

# CINCO NICHOS SOCIO-TECNOLÓGICOS CRÍTICOS

PARA UNA MINERÍA SOSTENIBLE EN LA REGIÓN ANDINA

RESUMEN EJECUTIVO



NOVIEMBRE 2022

**CESCO**

CENTRO DE ESTUDIOS  
DEL COBRE Y LA MINERÍA  
—  
CENTER FOR COPPER  
AND MINING STUDIES



giz



SMIICEChile



Corporación  
Capital  
Biodiversidad



---

**Coordinador del Informe** Osvaldo Urzúa

<b>AUTORES</b>	<b>TEMA</b>
Douglas Aitken, SMI – Centro Internacional de Excelencia	<i>Infraestructura hídrica compartida en Chile y Perú</i>
Bárbara Saavedra, WCS-Chile	<i>Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)</i>
Alejandra Figueroa, Corporación Capital Biodiversidad	
Gianni López, Centro Mario Molina	<i>Electromovilidad para una minería sin emisiones</i>
Lourdes Becerra, Centro Mario Molina	
Andree Henríquez, CircularTEC	<i>Economía circular en la minería primaria</i>
Cristian Mosella, EnergyLab	<i>Clubes de carbono para la compensación de emisiones</i>
Francisca Cid, EnergyLab	

Con el apoyo de la Cooperación Alemana para el Desarrollo, implementada por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

**CESCO**

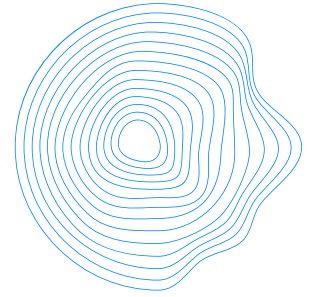
CENTRO DE ESTUDIOS  
DEL COBRE Y LA MINERÍA  
—  
CENTER FOR COPPER  
AND MINING STUDIES



Implementado por  
**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



## [1] ANTECEDENTES



El aumento de la demanda de minerales tales como cobre y litio debido a la transición energética y los requerimientos sociales por una minería con menor impacto, han puesto a la industria minera en una posición desafiante para poder alinearse con estas exigencias.

Entendiendo, además, que estos desafíos requieren de una visión multidisciplinaria, integrativa y colaborativa es que se lleva a cabo el proyecto "Factores críticos para el desarrollo de nichos socio-tecnológicos de alto valor e impulsores de una minería sostenible en la región Andina". Su objetivo es identificar y caracterizar los desafíos y oportunidades críticas que enfrenta el sector minero en la región para transitar hacia una minería más sostenible, en conjunto con distintas organizaciones y representantes del gobierno, empresas y sociedad civil. El proyecto fue coordinado por CESCO y contó con el apoyo de la Cooperación Alemana para el Desarrollo.

La selección de los 5 nichos es resultado del proyecto "Revolución Tecnológica en la Gran Minería de la región Andina: Políticas y esfuerzos colaborativos para el pleno despliegue de la Revolución Tecnológica"<sup>1</sup>. En el marco de este proyecto, se identificaron estas temáticas como áreas específicas de trabajo en las que habría que profundizar, desde una visión sistémica e integradora, los desafíos y oportunidades de la revolución digital con los desafíos socio-ambientales. Ello con el fin de analizar el potencial que puede jugar el sector minero como una plataforma de transformación productiva y económica, donde incrementos de productividad de la minería se vean acompañados de una agenda de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), fortalecimiento de la resiliencia climática, de reducción de impactos socio-ambientales, la generación de encadenamientos y empleo de calidad.

---

<sup>1</sup> Este trabajo se enmarca en el "Proyecto Nuevas Tecnologías, un Nuevo Trato - New Tech, New Deal" del Foro Intergubernamental sobre Minería, Minerales, Metales y Desarrollo Sostenible (IGF), en asociación con el Centro para la Inversión Sostenible de Columbia (CCSI) y el Programa de Valor Compartido en Minería. Este proyecto cuenta con el apoyo de la Cooperación Alemana para el Desarrollo, implementada por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Los 5 nichos de estudio son: **(i)** Infraestructura hídrica compartida en Chile y Perú; **(ii)** Soluciones basadas en la naturaleza (SbN); **(iii)** Electromovilidad para una minería sin emisiones; **(iv)** Economía circular en la minería primaria; y **(v)** Clubes de carbono para la compensación de emisiones. Aunque estos nichos no son un listado exhaustivo de todas las áreas críticas asociadas a la minería, y cada uno tiene particularidades, distintos alcances y se encuentran en distintos estados de madurez para la minería, se considera que su análisis conjunto permite tener una visión amplia de los desafíos claves de la transición que debe enfrentar la minería. Asimismo, se busca identificar las posibles áreas de interacción y un primer set de soluciones innovadoras de distinta naturaleza –tecnológicas, organizacionales o institucionales, de políticas públicas, o de acción colectiva– para abordarlos, y junto con ello, identificar el rol de la minería como impulsora para cada uno de los nichos.

Entre los mayores valores que se relevan del proyecto está el haber sentado a conversar a más de 70 expertos de Chile, Perú y Colombia, de distintas disciplinas –ingenieros, economistas, científicos, biólogos, entre otros– y sectores –industria, gobierno, universidades y centro de estudio– en torno a los 5 nichos antes identificados. Ello, con el objetivo de dar una mirada holística a cada uno y sus interrelaciones de forma de capturar oportunidades y abordar desafíos de forma de avanzar hacia una minería sustentable especialmente para fortalecer la reducción de emisiones y la resiliencia climática. Al mismo tiempo, se trata de 5 nichos con distintos grados de madurez en su desarrollo tanto en la industria minera como en la economía en términos más amplios. Mientras que en el caso de la electromovilidad CAEX ya se encuentra con un nivel de desarrollo mayor y con experiencias piloto, en el caso de las SbN posiblemente se trata de una de las primeras ocasiones en que se le da una mirada más profunda a sus vínculos tanto con la industria minera como con los otros nichos.

