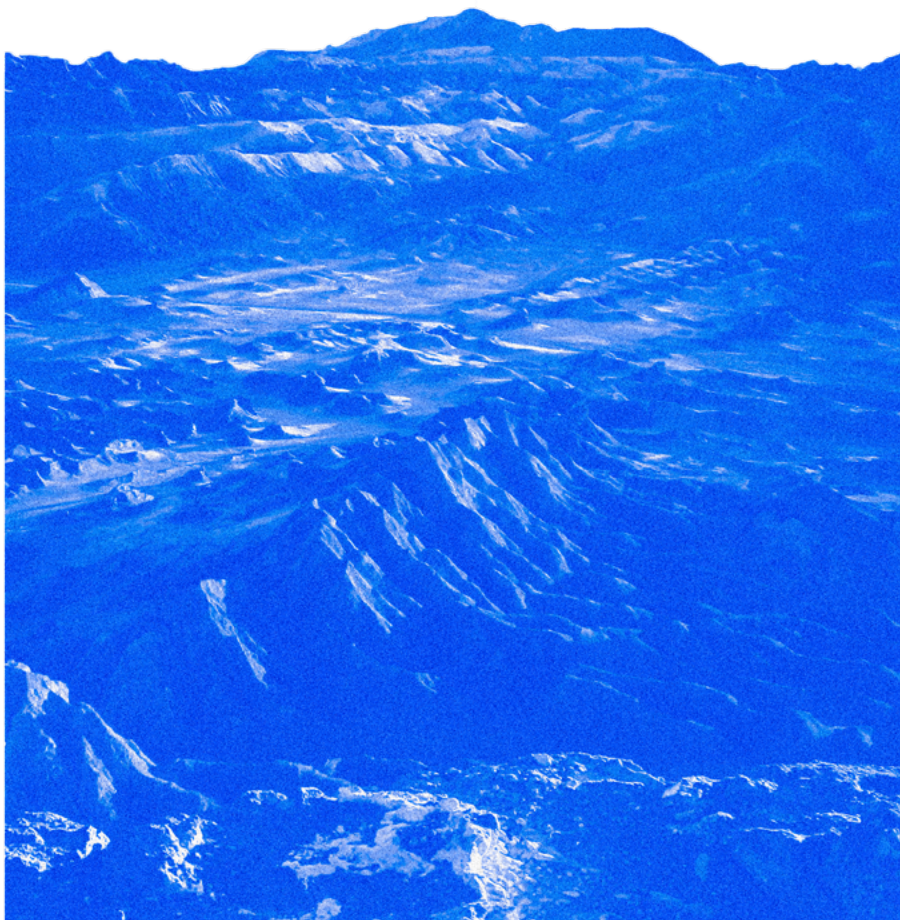


CINCO NICHOS SOCIO-TECNOLÓGICOS CRÍTICOS

PARA UNA MINERÍA SOSTENIBLE EN LA REGIÓN ANDINA



NOVIEMBRE 2022

CESCO

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



corporación
AIRESTIA

giz



CMM investigación
& desarrollo



WCS



energylab
centro de innovación tecnológica



THE UNIVERSITY
OF QUEENSLAND

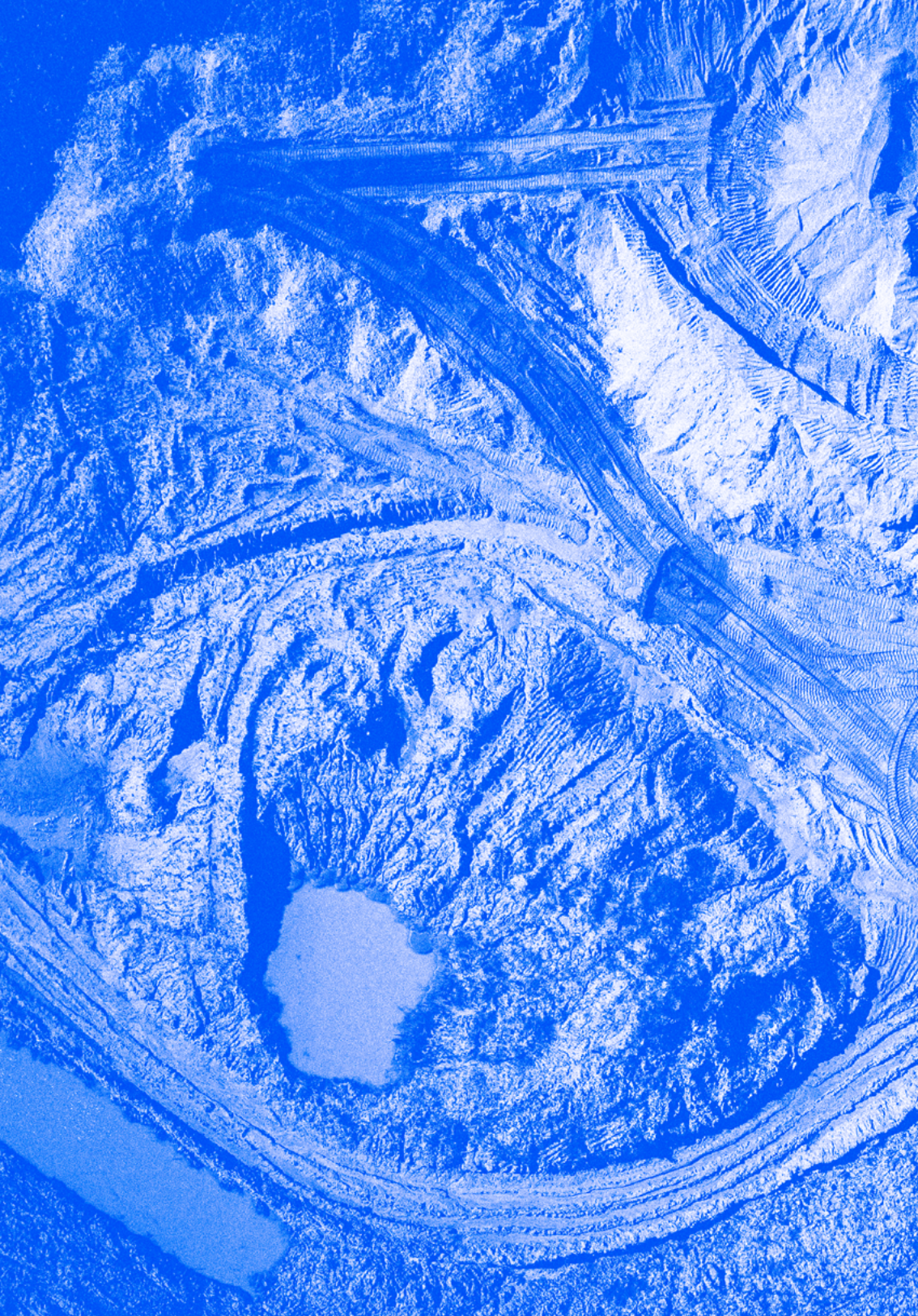
SMIICEChile



Corporación
Capital
Biodiversidad



CIRCULARTEC



Coordinador del Informe Osvaldo Urzúa

AUTORES	TEMA
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	
Francisca Cid , EnergyLab	<i>Clubes de carbono para la compensación de emisiones</i>

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



Implementada por
giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	7
2.	CRITICIDAD, CONTEXTO, DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES, Y ACCIONES PARA UNA AGENDA INTEGRAL NACIONAL Y REGIONAL PARA CADA NICHOS TECNOLÓGICO	12
2.1	Infraestructura hídrica compartida en Chile y Perú	12
2.1.1	Importancia / criticidad (qué es lo que está en juego)	12
2.1.2	Contexto	13
2.1.3	Desafíos	15
2.1.4	Oportunidades	17
2.1.5	Acciones para una agenda en el ámbito nacional y regional	22
2.2	Electromovilidad para una minería sin emisiones	26
2.2.1	Importancia / criticidad (qué es lo que está en juego)	26
2.2.2	Contexto	27
2.2.3	Desafíos	29
2.2.4	Oportunidades	33
2.2.5	Acciones para una agenda en el ámbito nacional y regional	37
2.3	Economía circular en la minería primaria	41
2.3.1	Importancia / criticidad (qué es lo que está en juego)	41
2.3.2	Contexto	42
2.3.3	Desafíos	44
2.3.4	Oportunidades	49
2.3.5	Acciones para una agenda en el ámbito nacional y regional	56
2.4	Clubes de carbono para la compensación de emisiones	63
2.4.1	Importancia / criticidad (qué es lo que está en juego)	63
2.4.2	Contexto	72
2.4.3	Desafíos	73
2.4.4	Oportunidades	75
2.4.5	Acciones para una agenda en el ámbito nacional y regional	76

