC al adoptar prácticas que promueven la eficiencia energética y la utilización de fuentes de energía 100% renovables. Lo anterior busca minimizar el impacto ambiental y maximizar la sostenibilidad. Al respecto se observa que las empresas analizadas cuentan con compromisos de eficiencia energética y uso de fuentes de ERNC.

#### **5.4.3 Avances en gestión de relaves**

Algunas iniciativas de gestión sostenible de relaves mineros son:

- Estándar de relaves con medidas sostenibles y seguras para depósitos con monitoreo en línea y control de infiltraciones.
- Aprovechamiento de las aguas de los relaves para reducir el uso de recursos hídricos continentales.
- Procesamiento de relaves de terceros.
- Gestión integrada del agua con enfoque territorial, uso de relaves como fuente de abastecimiento.
- Nueva tecnología para aumentar el porcentaje de sólidos, optimizando su manejo y aprovechamiento.
- Cumplimiento de estándares internacionales para gestión responsable, apoyada por sistemas y búsqueda de conformidad.

#### **5.4.4 Reducción de Emisiones GEI y huella de carbono**

Algunas iniciativas identificadas son:

- Reducir las emisiones GEI en distintos procesos, como las fundiciones y transporte (camiones de extracción de alto tonelaje).
- Establecimiento de metas para alcanzar cero emisiones netas de gases de efecto invernadero para el año 2050 y para lo cual se implementan medidas, como la gestión de emisiones de óxido de nitrógeno y partículas contaminantes, así como la introducción de tecnologías más limpias y eficientes.
- Análisis y reducción de las emisiones en alcance 3, que son aquellas asociadas a la cadena de suministro y a las actividades indirectas de las empresas. Evaluación de medidas y establecimiento de metas.
- Impulsar la electromovilidad como una solución sostenible para el transporte. Por ejemplo, se identifican medidas como la implementación de flotas de vehículos eléctricos y el compromiso de alcanzar la electrificación total en la minería subterránea.

#### **5.4.5 Reducción del consumo de recursos y generación de desechos.**

Algunas iniciativas identificadas son:

- Minimización y reciclaje de desechos no minerales.
- Reducción del consumo de recursos naturales, energéticos y materiales.
- Compromiso de gestión hídrica para reducir el consumo de aguas continentales.
- Participación en el desarrollo de la industria de hidrógeno verde.
- Implementación de tecnología HPGR para minimizar el gasto de energía y uso de agua en los molinos.
- Compromiso con la producción responsable a través del Copper Mark.
- Evaluación de soluciones para la supresión de polvo.
- Uso de agua de mar desalinizada como fuente principal de agua para las operaciones mineras.

#### **5.4.6 Trabajo con proveedores**

Respecto al trabajo con proveedores, con foco en la EC, se tiene:

- Formulación de estrategias y exigencias para proveedores en economía circular, así como el trabajo colaborativo.
- Incorporar la circularidad como criterio de evaluación en licitaciones y compras, otorgando mayor importancia a proveedores locales y aquellos comprometidos con la optimización de recursos y la reducción de emisiones y residuos.
- Fortalecer la gestión del ecosistema regional (donde se localiza la operación) en términos de circularidad, conectando la demanda interna con la oferta local.
- Lanzamiento de un proceso de desarrollo de proveedores locales y gestión de ecosistema para fomentar soluciones circulares competitivas.
- Formulación y aprobación de estrategias que establecen nuevas exigencias a los proveedores en temas como embalajes, pallets y transporte de productos.

#### **5.4.7 Otros avances hacia una economía circular en la minería**

- Fortalecimiento empresarial para negocios con potencial de crecimiento.
- Proyectos para cero Residuos.
- Participación en instancias de EC como comités y proyectos colaborativos y en Centros de Economía Circular.
- Promoción y conciencia, formulando planes de sensibilización y educación en EC.
- Desarrollo de procesos de EC con fabricantes de insumos mineros.

## **6 Propuesta de indicadores de Economía Circular para la minería del cobre**

Economía Circular y Sustentabilidad son conceptos que guardan una estrecha relación. Por un lado, la sustentabilidad implica mantener un equilibrio a largo plazo entre las necesidades económicas, sociales y ambientales de la sociedad, sin agotar los recursos naturales y sin causar daños irreversibles al medio ambiente. Por otro, la EC es un enfoque que maximiza el valor de los productos, materiales y recursos, minimizando la generación de residuos y la utilización de recursos naturales. De lo anterior se desprende que la EC es una estrategia que se alinea con los principios de sustentabilidad y ayuda a avanzar hacia un futuro más responsable y respetuoso con el medio ambiente.

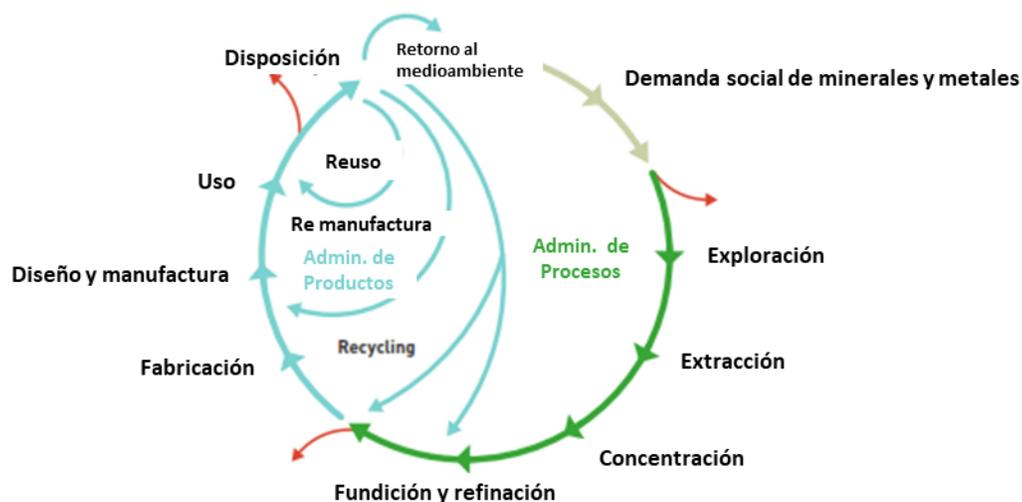
Este último aspecto es relevante para la propuesta de indicadores de circularidad ya que hay indicadores del ámbito de la sustentabilidad que ya están siendo aplicados y medidos por las operaciones mineras y que también caen en el terreno de la economía circular. Al respecto, Ekins et al. (2019) proponen precisar el término sustentabilidad por el desarrollo sustentable y de paso recalca las diferencias conceptuales y de indicadores de las dimensiones: económica, social y ambiental. Es más, a partir del diagrama de mariposa de la Fundación Ellen MacArthur (que ilustra el flujo continuo de materiales en una economía circular), señala que queda claro que la concepción de la EC pone mayor énfasis en la sostenibilidad ambiental, ya que se enfoca en hacer un uso circular de los recursos naturales y en reducir los impactos ambientales.