Una de las principales conclusiones del proyecto es que el desafío que enfrenta la minería es multidimensional, lo que implica todo un cambio de paradigma. En efecto, esta transición no solo se refiere al cambio tecnológico –por ejemplo, el uso de tecnologías de automatización en los procesos de transporte minero– sino que también involucra abrazar cambios en las formas de organizar la producción, la economía, el comercio y las relaciones con la sociedad y la naturaleza para transitar hacia una minería sostenible. En particular, desafíos tales como el reducir las emisiones GEI, abordar la crisis ecológica e hídrica y robustecer la resiliencia, el uso de energías limpias, y reducir la inequidad y el descontento social, son prioritarios. En este contexto, el cambio tecnológico puede ofrecer herramientas que ayuden al abordaje de estos desafíos desde la minería.



El documento presenta una síntesis de los principales hallazgos del proyecto. Para encontrar mayores detalles de la información, análisis de cada uno de los 5 nichos, y referencias de respaldo, por favor dirigirse a los documentos de trabajo<sup>2</sup> desarrollados por las 5 organizaciones expertas responsables de su desarrollo y que se encuentran disponibles en el sitio web de CESCO (<https://www.cesco.cl/analisis-y-estudios/>).

**Tabla 1: 5 Nichos socio-tecnológicos y organizaciones expertas asociadas**

NICHOS SOCIO-TECNOLÓGICO	ORGANIZACIÓN EXPERTA
Infraestructura hídrica compartida en Chile y Perú	SMI – Centro Internacional de Excelencia
Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)	WCS y Corporación Capital Biodiversidad
Electromovilidad para una minería sin emisiones	Centro Mario Molina
Economía circular (EC) en la minería primaria	Centro Tecnológico de Economía Circular, CircularTEC
Clubes de carbono para compensar emisiones	EnergyLab

<sup>2</sup> Aitken D. (2022) *Infraestructura hídrica compartida en Chile y Perú*. Documento preparado para CESCO.

Becerra L. y G. López (2022) *Electromovilidad para una minería baja en emisiones*. Documento preparado para CESCO.

Henríquez, A. (2022) *El arribo de la economía circular a la minería primaria de Chile, Perú y Colombia*. Documento preparado para CESCO.

Mosella, C. y F. Cid (2022) *Compensaciones de CO2 como mecanismo de cumplimiento y vinculación entre mercados de carbono en LATAM (2020-2030)*.

Saavedra B. y A. Figueroa (2022) *Soluciones basadas en la naturaleza como oportunidad para Chile y Perú en el contexto minero*. Documento preparado para CESCO.

## [2] VISIÓN GENERAL DE LOS 5 NICHOS Y SUS INTERACCIONES

Se identifican numerosas interacciones entre los 5 nichos, lo cual sugiere el imperativo de comenzar a dar una mirada sistémica para superar la lógica de silos y poder capturar las oportunidades y vencer las barreras, con el fin de aprovechar las sinergias que impactarían tanto la productividad en la minería y su efecto como motor de un desarrollo sostenible.

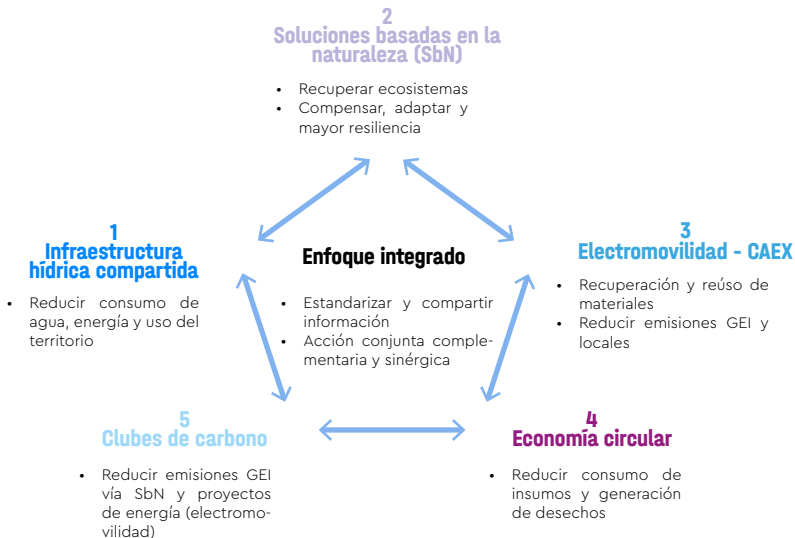
Entre las interacciones más relevantes se destacan:

El concepto de infraestructura hídrica compartida se relaciona con dos nichos en particular. Por un lado, con EC ya que el intercambio de recursos es una de las cascadas internas del modelo tradicional de EC que permite un mayor uso de los materiales, una reducción en la demanda y de los residuos. La base de la infraestructura compartida de agua es tener una infraestructura material común, tanto para las plantas de tratamiento de agua como las tuberías, además de dividir costos e impactos asociados con los sistemas de suministro de agua. Esto permite reducir los costos de cada parte y los impactos ambientales. También puede existir un enlace a través de la recirculación de agua dentro del sistema. El desarrollo de un sistema de suministro de agua compartido facilita y fomenta el intercambio de agua entre usuarios. Las aguas residuales de un usuario podrían potencialmente enviarse a otro que tenga requisitos de calidad de agua más bajos, evitando así el uso innecesario de agua de mayor calidad. Por el otro, se relaciona con las SbN incluyendo la restauración y protección de ecosistemas, ya que la infraestructura de agua compartida puede reducir las presiones sobre el uso de agua dulce, el daño a los ecosistemas y puede evitar impactos innecesarios al minimizar las perturbaciones costeras y terrestres; la adaptación climática, toda vez que los sistemas compartidos de suministro de agua no dulce pueden brindar seguridad hídrica durante las sequías inducidas por el cambio climático; y la integración, pues la infraestructura de agua compartida puede integrarse con nuevas fuentes de agua, como agua dulce y sistemas de tratamiento de agua natural.

En cuanto a la electromovilidad –reconversión de Camiones de Extracción de Alto Tonelaje (CAEX)–, existe una fuerte relación con la EC, debido a la necesidad de cambio en el modelo de producción y consumo para migrar hacia uno donde se implementen nuevos modelos de negocios asociados a la recuperación y reutilización

de componentes sometidos a un proceso de renovación. El proceso de ensamblaje de un camión minero, por las dimensiones, tiene ciertas particularidades que pueden utilizarse a favor de una reconversión tecnológica. Por razones de peso principalmente, cada camión es enviado en partes y ensamblado por única y primera vez en un lugar lo más cercano posible a la faena donde va a operar. Si existe potencial de ensamblaje en la región, es viable la disposición final adecuada que promueva actividades de recuperación o remanufactura para moverse hacia una economía circular. Más aún, la remanufactura consiste en reacondicionar la maquinaria por completo de tal manera que cumpla los estándares de una nueva de la OEM (Original Equipment Manufacturer), con trazabilidad y garantías. Esta puede orientarse y ser abordada desde una perspectiva de EC que impulse una reconversión tecnológica aprovechando el valor residual del CAEX a la vez que se innova en el diseño de un CAEX cero emisiones.

Figura: Mapa de Relaciones entre Nichos



Fuente: elaboración propia



La EC, más allá de las interacciones ya especificadas con CAEX, permite integrarse en otros nichos tecnológicos estudiados. En los procesos de retrofit o reacondicionamiento de equipos y maquinarias para abandonar el uso de combustibles fósiles por energía eléctrica en otros procesos térmicos es una opción. Asimismo, la remanufactura de partes y componentes abre oportunidades en la reducción indirecta de la minería de metales que son utilizados dentro de sus procesos productivos como son las bombas de extracción de agua, bolas de molienda, materiales de desgaste, entre otras. Para la regeneración de ecosistemas, la EC promueve el uso de SbN que permitan mitigar el impacto de relaves y desechos que históricamente han sido críticos en las relaciones con las comunidades cercanas a las operaciones. En el mismo ámbito de SbN, mediante el rediseño de productos y procesos pensados con base en la EC, permite contribuir a la reducción del uso del recurso hídrico.

Finalmente, los clubes de carbono se conectan especialmente con los nichos de SbN, EC y electromovilidad, en su rol como eventuales proveedores de alternativas de compensación de GEI para lograr los compromisos de mitigación del sector industria y minería.



## [3] OPORTUNIDADES

A nivel particular de cada nicho estudiado se relevan las siguientes oportunidades:

### a. Infraestructura Hídrica

El territorio chileno está compuesto por 101 cuencas<sup>3</sup>; con el objetivo de desarrollar el sector minero abordando las preocupaciones sobre la creciente escasez hídrica, hace algunos años se inició una transición hacia abandonar el uso de agua continental e incorporar agua de mar en forma directa o desalinizada, tendencia que se espera que continúe aumentando en los próximos diez años. En efecto, tanto el gobierno de Chile como el sector privado han invertido en plantas desaladoras e infraestructura de transporte de agua. Mientras el Ministerio de Minería en el año 2012 proyectaba una inversión de US\$3.900 millones<sup>4</sup>, para el año 2019 se catastraban 24 plantas desalinizadoras operando, y 22 otros proyectos en diferentes etapas de desarrollo<sup>5</sup>.

El territorio peruano, por su parte, está compuesto por 159 cuencas hidrográficas<sup>6</sup> y al año 2018 se catastraban 8 plantas desaladoras de agua, de las cuales solo una es para consumo humano, y el resto para la minería, riego y producción de energía<sup>7</sup>. Perú tiene dentro de su cartera de proyectos en minería 5 proyectos acerca del uso de agua de mar como fuente de abastecimiento de agua, equivalente a US\$4.654 millones, lo cual representa aproximadamente el 8,1% de la inversión total en términos de abastecimiento de agua<sup>8</sup>.

3 DGA. (2016). *Atlas del Agua. Chile 2016*.

4 La Tercera. (2012). *Mineras multiplican proyectos de desalinización para enfrentar la escasez hídrica en Chile*.

5 CPI. (2019). *Megasequía impulsa desarrollo de desaladoras en Chile: ya hay 24 plantas operando y hay otros 22 proyectos en diferentes etapas de avance*.

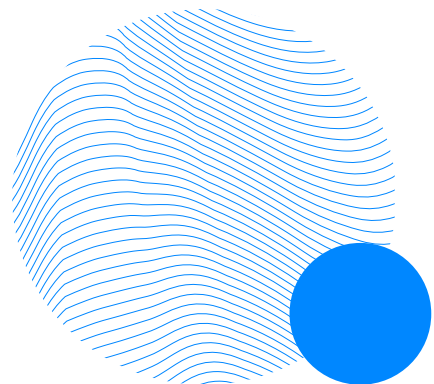
6 Autoridad Nacional de Aguas. (2014). *La ANA inicia estudios de evaluación de recursos hídricos en 12 cuencas hidrográficas del Perú*.

7 Plataforma digital única del Estado peruano. (2018). *Ministerio de Vivienda promueve 3 nuevas plantas desaladoras en Lima y Moquegua*.