Sin embargo, la EC también genera beneficios en el ámbito económico y social. Por ejemplo, fomenta la innovación y la creación de empleos en sectores relacionados con la gestión de residuos, la reparación, la remanufactura y el reciclaje. También reduce la dependencia de los recursos naturales finitos y volátiles en términos de precio y disponibilidad, lo que ayuda a mejorar la resiliencia económica de una comunidad o una empresa.

En cuanto a los indicadores, se suelen distinguir tres niveles según el grado de detalle que se requiere alcanzar: macro, meso y micro. En un nivel macro, están los indicadores que describen de forma agregada el desempeño de un país o macro región. Esto es útil, por ejemplo, para apoyar estrategias de sostenibilidad de largo plazo, políticas de gestión de residuos y conservación de recursos. A nivel meso, podemos medir el desacoplamiento de un sector productivo específico (como el minero), analizando sus flujos de materiales y elaborar planes de acción para, por ejemplo, fomentar el intercambio de recursos entre industrias de ese sector, como el minero. A nivel micro, se está el análisis, por empresa, sobre cada recurso requerido en un proceso o producto y así elaborar estrategias focalizadas.

Un aspecto a tener en consideración es que el ciclo de vida de los minerales y metales se puede dividir en la administración de los procesos y productos. El alcance de los indicadores que se plantearán están enfocados en la etapa de administración de los procesos y que se destaca en color verde en la siguiente figura, tomada del International Council on Mining and Metals (ICMM):

Figura N° 2: Etapas del ciclo de vida de los minerales y metales



Fuente: Traducción de ICMM, Maximizing Value, London ICMM (2007).

Por lo tanto, el alcance de la formulación de indicadores que se hace en el presente trabajo considera los procesos que van desde la exploración hasta la fundición y refinación.

Basado en lo anterior y al igual que en las metodologías de la bibliografía consultada, se plantean algunos criterios pertinentes para la formulación dichos indicadores.

## 6.1 Criterios para categorizar los indicadores

La literatura académica y no académica es abundante en indicadores que buscan medir circularidad. Al respecto existe una amplia variedad de métricas y marcos, lo que resulta en una sobreabundancia de indicadores para medir el desempeño en eficiencia de recursos y sustentabilidad (ambiental, económica y social) (Corona, Shen, Reike, Rosales, & Worrell, 2019). Sin embargo, lo anterior genera un problema, ya que la variedad de indicadores termina por entorpecer la toma de decisión y confunde.

El primer paso será definir categorías de indicadores de EC. Al respecto, de los variados criterios existentes se han seleccionado aquellos que, a juicio del autor, abordan de manera razonable aquellas dimensiones factibles de abordar en minería.

### 6.1.1 Principios de Economía Circular aplicados a la minería

Tal como se señaló al comienzo de este documento, la EC se sustenta en tres principios que impulsan un cambio y donde la minería requiere de transformaciones sustanciales:

1. Eliminar residuos y contaminación desde el diseño
2. Mantener productos y materiales en uso.
3. Regenerar los sistemas naturales.

Sin embargo, Young & Barreto (2021) fueron más allá y proponen 6 principios aplicables a la minería. Al respecto señalan que dichos principios tienen como objetivo resolver las causas de la generación de desechos e impactos ambientales, desplazando la tendencia a emplear las tácticas de reducción de daños que solo abordan los síntomas.

1. **Optimización de las existencias, extendiendo el valor de los materiales:** La optimización de las existencias se relaciona con la durabilidad de los minerales y metales, permitiendo su reutilización casi indefinida después de la extracción. Sin embargo, también es aplicable en las operaciones mineras debido a que demandan bienes y servicios que pueden optimizarse para reducir los costos e impactos.
2. **Eco efectividad- transitando más allá de la eco eficiencia<sup>8</sup>:** Este principio debe guiar el diseño de los sistemas técnicos en la operación minera, a lo largo de las diferentes fases del ciclo de la mina, incluido el cierre.
3. **Eliminar el concepto de desecho a través de la extensión del valor del recurso:** Este principio es relevante para los recursos minerales debido a sus propiedades únicas de durabilidad y reciclaje que permiten la retención continua del valor. Aquí es relevante el diseño y los incentivos para la recuperación de minerales secundarios. Se busca repensar el concepto de desecho para convertirlo en un recurso y para lo cual las estrategias “R” juegan un rol fundamental.
4. **Responsabilidad extendida del productor:** Aquí los productores (fabricantes) son responsables de la cadena de suministro y el ciclo de vida de los productos, incluida su devolución, reciclaje y disposición final. Este principio puede dar cuenta de todos los costos ambientales asociados con un producto e indirectamente promueve los productos ecológicos y el diseño de procesos que devuelven valor al productor.
5. **Diseño circular de los procesos y productos:** El objetivo del principio de diseño circular de productos y procesos es optimizar la función y el uso de materiales en la entrega de productos, procesos o servicios, al mismo tiempo que se minimizan los impactos negativos a lo largo de todo el ciclo de vida. En el caso de la minería, el pensamiento de diseño circular se aplicaría a todo el sistema de procesamiento, que incluye la infraestructura y el trabajo con ecosistemas naturales para crear un producto. En lo que respecta a los minerales, el desafío clave es encontrar formas en que los materiales extraídos puedan usarse para agregar beneficios a largo plazo y evitar daños colaterales.