8 Lewinsohn (2021) *Estado del arte de las estadísticas minera del uso de agua y energía*. Fuente: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/46596>

A medida que aumentan las inversiones en plantas de desalinización y la infraestructura relacionada, existe la oportunidad de coordinar la planificación del suministro de agua y las inversiones dentro de las regiones y cuencas para conectar las fuentes de suministro de agua con múltiples usuarios y permitir el intercambio de infraestructura y recursos. Más aún, el concepto de infraestructura hídrica compartida tiene un potencial considerable para proporcionar una plataforma que apunte a una mayor competitividad, desarrollo socioeconómico y conservación de ecosistemas en zonas áridas ricas en minerales entre Lima y Santiago.

En este contexto, el caso de estudio aquí realizado busca ofrecer una primera noción respecto de los potenciales beneficios económicos asociados a la implementación de un suministro de agua compartido optimizado. Se comparan 2 escenarios de suministro de agua que satisfacen la demanda de agua de la minería en la región de Atacama de Chile, donde el primero corresponde a una situación en la que cada minera se abastece por la conexión más eficiente de manera individual a una planta desalinizadora, y el segundo se conecta a una red de abastecimiento de agua optimizada de infraestructura compartida. Así, solo considerando los menores requerimientos de inversión en tuberías a partir del caso de estudio de la región de Atacama, se identifica que podrían existir ahorros sustanciales de costos (capital y operacional), comparando con un modelo no optimizado, con un ahorro por sobre 40% solo considerando los costos de las redes de tuberías y no los de las plantas desalinizadoras. Aunque se trata solo un valor referencial, y no aplicable a todos los territorios, sugiere un argumento tanto económico como ambiental de implementar sistemas de suministro de agua compartidos.



## b. Electromovilidad CAEX

El sector minero en Chile consume el 35% de la electricidad y el 20% del diésel del país; mientras que en Perú el 55% de las emisiones de GEI de la minería provienen de la quema de diésel. Avanzar en reducir el consumo de combustibles fósiles es un desafío particularmente crítico para la competitividad de la industria minera del cobre en Chile y Perú, ya que entre ambos concentran el 40% de la producción primaria de cobre a nivel mundial.

Los CAEX consumen grandes cantidades de diésel para operar, demandando del orden de hasta 4 mil litros de combustible al día, todo el año, donde las emisiones de GEI derivadas de estos equipos en Chile, corresponden a más del 5% de las emisiones nacionales. Entre Perú y Chile, se estima que las unidades de CAEX superan los 3.500 equipos que tienen posibilidades de ser reconvertidos y/o reemplazados<sup>9</sup>. La re-manufactura, consiste en reacondicionar la maquinaria por completo de tal manera que cumpla los estándares de un equipo nuevo de la OEM, con trazabilidad y garantías.

Aún no existen soluciones comercialmente maduras asociados a CAEX cero emisiones y esperar a que la tecnología esté disponible podría significar no poder cumplir con las metas de reducción de emisiones. Alternativamente, identificar estrategias y políticas de reconversión tecnológica mediante la generación de proyectos de innovación que den soluciones tecnológicas para acelerar la descarbonización y que incluyan nuevos modelos de negocios con soluciones customizadas para la industria minera puede abrir numerosas oportunidades. Entre las más importantes, ayudaría a cumplir con las metas de descarbonización en plazos menores, en un contexto donde Chile posee una tasa de recambio anual de aproximadamente 50 camiones de extracción o CAEX<sup>10</sup>, lo que significa que la tasa de reemplazo de máquinas debería duplicarse para lograr las metas de descarbonización o como mínimo mantenerse, asumiendo que los nuevos equipos son de bajas o nulas emisiones. Asimismo, permite generar unos menores valores de inversión toda vez que el valor CIF de las importaciones de CAEX en Chile alcanzó los US\$216 millones en el 2020, el valor más alto en 6 años, aun cuando se importaron 12 equipos usados; considerando que el costo por CAEX osciló en torno a los US\$3,7 millones en 2020, la estrategia de reconversión entonces podría requerir

---

<sup>9</sup> CESCO. 2021. *Revolución tecnológica en la gran minería de la región Andina*.

<sup>10</sup> Cochilco. (2021). *Análisis del mercado de insumos críticos en la minería del cobre 2020*.

niveles de inversión por debajo del monto de importación reportado. Más aún, algunos proveedores de CAEX mineros como Caterpillar ya han puesto en práctica la re-manufactura de equipos, lo cual puede generar ahorros entre 30-50% de costos de compra al consumidor final.

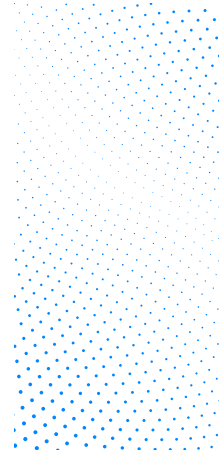
Junto con ayudar a alcanzar las metas de descarbonización y beneficios económicos, una estrategia de reconversión también permite ir desarrollando algunas de las capacidades necesarias una vez que las tecnologías cero emisión estén disponibles, impulsando también actividades productivas y empleo con una aproximación de economía circular y en alianza con OEMs (fabricantes) y líderes tecnológicos internacionales.

### c. Economía Circular (EC)

La importancia de implementar modelos de EC en el sector minero nace de la relevancia que este modelo posee para cumplir con los compromisos de carbono neutralidad, mitigación y adaptación al cambio climático. Visto desde una perspectiva amplia, la EC es parte de un set de acciones de cada nicho tecnológico analizado en el proyecto, contribuyendo al desarrollo sustentable de la industria minera.

En la región Andina, Chile, Perú y Colombia cuentan con sus respectivas hojas de ruta y/o estrategias nacionales de EC, que entregan un marco general de acciones y han avanzado en la generación de diversas leyes de responsabilidad extendida de los productores (REP) para diversos productos<sup>11</sup>, los cuales se suman a una importante cantidad de disposiciones nacionales que regulan la actividad minera en materias ambientales, pero aún falta abordar otros procesos.

En base a 2 ejemplos concretos de residuos mineros – relaves y bolas de molienda – se buscó ilustrar las potenciales oportunidades que la EC representa. En el caso de los relaves se analizó su aplicación en cemento, ladrillos y baldosas, hormigón, pintura y re-procesamiento. Considerando un precio por tonelada de cobre de US\$8.708, el potencial de negocio alcanza los US\$14.423.547, con un aporte a la disminución de GEI de 9.441.228 CO<sub>2</sub> equivalentes.



---

<sup>11</sup> Miguel, C., Martínez, K., Pereira, M., & Kohout, M. (2021). *Economía circular en América Latina y el Caribe: oportunidad para una recuperación transformadora*.

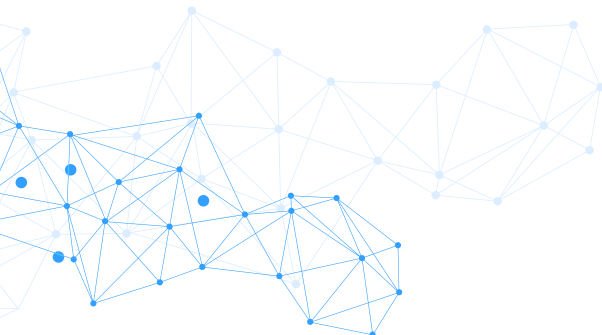
Para el caso de las bolas de molienda, está la posibilidad de simbiosis industrial para impulsar su producción con aceros reciclados a partir de la recuperación de los aceros que provienen de los neumáticos mineros fuera de uso (NFU).

**Tabla: Proyección de relaves y recuperación de cobre para Chile y Perú, 2022-2030**

PAÍS	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	TOTAL
<b>Chile</b>	790.375	863.237	913.116	1.007.852	1.103.001	1.152.958	1.232.652	1.250.755	1.282.544	<b>9.596.489</b>
<b>Toneladas de cobre al 0.15%</b>	1.186	1.295	1.370	1.512	1.655	1.729	1.849	1.876	1.924	<b>14.395</b>
<b>Recuperación al 10%</b>	119	129	137	151	165	173	185	188	192	<b>1.439</b>
<b>CO<sub>2</sub> EQ recuperado</b>	676	738	781	862	943	986	1.054	1.069	1.097	<b>8.205</b>
<b>Perú</b>	341.483	392.968	417.640	450.120	515.204	540.970	564.544	640.022	627.570	<b>4.490.521</b>
<b>Toneladas de cobre al 0.15%</b>	512	589	626	675	773	811	847	960	941	<b>6.736</b>
<b>Recuperación al 10%</b>	51	59	63	68	77	81	85	96	94	<b>674</b>
<b>CO<sub>2</sub> EQ recuperado</b>	292	336	357	385	440	463	483	547	537	<b>3.839</b>

**Tabla: Potencial de recuperación de aceros para bolas de molienda por NFU mineros de Chile, 2023-30**

AÑOS	METAS DE VALORIZACIÓN DE NFU MINEROS EN TONELADAS	ACERO RECUPERABLE DESDE NFU (20%*)	DEMANDA DE BOLAS PROYECTADAS POR AÑO EN TONELADAS	PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN DE ACEROS PARA BOLAS DESDE NEUMÁTICOS
2023	9.197	1.839	539.000	0,3%
2024	9.473	1.895	580.000	0,3%
2025	9.757	1.951	631.000	0,3%
2026	10.049	2.010	661.000	0,9%
2027	31.053	6.211	682.000	0,9%
2028	31.985	6.397	712.000	0,9%
2029	32.944	6.589	724.000	0,9%
2030	45.243	9.049	738.000	1,2%
<b>Total</b>	<b>179.701</b>	<b>35.940</b>	<b>5.267.000</b>	



#### d. Clubes de Carbono

La lógica de los mercados de carbono se basa en que, a nivel global, no es relevante de dónde provengan las emisiones ni las reducciones de GEI, ya que la concentración de éstas se homogeneiza en las capas altas de la atmósfera. Por lo tanto, los mercados de carbono se presentan como una vía costo-efectiva de financiamiento para activar al sector privado y fomentar la innovación en la búsqueda de reducción de GEI globalmente, siempre y cuando se resguarde su integridad ambiental, se evite la doble contabilidad y fomente el desarrollo sostenible<sup>12</sup>. En particular, la colaboración debiese mejorar la costo-efectividad de las alternativas de mitigación, procurando que exista heterogeneidad de los costos de abatimiento, aumente la liquidez del mercado, y que se limite el eventual dominio del mercado de ciertos participantes para evitar distorsiones, entre otros. De hecho, a nivel mundial, los mercados de carbono se están expandiendo rápidamente, y varios de ellos ya han presentado signos de colaboración y expansión hacia otras jurisdicciones.

En este contexto, existe una oportunidad para los países de la región Andina considerando que los niveles de emisiones del sector industria y minería en Chile, Perú y Colombia presentan órdenes de magnitud relativamente similares (en el rango de 15-25 MtCO<sub>2</sub>e), donde en Colombia contribuye con más del 16% de las emisiones nacionales, 20% en Chile y un 14% en Perú, y su proyección de emisiones al 2030 para los tres países es del orden de 40, 21 y 21 MtCO<sub>2</sub>e, respectivamente.

Más aún, los requerimientos del sector industria y minería respecto a las reducciones que se lograrían según las respectivas medidas establecidas en cada NDC, presentaría brechas significativas, que serían del orden de 20 y 6 MtCO<sub>2</sub>e para Colombia y Perú, respectivamente; mientras que solo Chile generaría eventualmente excedentes, los que alcanzarían los 4 MtCO<sub>2</sub>e. Cabe señalar que los 3 países exhiben una situación deficitaria cuando se proyectan bajo escenarios de trayectorias basadas en la ciencia, donde las reducciones requeridas por el sector industria y minería para la década 2020-2030 estarían lejos de alcanzarse con las medidas propuestas en las NDCs, presentando requerimientos de reducción al año 2030 de 26, 18 y 14 MtCO<sub>2</sub>e para Colombia, Chile y Perú, respectivamente.