---

<sup>8</sup> *Ecoeficiencia: Flujo lineal y unidireccional de los materiales a través de los sistemas industriales, donde las materias primas se extraen del medio ambiente, se transforman en productos y finalmente se desechan. Las técnicas ecoeficientes buscan únicamente minimizar el volumen, la velocidad y la toxicidad del flujo de materiales en el sistema, pero son incapaces de alterar su progresión lineal. Algunos materiales se reciclan, pero a menudo como una solución final, ya que estos materiales no están diseñados para ser reciclados (downcycling). En lugar de un verdadero reciclaje, este proceso es en realidad una degradación de la calidad del material, lo que limita la usabilidad y mantiene la dinámica lineal de la cuna a la tumba del flujo de materiales.*

*Eco-efectividad: Propone la transformación de los productos y sus flujos materiales asociados de manera que formen una relación de apoyo con los sistemas ecológicos y el crecimiento económico futuro. El objetivo no es minimizar el flujo de materiales de la cuna a la tumba, sino generar "metabolismos" cíclicos de la "cuna a la cuna" que permitan que los materiales mantengan su estado como recursos y acumular inteligencia con el tiempo (upcycling).*

6. **Crear valor social**<sup>9</sup>: Desarrollar productos y servicios para los clientes mientras se conecta con los problemas sociales y ambientales, de modo que la competitividad de la empresa y la salud de la comunidad en la que opera sean mutuamente dependientes, se relaciona con el concepto de valores compartidos. Para el sector de los minerales, los beneficios (y los impactos) para la comunidad pueden manifestarse de muchas maneras.

Otro aspecto a destacar es el énfasis de la EC en la productividad material, “que mide cuánto valor genera la economía por cada unidad de masa que utiliza para funcionar”. La productividad material se expresa como la cantidad de producción económica generada (en términos de PIB) por unidad de materiales consumidos (en términos de DMC<sup>10</sup>).

### **6.1.2 Estrategias de Circularidad en la cadena de producción**

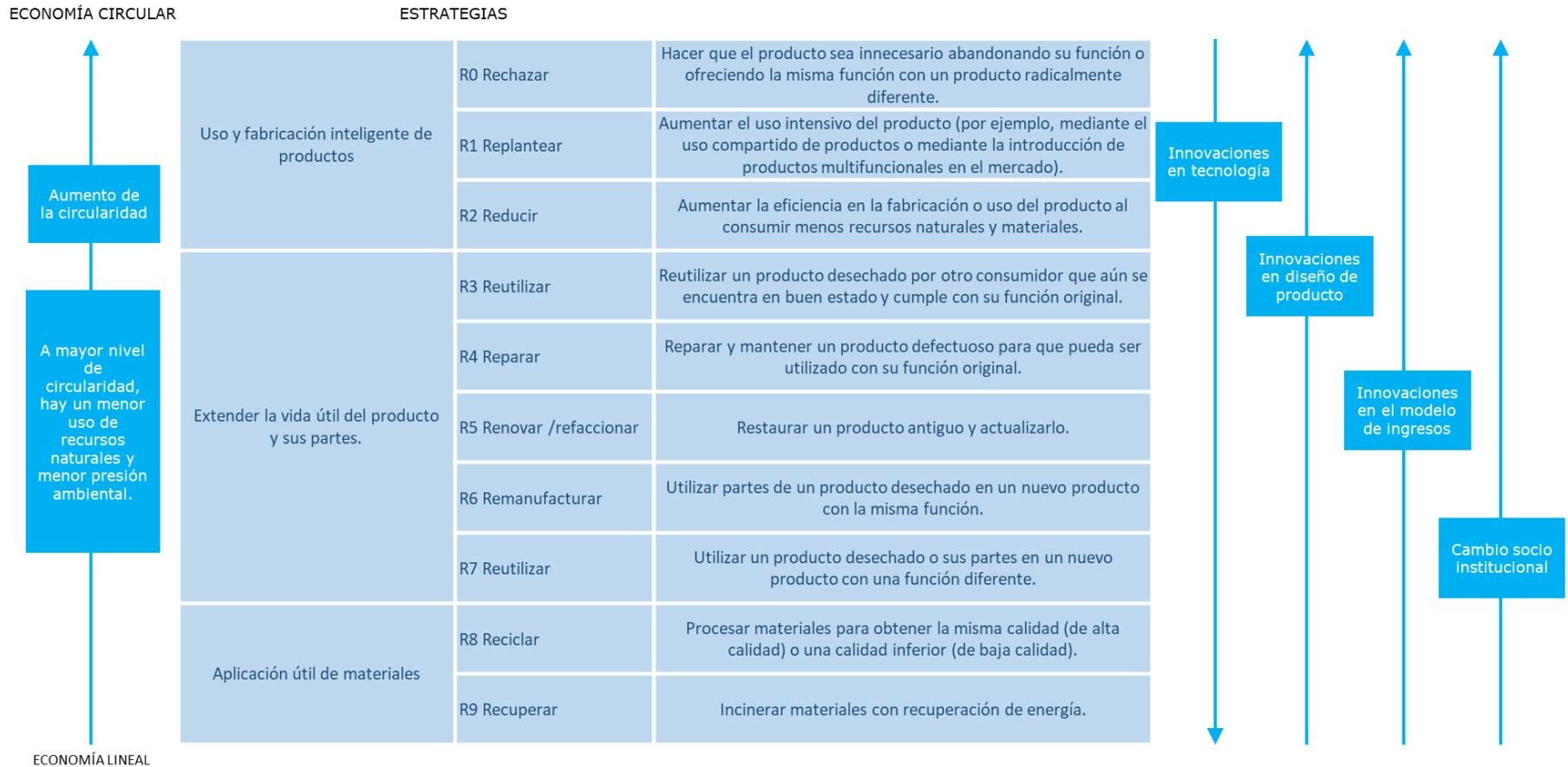
En el documento de Potting, Hekkert, Worrell, & Hanemaaijer (2017) se plantea la existencia de varias estrategias de circularidad para reducir el consumo de recursos naturales y materiales, y minimizar la producción de residuos. Se pueden ordenar por prioridad según sus niveles de circularidad. La fabricación y el uso más inteligentes de los productos, por ejemplo, mediante el intercambio de productos, generalmente se prefieren a la ampliación de la vida útil de los productos, porque esto implica que el producto se utiliza para la misma función o que se atienden más usuarios con un solo producto (estrategia con alta circularidad). La ampliación de la vida útil es la siguiente opción y le sigue el reciclaje de materiales a través de la recuperación. La incineración, de la cual se recupera energía, tiene la menor prioridad en una EC, porque significa que los materiales ya no están disponibles para ser aplicados en otros productos (estrategia de baja circularidad). Como regla general, más circularidad equivale a más beneficios ambientales. La siguiente figura resume las estrategias de EC y su priorización:

---

<sup>9</sup> Otra mirada similar tiene relación con “**augmentar la cohesión social**”, es decir, incrementar el grado de consenso de los miembros de un grupo social o la percepción de pertenencia a un proyecto o situación común.