---

12 Schneider, L., Cludius, J., & La Hoz Theuer, S. (2018) "Accounting for the linking of emissions trading systems under Article 6.2 of the Paris Agreement". Berlín: International Carbon Action Partnership (ICAP).



Con todo, la brecha de reducciones propias del sector industria y minería de Colombia y Perú podría estimular la búsqueda de mecanismos de compensación de sus emisiones en otros sectores económicos, tanto a nivel nacional como internacional. Chile, por su parte, podría cumplir con los requerimientos de mitigación del sector y, al mismo tiempo, tendría el potencial de ofrecer excedentes para su comercialización. Al anterior potencial para colaboración entre los 3 países, se destaca además la complementariedad de los proyectos que se podrían desarrollar. Colombia y Perú muestran un amplio espacio para proyectos del tipo soluciones basadas en la naturaleza, mientras que Chile ofrecería una contribución relevante de reducción de emisiones provenientes del sector energía. Lo anterior, confirma el potencial que podría desarrollarse ante una eventual vinculación de estas tres jurisdicciones bajo un esquema de colaboración del tipo club de carbono, utilizando las compensaciones u offsets como un instrumento que permita potenciar la flexibilidad, profundidad y costo-efectividad de un incipiente mercado del carbono en la región Andina.

#### **e. Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)**

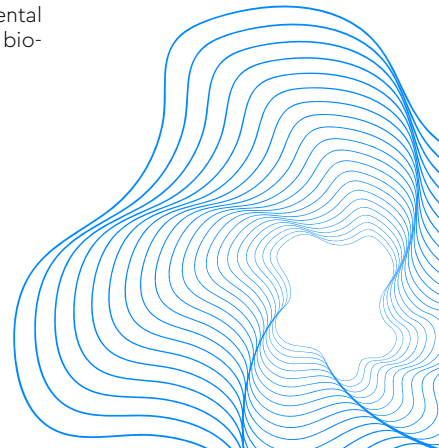
Las SbN emergen como una herramienta para abordar la doble crisis que amenaza al planeta: la pérdida de biodiversidad y el cambio climático. Se entienden como acciones para proteger, gestionar y restaurar de manera sostenible los ecosistemas naturales y modificados que hacen frente a los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad. Se calcula que las SbN podrían constituir más de un tercio de la mitigación del clima necesaria desde ahora hasta el 2030 para estabilizar el calentamiento del planeta por debajo de los 2 °C y los ecosistemas de Latinoamérica contribuyen a esas tasas de captura de carbono.

La incorporación de las SbN podría constituir una oportunidad, toda vez que la minería en Perú y Chile opera en ecosistemas críticos y degradados, por superposición de operaciones o en sus límites, a saber: cuencas Andinas endorreicas de la Puna, humedales altoandinos de páramos, zonas Andinas mediterráneas, zonas costeras. La relevancia social, económica y climática de estos ecosistemas requiere la identificación de medidas y consensos para revertir la actual situación de uso y degradación, considerando entre otros la seguridad hídrica, la restauración, investigación en sistemas costeros por efectos de puertos y desalinizadores. La necesidad de abrazar las SbN ha sido reconocida por el sector, el cual se ha comprometido de manera específica con relevar el papel de las SbN en la mitigación del clima y adaptación, y avanzar en el nivel operativo necesario para apoyar estas soluciones, abordando oportunidades y desafíos.

La amplia aceptación de la importancia de las SbN contra la lucha climática por parte de gobiernos y sector privado hace que una diversidad de iniciativas se promueve en diversas geografías y sectores productivos. El potencial global para la reducción de emisiones de las SbN y que los ecosistemas de Latinoamérica son de primer orden en su contribución a esas tasas de captura ponen de relieve la oportunidad subyacente en las SbN. Asimismo, la visión integrada de las SbN permite considerar la restauración a nivel de cuencas, desde las altas elevaciones hasta el nivel del mar. En zonas costeras la restauración o la protección de praderas marinas, humedales costeros, dunas y vegetación costera son medidas que van en la misma dirección, pero que escasamente se mencionan en el marco del combate al cambio climático.

La incorporación de una estrategia de implementación de SbN en diversas áreas del territorio nacional, como parte de la política corporativa de la minería chilena y peruana es una oportunidad. Ello debería priorizar áreas tales como la seguridad hídrica, hidrología de ecosistemas, restauración, y con ello avanzar hacia una gestión integrada a nivel de cuenca, permitiendo enfocar esfuerzos, avanzando a nivel de sitio y cuenca hidrográfica, incorporando tecnología, transparentando las acciones, apoyando esfuerzos de monitoreos conjuntos y alertas tempranas.

Considerando que, por un lado, Chile y Perú poseen similitud territorial en los Andes de la Puna árida, comparten la singularidad de humedales con atributos excepcionales como reservorios de agua, como es el caso de las turberas, los páramos, vegas, bofedales y salares, y que por el otro, nos encontramos en un momento político propicio para la agenda climática y ecológica, existe un espacio para concretar acciones y mayor involucramiento por parte del sector minero, bajo nuevos estándares y apoyando la implementación de la política pública en materia ambiental de manera transparente. Ello se debería reflejar en una estrategia para la minería de Chile y Perú en forma conjunta y coherente para enfrentar bajo los mismos parámetros su desempeño ambiental en países de Latinoamérica, con beneficios directos hacia la biodiversidad y territorios.