<sup>10</sup> El consumo doméstico de materiales (DMC), mide la cantidad total de materiales utilizados directamente por una economía y se define como la cantidad anual de materias primas extraídas del territorio nacional, más todas las importaciones físicas menos todas las exportaciones físicas.

Figura N° 3: Estrategias de Circularidad en la cadena de producción, en orden de prioridad



Fuente: Cochilco en base a Potting et al. (2017)

### **6.1.3 Validez de métricas Economía Circular**

En el trabajo de Corona, Shen, Reike, Rosales, & Worrell (2019) se hace una revisión de métricas de EC y se plantean ocho requisitos de validez que constituyen una propuesta de ejes o ámbitos de acción a considerar:

1. Reducción del consumo de recursos, especialmente los escasos.
2. Reducción de los niveles de emisión (contaminantes y emisiones de gases de efecto invernadero).
3. Reducción de pérdidas y residuos de materiales.
4. Aumento del uso de recursos renovables y reciclados.
5. Maximización de la utilidad y durabilidad de los productos.
6. Creación de empleos locales en todos los niveles de habilidad.
7. Creación y distribución de valor agregado.
8. Mejora del bienestar social.

Los 8 requisitos de validez, es otro criterio a considerar para la formulación de indicadores.

### **6.1.4 Dimensiones de Desarrollo Sostenible**

El desarrollo sostenible es aquel que permite satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las capacidades de las futuras generaciones. En la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible, celebrada en Johannesburgo en el año 2002, se definieron tres dimensiones de desarrollo sostenible: económica, social y ambiental.

**Dimensión económica:** Refleja los efectos de la empresa en los sistemas económicos a todos los niveles y en las condiciones de las partes interesadas. Se enfoca en la economía en general y en las partes asociadas en términos económicos.

**Dimensión social:** Busca la equidad en la distribución de recursos, promueve la igualdad y los derechos humanos, y fomenta relaciones comunitarias saludables. Se centra en la participación popular, la diversidad cultural y la sostenibilidad corporativa.

**Dimensión ambiental:** Busca fuentes renovables de recursos, protege los ecosistemas y reduce el agotamiento de recursos. Incluye diversidad, producción biológica, energía y adaptabilidad. El compromiso de las empresas de revelar su desempeño ambiental indica conciencia y beneficios para su existencia y continuidad.

### **6.1.5 Indicadores de transición versus de desempeño**

En el trabajo de Lavinia, Daniel Vatca, Simina, & Bacali (2021), se señala que el concepto EC está lejos de ser completo, conciso y completamente definido. Sin embargo, son varios los países, entre ellos Chile, que avanzan a diferentes ritmos hacia una EC.

El sector minero chileno no es la excepción y hay empresas que han tomado acciones concretas para incorporar prácticas de EC y educar a sus trabajadores. Sin embargo, los avances son disímiles entre las empresas.

La EC es un concepto que, cuando se pone en práctica minimiza los impactos ambientales y sociales de las actividades humanas y estimula el crecimiento sostenible, basado en la conservación de los recursos (incluyendo la reducción de la entrada de materias primas y la minimización de la generación de residuos). Posiblemente, el proceso de transición desde una economía lineal a una circular finalizará con un nuevo concepto de economía, que incorporará conceptos separados y nuevos, como la economía "verde". En ese contexto el primer grupo de indicadores (de transición), proporcionan una visión más detallada del proceso de transformación y cambio en la estructura de la economía.

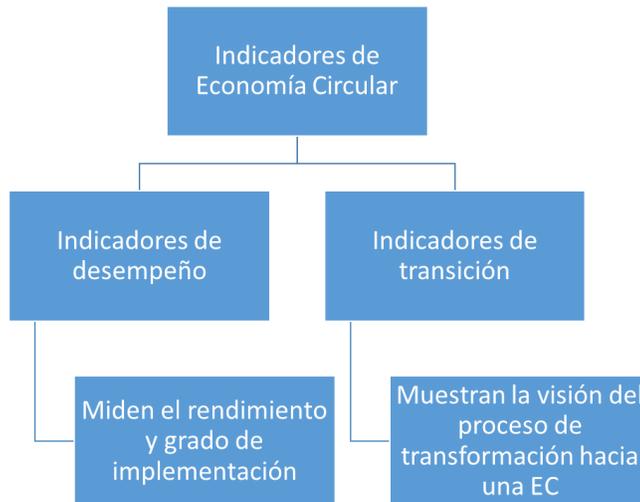
Adicionalmente y en línea con lo que señala Platform for Accelerating the Circular Economy (2021), para que los indicadores sean exitosos en respaldar la transición hacia una EC, deben ser consistentes, significativos, ampliamente aceptados y fáciles de usar y entender.

Un segundo grupo de indicadores (de desempeño), se centran en evaluar el rendimiento de una empresa en términos de adopción y resultados de prácticas circulares. Estos indicadores miden el grado de implementación de estrategias circulares, como la eficiencia en el uso de recursos, la reducción de residuos y la incorporación de materiales reciclados o renovables. También se utilizan para evaluar la generación de empleo y valor agregado. En resumen, el objetivo es evaluar el éxito y la efectividad de las acciones tomadas dentro del marco de la EC.

## **6.2 Indicadores de Economía Circular para la Minería**

En base a la revisión de literatura de la academia, organismos internacionales especializados en EC, algunas experiencias en países mineros y revisión de reportes de sustentabilidad de empresas mineras que operan en Chile, se propone un conjunto de indicadores, haciendo la distinción entre aquellos que miden la transición y el desempeño de una EC en el sector minero.

**Figura N° 4: Desagregación de indicadores de Economía Circular**



Fuente: Cochilco

A continuación, se detallan los indicadores:

### **6.2.1 Indicadores de Desempeño**

En la siguiente tabla se presentan 10 indicadores de desempeño que miden distintas dimensiones de la EC y pensados para ser utilizados por las empresas (nivel micro).

Tabla 1: Indicadores de desempeño de Economía Circular en la minería

N°	Indicadores de Desempeño	Existen experiencias de medición	Unidad de medida	Principios generales de EC	Principios EC en minería	Dimensiones Desarrollo Sostenible	Estrategia "R"	Validez
1	Tasa de recirculación de residuos (industriales, orgánicos y domiciliarios)	Sí	%	1,2	1,2,3,4,5	Ambiental	R3, R6, R7, R8, R9	V1, V2, V3, V4, V8
2	Tasa de uso de material reciclado/reusado	Sí	%	2	1,2,3,4,5	Ambiental	R3, R6, R7	V1, V3, V4, V8
3	Recirculación, reciclaje y reutilización de agua operacional	Sí	m3/seg	2	2,5	Ambiental	R3, R8	V1, V3, V4, V8
4	Emisiones Alcance 1, 2 y 3	Sí	t CO2e	3	5,6	Ambiental	R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R9	V2, V8
5	Energía renovable consumida	Sí	%	3	5,6	Ambiental	R2, R4, R9	V2, V4, V8
6	Empleos verdes	No	%	1,2,3	5,6	Social	R0, R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9	V6, V8
7	Inversión en capacitación (temas relacionados con EC)	No	US\$	1,2,3	1,2,3,4,5,6	Social	R0, R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9	V6, V8
8	Índice de Longevidad Circular	No	%	1,2	1,5,6	Económica	R3, R4, R5	V5, V8
9	Contratos de "servitización"	No	US\$ o Cant	1,2,3	1,5,6	Económica	R1, R2	V1, V5, V7, V8
10	Reciclaje de Desechos Mineros Intersectorial	No	%	1,2,3	1,2,3,4,5,6	Económica	R1, R2, R7, R8	V3, V4, V5, V7, V8

Fuente: Cochilco

Estrategia “R”: R0 Rechazar, R1 Replantear; R2 Reducir, R3 Reutilizar, R4 Reparar, R5 Renovar /refaccionar, R6 Remanufacturar, R7 Reutilizar, R8 Reciclar, R9 Recuperar.

Validez: V1 Reducción del consumo de recursos, especialmente los escasos; V2 Reducción de los niveles de emisión (contaminantes y emisiones de gases de efecto invernadero); V3 Reducción de pérdidas y residuos de materiales; V4 Aumento del uso de recursos renovables y reciclados; V5 Maximización de la utilidad y durabilidad de los productos; V6 Creación de empleos locales en todos los niveles de habilidad; V7 Creación y distribución de valor agregado; V8 Mejora del bienestar social.

El detalle de cada indicador se presenta a continuación:

- **Tasa de recirculación residuos**

Considera residuos industriales, orgánicos y domiciliarios. La recirculación de residuos se refiere al proceso de reintroducir los residuos generados por un determinado sistema o proceso nuevamente en el ciclo productivo o en otros sistemas, en lugar de desecharlos o enviarlos a vertederos. Implica recoger, tratar y utilizar los residuos como recursos o materias primas para nuevos procesos, promoviendo así la reutilización, el reciclaje y la recuperación de materiales. En nuestro caso considera la utilización de alguna de las estrategias “R”.

Un caso particular, es la adopción de las estrategias de EC para los insumos mineros necesarios para las labores de procesamiento de minerales y que han cumplido su vida útil. Por ejemplo, incluye los neumáticos, aceites, electrolitos, bolas y barras de molienda, plásticos, mangueras de riego de pilas, chatarra, etc.

Medición: (Residuos recirculados (industriales, orgánicos y domiciliarios) / Total de residuos generados) \* 100

- **Tasa de uso de material reciclado /reusado**

Proporciona información sobre el grado de incorporación de materiales reciclados o reutilizados en la producción, lo que refleja el nivel de circularidad en el uso de recursos. Cuanto mayor sea la tasa de uso de material reciclado/reusado, mayor será la reducción de la demanda de recursos naturales y la disminución de la generación de residuos, lo que contribuye a la sostenibilidad ambiental y al fomento de una EC. Está enfocado al uso de insumos y equipos mineros.

Medición: (Cantidad de material reciclado/reutilizado que ingresa al sistema / Cantidad total de material utilizado) x 100

- **Recirculación, reciclaje y reutilización de agua operacional**

Reutilización (agua sin tratamiento) y reciclaje (agua con tratamiento). El agua recirculada (tratada o no), se usa en la misma tarea operativa, en cambio el agua reutilizada y reciclada en otras.

A estas alturas, no cabe duda lo beneficioso que es para los ecosistemas locales y para la conservación de los recursos hídricos la recirculación del agua en la minería. Esto cobra aún mayor relevancia debido a que en el caso de Chile, parte importante de las faenas productoras de minerales se ubica en zonas desérticas donde el agua es un bien escaso. A lo anterior hay que agregar los efectos que está teniendo el cambio climático, al exacerbar los efectos de la sequía.

Medición: caudal (m<sup>3</sup>/seg).

- **Emisiones Alcance 1, 2 y 3**

La International Copper Association (ICA), entrega las siguientes definiciones para las emisiones alcances 1,2 y 3:

**Emisiones de alcance 1:** emisiones directas de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes de fuentes de propiedad o controladas.

**Emisiones de alcance 2:** emisiones indirectas de GEI asociadas con la compra de electricidad, vapor, calor o refrigeración.

**Emisiones de alcance 3:** todas las emisiones indirectas de GEI que no están incluidas en el alcance 2 y que ocurren en la cadena de valor de una empresa, tanto aguas arriba como aguas abajo.