## [4]

### ACCIONES PRIORITARIAS PARA AVANZAR HACIA UNA MINERÍA SOSTENIBLE

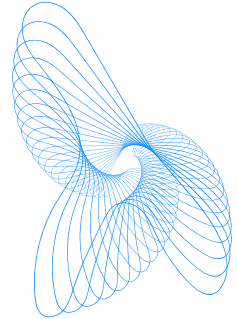
Junto con identificar las oportunidades y desafíos asociadas a cada nicho bajo estudio y sus relaciones, el proyecto también define un primer set de acciones integrales tanto en el nivel nacional como regional con el fin de avanzar de forma de capturar oportunidades y abordar los desafíos subyacentes.

Aunque cada nicho tiene sus particularidades, y por ende una agenda propia de acciones a realizar, se puede identificar un set de acciones prioritarias de carácter público transversales a los 5 nichos para avanzar desde una mirada más sistémica hacia una minería sostenible. Entre las más relevantes se destacan:

**1. Generar o fortalecer los marcos institucionales y regulatorios para propiciar una mirada holística, multidisciplinaria a nivel de cada nicho y de sus interacciones:** Dichos marcos deben dar la direccionalidad, favoreciendo el diálogo, y el trabajo colectivo y multidisciplinario, como elementos habilitantes para la implementación de acciones que promuevan el crecimiento económico, generando los incentivos para el desarrollo de negocios y la atracción de inversiones sostenibles, al mismo tiempo, que se abordan los desafíos ambientales y sociales asociados, favoreciendo así la productividad de una minería sostenible. Se trata de un problema de carácter sistémico y complejo, donde el trabajo interministerial es clave para avanzar en la elaboración de políticas públicas y esfuerzos colectivos amplios con compromisos claros de todas las partes interesadas. Dichos compromisos se deben luego plasmar en estrategias y/o hojas de rutas y metas claras para abordar los desafíos y capturar las oportunidades.

- 1.a.** En el caso de infraestructura hídrica, se requieren marcos institucionales para la identificación de las necesidades de infraestructura compartida insertando el concepto en los planes de desarrollo regionales y nacionales y junto con ello establecer las bases normativas para avanzar hacia su uso compartido; y que ello se plasme en un portafolio de proyectos bancables con acciones concretas.
- 1.b.** En el caso de reconversión de CAEX, un desafío clave es ir creando la demanda, para lo cual el Estado debe visibilizar las emisiones del CAEX como un problema ambiental e in-

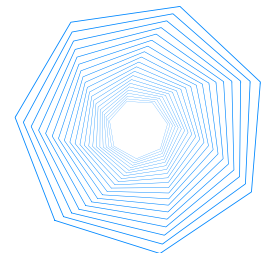
centivar la adopción de equipos libres de emisiones, dando las señales adecuadas y aumentar las exigencias a las compañías con un plazo temporal visibilizando la utilidad de avanzar en proyectos de innovación tecnológica para crear soluciones que actualmente existen sólo parcialmente; y fomentar las asociaciones público-privadas para sostener un esfuerzo de innovación abierta con apoyo del Estado para el financiamiento de investigación y desarrollo (I+D), además del acceso a las inversiones necesarias para la adecuación de las faenas.



- 1.c.** A nivel de la EC, en forma complementaria a los esfuerzos ya hechos en materias de responsabilidad extendida de los productores, se debe avanzar en el diseño de normas que incentiven los procesos más profundos de circularidad como el ecodiseño, la simbiosis industrial, el remanufacturado; y, complementariamente, introducir incentivos específicos que premien a las empresas que hacen un esfuerzo por circularidad y no solo remitirse a mecanismos que hagan pagar más al que contamina más.
- 1.d.** En materia de clubes de carbono, se requiere aumentar los niveles de armonía y predictibilidad de las políticas e instrumentos climáticos de cada país; avanzar en homologar definición y método para establecer actualizaciones de los compromisos país; alinear los instrumentos de precio al carbono; y armonizar el avance de cada país con un enfoque colaborativo.
- 1.e.** En cuanto a las SbN, el Estado debe propiciar marcos políticos y regulatorios con enfoque holístico que permitan a las SbN abordar la mitigación, la resiliencia y la adaptación en áreas clave, y garantizando los medios de vida de la población de cara a las amenazas climáticas; avanzar en la identificación de portafolios de proyectos SbN bancables; e implementar instrumentos que fomenten su adopción como solución para fortalecer la reducción de emisiones y la resiliencia por parte de la minería, entre otros sectores.

**2. Reducir brechas de información y conocimiento:** Donde se requiere avanzar, entre otros elementos, en dimensionar más claramente la oportunidad subyacente a cada nicho desde lo económico, tecnológico, climático, ambiental y social. Solo a través de una mirada sistémica, se podrá ser capaces de capturar no sólo las oportunidades inherentes a cada nicho sino también aquellas sinergias entre nichos y vencer las barreras subyacentes que impiden el impulso del trabajo colaborativo en pos de una minería sostenible.

- 2.a.** En infraestructura hídrica, se relevan como necesidades críticas el contar con información sobre los beneficios del concepto; generar información pertinente y desarrollar líneas de investigación con la participación de investigadores universitarios y considerando los contextos locales y las necesidades de la comunidad; establecer claramente los impactos ambientales de la desalinización; establecer las vías para su reducción y mitigación valorando los servicios ecosistémicos e integrando energías renovables en nuevos sistemas; avanzar en estudiar el impacto del concepto en la seguridad hídrica y bienestar; y generar las métricas para el seguimiento de las mismas en el largo plazo.
- 2b.** En el caso de los CAEX, la mayoría de las compañías mineras avanzan en la electrificación del área de la mina, donde una brecha de conocimiento prioritario es identificar los sistemas de carga rápidos más adecuados para vehículos con motores de alta potencia para no impactar la disponibilidad de estos.
- 2c.** En cuanto a la EC, se requiere avanzar en información permanente para dimensionar las oportunidades (por ejemplo, estandarizar metodologías y completar las fuentes de información respecto de la cantidad de residuos masivos mineros (relaves, rípios, etc.); aumentar la base de conocimiento formativo, de forma que la EC sea parte de diversos procesos y así alcanzar una estandarización en su definición y aplicación práctica, incluyendo tanto la formación universitaria como directiva/ejecutiva, enfatizando las oportunidades que la EC presenta y cómo incorporarla en la estrategia de negocios de las compañías; y a nivel organizacional se requiere generar conocimiento propio de las organizaciones respecto de la aplicabilidad de la EC en un contexto específico.
- 2d.** En materia de clubes de carbono, se debe avanzar en la reducción de brechas en aspectos tales como lograr una mayor transparencia y levantamiento de datos; homogenizar los esquemas de contabilidad y sistemas de medición, reporte y verificación (MRV); desarrollar infraestructura esencial, como normativa y sistemas de información para sistematizar las acciones de mitigación y otros resultados; y profundizar y respaldar adecuadamente los beneficios económicos, resguardando aspectos como la libre competencia y distribución equitativa de los beneficio.
- 2e.** En cuanto a SbN, una de las primeras acciones para reducir las brechas de información es elaborar un inventario de ecosistemas que requieren diversos niveles de investigación como aporte a la mitigación y adaptación ante cambio cli-



mático; e identificar y apoyar acciones locales, regionales y nacionales tendientes a reducir la brecha de conocimiento, restauración y financiamiento en biodiversidad.

### **3. Elaborar una agenda de trabajo colaborativa de alcance regional:**

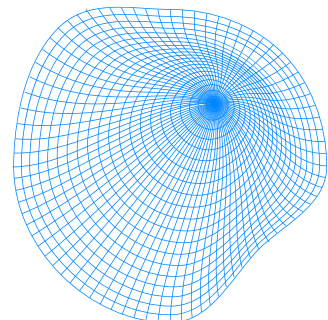
Para lo cual se deben involucrar a todos los actores relevantes, con un carácter integral y multidisciplinario, dando un rol relevante a los organismos internacionales.

- 3a.** En infraestructura hídrica se sugiere la continuación de este concepto y abrir la oportunidad de desarrollar un grupo de trabajo binacional entre Perú y Chile. Entre las áreas prioritarias de cooperación se identifican el avanzar en el fortalecimiento y conocimiento de la institucionalidad pública y la regulación relevante en torno al concepto y fortalecer las bases de información para el correcto dimensionamiento tanto de la oportunidad como las barreras.
- 3b.** En el caso de electromovilidad CAEX, se recomienda elaborar una hoja de ruta de alcance regional (Chile-Perú) para la reconversión del CAEX que priorice los desafíos y soluciones junto a la creación de una agenda de trabajo para generar las condiciones habilitantes que permitan la creación de un nuevo modelo de negocio, enfocado en la región. Dicho esfuerzo debe capitalizar sobre iniciativas ya existentes como es el Charge On Innovation Challenge.
- 3c.** En materia de EC, en dicha colaboración se recomienda poner especial acento, no solo en la definición de metas comunes entre los países, sino también en la definición de estándares de uso transversal por la industria o que al menos no sean impuestos unilateralmente respondiendo a marcos conceptuales de EC que no corresponden al contexto donde se aplican. Se releva el rol que los organismos internacionales y alianzas puedan tener para imbricar el trabajo de la industria en el marco del desarrollo de las estrategias y hojas de ruta nacionales.
- 3d.** Entre las líneas de acción prioritarias para el trabajo colaborativo en clubes de carbono, destacan como elementos fundamentales o prioritarios el homologar definiciones y métodos para establecer actualizaciones de los compromisos país; homogenizar los esquemas de contabilidad de GEI y MRV; y que este trabajo se desarrolle iterativamente, con gradualidad y secuencialidad.
- 3e.** En cuanto a las SbN, este trabajo colaborativo se sugiere focalizarlo en acelerar las redes de intercambio de conocimiento y

de monitoreo. Ellas son necesarias para implementar medidas de restauración y protección en ecosistemas priorizados considerando que Chile y Perú poseen similitud territorial en los Andes de la Puna árida, comparten la singularidad de humedales con atributos excepcionales como reservorios de agua, como es el caso de las turberas, los páramos, vegas, bofedales y salares.

- 3f.** A nivel transversal se requiere avanzar en reducir las brechas de información para avanzar en dimensionar la oportunidad subyacente a cada nicho con alcance regional, así como en la identificación de las principales barreras para cada nicho y establecer una agenda de trabajo colaborativo a nivel de la región.

**4. Avanzar en el pensamiento colectivo e multidisciplinario:** como se desprende a lo largo de este documento y de cada una de las acciones prioritarias anteriores, el poder avanzar de forma de maximizar la captura de oportunidades y vencer efectivamente las barreras en pos de una minería sostenible, dependerá crucialmente del ser capaces de abordar cada nicho en forma sistémica. Para ello, el contar con las capacidades multidisciplinarias, tanto en el sector público, privado y comunidades científicas es clave. Asimismo, el establecer los puentes necesarios para sentar a los diversos actores a la mesa en torno a un desafío común e iniciar un proceso de fertilización cruzada, de miradas conjuntas y colaborativas, en vista a que se plasmen en compromisos y toma de decisiones de carácter integral .



# SOBRE CESCO

El Centro de Estudios del Cobre y la Minería es una organización sin fines de lucro independiente y pluralista, con sede en Chile. Establecida en 1984 como una asociación de profesionales del sector, promueve la legitimidad social y políticas públicas sólidas en la industria minera en países donde la minería es estratégica para su desarrollo. Además de monitorear, proporcionar información y análisis de calidad, apoya y promueve actividades que fomenten el diálogo entre los distintos stakeholders tanto de la industria minera como de la sociedad civil. Sus principales eventos públicos son la Semana del Cesco en Santiago y Asia Copper Week en Shanghai.