Actualmente las empresas mineras declaran en sus informes de sustentabilidad las emisiones GEI alcances 1 y 2. Si bien ya hay empresas que declaran las emisiones alcance 3, la gestión de dichas emisiones plantea un desafío tal como lo señala la ICA (2023): “las colaboraciones activas en toda la cadena de valor del cobre tienen el potencial de mejorar la capacidad de la industria para reducir las emisiones de Alcance 3. Sin embargo, establecer y gestionar tales colaboraciones requerirá recursos sustanciales, así como acuerdos para asegurar que se alcancen los objetivos. Las relaciones contractuales con proveedores y clientes deben abordar problemas relacionados con el cumplimiento”.

Por otro lado, aún no hay un acuerdo en el sector respecto a la medición de las emisiones alcance 3, debido a que se han planteado distintas metodologías. Es esperable que en el mediano plazo, se logre un consenso en torno a una metodología común para medición de emisiones alcance 3.

Medición: toneladas de CO<sub>2</sub>e emitidas.

- **Energía renovable consumida**

Este indicador es relevante para evaluar el desempeño ambiental de la industria minera en términos de su contribución a la mitigación del cambio climático y a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero al utilizar fuentes de energía más limpias y sostenibles.

Se calcula dividiendo la cantidad de energía renovable utilizada en la operación (proveniente de fuentes como energía solar, eólica, hidroeléctrica, biomasa, geotérmica, entre otras) entre el consumo total de energía de la operación minera. Cabe señalar que el total de energía consumida va más allá del consumo de electricidad.

Medición:  $(\text{Energía Renovable} / \text{Total Energía consumida}) \times 100$ .

- **Empleos verdes**

Si bien la literatura que aborda los temas de EC habla de “trabajos circulares”, para la formulación del indicador se empleará la definición que la Organización Mundial del Trabajo (OIT) le asigna a los “empleos verdes”. Si bien el enfoque o noción del trabajo circular se centra específicamente en la EC y en cerrar los ciclos de materiales; los empleos verdes tienen un enfoque más amplio en la preservación y restauración del medio ambiente. Sin embargo, ambos conceptos se complementan en la búsqueda de una economía más sostenible y un futuro laboral más responsable con el medio ambiente.

Además, para el caso de los trabajos circulares, pueda que actualmente no exista un acuerdo transversal respecto a su definición<sup>11</sup>.

Según la OIT, los empleos verdes son empleos decentes que contribuyen a preservar y restaurar el medio ambiente ya sea en los sectores tradicionales como la manufactura o la construcción o en nuevos sectores emergentes como las energías renovables y la eficiencia energética.

Los empleos verdes permiten:

- Aumentar la eficiencia del consumo de energía y materias primas.
- Limitar las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Minimizar los residuos y la contaminación.
- Proteger y restaurar los ecosistemas.
- Contribuir a la adaptación al cambio climático.

Se puede distinguir entre dos tipos de empleos verdes; (i) empleos en sectores económicos verdes desde el punto de vista del producto final y (ii) funciones de trabajo en todos los sectores desde una perspectiva de proceso respetuoso con el medio ambiente.

Medición:  $(N^{\circ} \text{ Empleos Verdes} / N^{\circ} \text{ Total Empleos (propios y contratistas)}) * 100$

- **Inversión en capacitación (temas relacionados con EC)**

Está referido a la adquisición de conocimientos, habilidades y competencias relacionadas con los principios, prácticas y enfoques de la EC. Implica brindar a las personas la formación necesaria para comprender los conceptos fundamentales de la EC y cómo aplicarlos en diferentes contextos de una operación minera. Incluye aspectos relacionados con actividades que de una u otra forma se relacionan con alguna de las estrategias de EC.

Medición: US\$ invertidos en capacitación.

- **Índice de Longevidad Circular**

Este indicador busca cuantificar la capacidad de ciertos activos (equipos y maquinarias), para mantener su funcionalidad y valor a lo largo del tiempo, evitando la obsolescencia y

---

<sup>11</sup> Trabajo Circular es cualquier ocupación que implique directa o indirectamente una de las estrategias de la Economía Circular. <https://www.circle-economy.com/circular-jobs-initiative/circular-jobs>

fomentando la reutilización, reparación y reciclaje. Mide la extensión de la vida útil o tiempo de operación de un activo X, que ha sido intervenido para extender su operación.

Si bien es una métrica que plantea dificultades en su medición, debido a que no es posible comparar la vida útil de un sinnúmero de activos disímiles; tiene por objetivo medir la capacidad que tienen o podrían alcanzar ciertos activos mineros específicos de extender su vida útil luego de ser sometidos a procesos de mejora. Por ejemplo, vida útil promedio que puede alcanzar un camión, palas, cargadores, poleas para correas transportadoras, motores, equipos de bombeo, ventiladores, etc., luego de ser sometidos a un proceso de overhaul.

Hay que tener en consideración que en algunos casos, una intervención para extender la vida útil de un activo puede no ser rentable o viable si los equipos más nuevos ofrecen ventajas significativas. De lo anterior, se desprende la necesidad de desarrollar un ecosistema de proveedores mineros que oferten equipos y maquinarias diseñados y fabricados bajo la concepción de EC.

Este es un indicador que en el largo plazo debería tender a coexistir con el indicador “contratos de servitización”.

También es importante determinar qué activos son los que presentan las mayores ventajas para ser supervisados con este indicador.

Medición:  $(\text{Vida Útil Extendida activo } x / \text{Vida Útil Original activo } x) * 100$

- **Contratos de “servitización”**

Indicador que busca medir la práctica de reducir el consumo de materiales a través de un cambio orientado a transformar a los consumidores de productos, en usuarios de servicios. Según el World Economic Forum<sup>12</sup>, con un modelo de servitización, el cliente paga una tarifa fija por unidad de servicio consumida, mientras que la propiedad del sistema permanece en el proveedor de tecnología, quien sigue siendo responsable de todos los costos de operación. Como tal, el modelo incentiva fuertemente al propietario del equipo, es decir, al proveedor del servicio, a pensar a largo plazo al diseñar y seleccionar la tecnología. Al ofrecer un mantenimiento de última generación, el proveedor puede minimizar los costos operativos, en particular el uso de energía, que es el componente de mayor costo durante el ciclo de vida del equipo. Mantener la propiedad del equipo también anima a los proveedores de servicios a repensar el desarrollo de sistemas modulares, que es clave para una EC.

Medición: Número de contratos de "servitización" o Valor de los contratos de servitización (US\$).

---

<sup>12</sup> What is servitization, and how can it help save the planet?

<https://www.weforum.org/agenda/2020/11/what-is-servitization-and-how-can-it-help-save-the-planet/>

- **Reciclaje de Desechos Mineros Intersectorial**

Con mayor frecuencia, se están concretando proyectos y/o emprendimientos que desarrollan productos a partir del reciclaje de desechos provenientes de la minería, los cuales a su vez se emplean como insumos o productos en otros sectores de la economía.

Este indicador proporcionaría una medida específica de la eficiencia y la integración de la minería con otros sectores en términos de reciclaje de desechos mineros. Cuanto mayor sea el valor del índice, mayor sería la cantidad de desechos mineros reciclados que se utilizan como insumos en otros sectores, lo que reflejaría una mayor colaboración y aprovechamiento de los recursos entre diferentes industrias.

Medición: (Desechos mineros reciclados utilizados en otros sectores / Total de desechos mineros reciclados) x 100

Si bien el ideal es contar con una medida de los flujos de productos reciclados que entran y salen del sector minero; el indicador solo se considera los flujos de salida debido a la factibilidad en su medición.

### 6.2.2 Indicadores de Transición

Se trata de indicadores transversales en el sentido que abarcan todas las estrategias de EC, principios, dimensiones de sostenibilidad y validez. Sin embargo, difieren en cuanto al alcance (macro, meso o micro).

**Tabla 2: Indicadores de transición de Economía Circular en la minería**

<b>N°</b>	<b>Indicadores de Desempeño</b>	<b>Alcance</b>
1	Definición de aspectos regulatorios de EC	Macro
2	Estrategia para implementar la EC	Micro
3	Educación & Conciencia de la EC en el sector minero	Macro, meso y micro
4	Fomento de la Economía Circular	Meso y micro
5	Diseño Circular incorporado en las ingenierías de nuevos proyectos	Micro

Fuente: Cochilco

El detalle de los indicadores de transición es el siguiente:

- **Definición de aspectos regulatorios de EC**

El indicador está referido al desarrollo y establecimiento de marcos regulatorios y normativos que promuevan y faciliten la adopción de prácticas circulares en la minería y en otros sectores que inciden directamente sobre el primero.

- **Estrategia para implementar la EC**

Indicador que se refiere al conjunto de acciones y enfoques planificados que una operación minera adopta para integrar los principios de la EC en su funcionamiento y procesos. Abarca una serie de aspectos, tales como, identificar oportunidades para mejorar la eficiencia en el uso de los recursos, diseñar procesos más sostenibles, establecer sinergias con otros actores de la cadena de valor, fomentar la innovación en procesos, etc.

- **Educación & Conciencia de la EC en el sector minero**

Conjunto de actividades y programas destinados a informar, capacitar y sensibilizar a los actores involucrados en la industria minera sobre los principios, beneficios y prácticas de la EC, así como promover su adopción y aplicación en todas las etapas del ciclo minero.

En una primera etapa se busca crear conciencia sobre los desafíos ambientales y sociales asociados con la extracción y procesamiento de minerales, así como destacar las oportunidades y soluciones que ofrece la EC en este sector. A modo de ejemplo, algunas actividades que podrían estar dentro del alcance del indicador son:

- Desarrollo de material educativo.
- Organización de talleres y seminarios.
- Elaboración de programas de capacitación.
- Campañas de comunicación.
- Incorporar la EC en programas académicos de carreras del sector.
- Etc.

- **Fomento de la Economía Circular**

Recursos (privados y públicos) que las empresas destinan para la implementación de estrategias, políticas y acciones orientadas a promover un enfoque sostenible en el sector minero, con el objetivo de optimizar el uso de los recursos e insumos, minimizar los residuos generados y maximizar el valor de los materiales e insumos a lo largo de todo el proceso productivo. Esto implica la concreción de iniciativas de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) que impulsen la adopción de prácticas circulares, como la reutilización, el reciclaje, la remanufactura y el diseño de procesos circulares.

Medición: US\$ invertidos ó cantidad de iniciativas concretadas, categorizados según I+D e innovación.

- **Diseño Circular incorporado en las ingenierías de nuevos proyectos**

Identificar si los principios de EC se aplican en el proceso de diseño de las nuevas operaciones y quedan plasmadas en las ingenierías básicas y de detalle de proyectos mineros (brownfield y greenfield). Cuanto mayor sea la integración de los conceptos de diseño circular, mayor será el puntaje o valoración del indicador.

Medición: Indicador cualitativo que mide aspectos de EC incorporados en la ingeniería, por ejemplo: diseño circular, uso de materiales reciclados, uso de energías limpias, minimización de residuos, etc.

## 7 Comentarios finales

El presente documento constituye un esfuerzo para definir indicadores de EC para el sector minero. Si bien fueron pensados para ser utilizados en la minería del cobre, se plantean un conjunto de indicadores aplicables en otros subsectores.

Además, la propuesta es un insumo para la meta 56 de la Política Nacional de Minería al 2050, la cual promueve la generación de indicadores de circularidad en línea con los compromisos de la Contribución Determinada a Nivel Nacional al 2022.

A diferencia de cómo comúnmente se presenta y aborda en el sector, la EC es un modelo de producción y consumo que va muchos más allá de la recuperación de especies de valor desde los relaves mineros. Al respecto son varios los desafíos que se deben enfrentar a nivel macro y meso para que las empresas puedan llevar a cabo de manera exitosa sus estrategias u hojas de ruta hacia una EC (si es que las tienen definidas).

Entre los desafíos que el sector minero deberá enfrentar para avanzar hacia un modelo de EC se tiene:

- Ciclo de vida de los activos: Los equipos y maquinaria utilizados en la minería suelen tener ciclos de vida extensos. Reemplazarlos o actualizarlos para hacerlos más eficientes desde el punto de vista del uso de recursos puede ser costoso y complicado.
- Residuos y desechos mineros: La minería genera residuos y desechos, que a menudo contienen sustancias tóxicas o peligrosas. La gestión adecuada de estos residuos es esencial para una EC, pero puede ser costosa y requerir de tecnologías avanzadas (importancia de la I+D+i).
- Alta inversión inicial: La transición hacia un enfoque circular en la minería a menudo requiere inversiones significativas en tecnologías y una transformación hacia la adopción de procesos más sostenibles.
- Cambios en la cadena de suministro: La EC implica cambios en la cadena de abastecimiento, incluyendo la incorporación de materiales reciclados o recuperados y nuevos modelos de negocio. Esto puede requerir la reestructuración de las relaciones con los proveedores del sector y la inversión en nuevas capacidades.
- Regulaciones y estándares: La implementación de la EC en el sector minero requiere del apoyo de regulaciones y estándares que faciliten la transición hacia el nuevo modelo. Al respecto hay avances y cobra relevancia la colaboración entre gobierno, empresas y partes interesadas.
- Educación y capacitación: Para adoptar prácticas circulares, se necesita capacitar al sector en las nuevas técnicas y enfoques.

Dado lo anterior, la formulación de indicadores de circularidad en las operaciones mineras está en desarrollo y, por lo tanto, aún están pendientes los resultados de los esfuerzos de las empresas. Una vez que se logre una cierta madurez de los indicadores, se podrá establecer una línea base en EC en la minería, es decir una referencia esencial para medir, evaluar y mejorar las prácticas de circularidad en esta industria clave para el país, promoviendo un uso más eficiente de los recursos y reduciendo el impacto ambiental.

## Indicadores de Economía Circular en la Minería Chilena

Para apoyar los esfuerzos, Cochilco evaluará la factibilidad de llevar a la práctica la medición y seguimiento de los indicadores propuestos en este trabajo. Además, ponderará mejoras, así como también la fijación de metas.

Hay que estar atento a las directrices que prontamente publicará la ISO respecto a los lineamientos a considerar al momento de la formulación de métricas de EC.

Sin embargo, a priori, la propuesta de métricas de este trabajo pareciera que están en línea con los ámbitos de acción en donde una operación minera puede gestionar esfuerzos para llevar a cabo iniciativas relacionadas con EC. Es más, algunos de los indicadores propuestos ya son utilizados en el sector, como el reciclaje de residuos y del agua, pero hay otros que son más ambiciosos como la servitización de productos. Al respecto, en este último tema juegan un rol fundamental las iniciativas que puedan plantear el sector de proveedores, en el sentido de idear e implementar nuevos modelos de negocios para que sus productos sean viables comercialmente. No hay que perder de vista la importancia de la componente de rentabilidad, ya que si no se logra, es difícil que prospere.

## 9 Referencias

- Anglo American. (2022). *Reporte de Sustentabilidad 2021*.
- Antofagasta Minerals. (2022). *Reporte de Sustentabilidad 2021*.
- CAP. (2022). *Memoria Integrada 2021*.
- Circle Economy & Platform for Accelerating the Circular Economy (PACE). (2020). *Circular Metrics for Business. Finding opportunities in the Circular Economy*.
- Circle Economy. (2020). *Circular Metrics for Business - Finding opportunities in the circular economy*.
- CircularTec. (2022). *El arribo de la Economía Circular a la minería primaria de Chile, Perú y Colombia*.
- Codelco. (2022). *Memoria Anual 2021*.
- Collahuasi. (2022). *Reporte de Sustentabilidad 2021*.
- Corona, B., Shen, L., Reike, D., Rosales, J., & Worrell, E. (2019). *Towards sustainable development through the circular economy - A review and critical assessment on current circularity metrics*.
- Ekins, P., Domenech, T., Drummond, P., Bleischwitz, R., Hughes, N., & Lotti, L. (2019). *The Circular Economy: What, Why, How and Where*. UCL Institute for Sustainable Resources, University College London .
- Enviro Integration Strategies Inc. (2021). *Towards a Circular Economy approach to mining operations*.
- Halog, A., Balanay, R., Anieke, S., & Yan Yu, T. (2021). *Circular Economy across Australia: Taking Stock of Progress and Lessons*.
- ICA. (2023). *Copper The Power to Net Zero*.
- ICMM. (2016). *Mining and metals and the circular economy*.
- International Organization for Standardization. (16 de marzo de 2023). ISO. Obtenido de <https://www.iso.org/home.html>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). *Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions*.
- Lavinia, R., Daniel Vatca, S., Simina, E., & Bacali, L. (2021). *A Critical Review of EU Key Indicators for the Transition to the Circular Economy*.
- Lundin Mining. (2022). *Sustainability Report 2021*.
- Minera El Abra. (2022). *Informe de Gestión Social y Ambiental 2021*.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2021). *Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040*. Obtenido de <https://economiecircular.mma.gob.cl/hoja-de-ruta/>
- Ministerio de Minería. (2023). *Política Nacional Minera 2050*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1188415>
- Platform for Accelerating the Circular Economy (PACE). (2021). *Circular Indicators for Governments. Accelerating action in the circular economy*.

- Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). *Circular Economy: Measuring innovation in the product chain*. Reporte.
- Samaniego, J. L., Rodón, E., Herrera, J., & Santori, S. (2022). *Panorama de las hojas de ruta de economía circular en América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago.
- Sierra Gorda SCM. (2022). *Reporte de Sustentabilidad 2021*.
- Sociedad Nacional de Minería SONAMI. (Noviembre de 2021). *Boletín Minero*. Obtenido de <https://www.sonami.cl/v2/n1355-noviembre-2021/>
- Upadhyay, A., Laing, T., Kumar, V., & Dora, M. (2021). *Exploring barriers and drivers to the implementation of circular economy*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102037>
- Young, A., & Barreto, M. (2021). *Towards a circular economy approach to mining operations- key concepts, drivers and opportunities*.

Este trabajo fue elaborado en la  
Dirección de Estudios y Políticas Públicas por:

**Ronald Monsalve Helfant**  
Analista Mercado Minero

**Víctor Garay Lucero**  
Director de Estudios y Políticas Públicas (s)

Agosto / 2023