2.5	Soluciones basadas en la naturaleza (SBN)	79
2.5.1	Importancia / criticidad (qué es lo que está en juego)	79
2.5.2	Contexto	80
2.5.3	Desafíos	81
2.5.4	Oportunidades	82
2.5.5	Acciones para una agenda en el ámbito nacional y regional	84
3.	RELACIONES ENTRE NICHOS	86
4.	ACCIONES PRIORITARIAS PARA AVANZAR HACIA UNA MINERÍA SOSTENIBLE	89
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
6.	ANEXOS	98
6.1	Anexos 1: Participantes	98
6.2	Anexos 2: Metodología de trabajo	103



[1] INTRODUCCIÓN

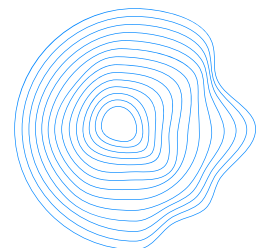
Este documento presenta los principales hallazgos del proyecto "Factores críticos para el desarrollo de nichos socio-tecnológicos de alto valor e impulsores de una minería sostenible en la región Andina", el cual fue coordinado por CESCO y contó con el apoyo de la Cooperación Alemana para el Desarrollo.

La selección de los 5 nichos es resultado de la iniciativa "Revolución Tecnológica en la Gran Minería de la región Andina: Políticas y esfuerzos colaborativos para el pleno despliegue de la Revolución Tecnológica". En el marco de esta iniciativa, 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 los 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, reducción de impactos socio-ambientales, y generación de encadenamientos y empleo de calidad.

A través del análisis de los potenciales impactos en los 5 nichos del cambio tecnológico, políticas públicas y esfuerzos colectivos, el proyecto identifica y caracteriza los desafíos y oportunidades críticas que enfrenta el sector minero en la región Andina para transitar hacia una minería más sostenible. Ello, con el fin de poder capturar las oportunidades subyacentes tanto a cada nicho como de sus interacciones, y así, atender adecuadamente la mayor demanda de minerales, tales como el cobre y el litio², proveniente del dinamismo de las economías emergentes y de la transición energética necesaria para avanzar hacia una economía baja en carbono. El análisis de cada uno de los 5 nichos estuvo a cargo de una organización experta según se detalla en la Tabla 1.

1 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.

2 Se estima que se requerirá un 50% de producción adicional de cobre para el año 2050 (con respecto al 2017) si se considera la demanda requerida para la transformación energética, la electromovilidad, la infraestructura de transmisión y otros componentes electrónicos.



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 en la minería primaria	Centro Tecnológico de Economía Circular, CircularTEC
Clubes de carbono para la compensación de emisiones	EnergyLab

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

Al igual que en otras industrias, el desafío que enfrenta la minería es multidimensional, lo que implica 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 GEI, abordar la crisis ecológica e hídrica, 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.

Dada la profundidad y complejidad del cambio requerido para poder aprovechar el salto de productividad generado por el cambio tecnológico, y al mismo tiempo, abordar las urgencias ambientales y las demandas sociales críticas, se requiere mejorar el marco institucional y regulatorio. Dicho marco debe proveer la direccionalidad, favorecer el diálogo y el trabajo colectivo 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, y al mismo tiempo, abordando los desafíos ambientales y sociales antes mencionados. Se trata de un problema de carácter sistémico y complejo y que requiere de políticas públicas y esfuerzos colectivos amplios.

La información presentada en este documento corresponde a una síntesis que proviene de los documentos de trabajo³ desarrollados por cada una de las 5 organizaciones expertas en cada tema ya identificadas en la Tabla 1. Dichos documentos analizan en más detalle cada nicho con las respectivas referencias de respaldo. Estos documentos de trabajo estarán disponibles en CESCO (<https://www.cesco.cl/analisis-y-estudios/>).

Al mismo tiempo, se destaca que el proyecto realiza un primer esfuerzo de análisis a este conjunto acotado de desafíos o temas críticos. Si bien, estos nichos no son un listado exhaustivo de todas las áreas críticas asociadas a la minería, y cada uno tiene particularidades y distintos alcances, se considera que este primer análisis conjunto permite tener una visión amplia de los desafíos clave de la transición que debe enfrentar la minería. Junto con ello, permite identificar un primer set de soluciones innovadoras de distinta naturaleza, ya sean tecnológicas, organizacionales o institucionales, de políticas públicas, regulaciones o de acción colectiva para abordarlos. Lo que se busca, es explorar en qué medida la industria minera puede jugar un rol impulsor para cada uno de los nichos analizados.

Debido a que se trata de un primer esfuerzo de análisis, el nivel de madurez de la discusión y la información pública disponible ya sea cuantitativa o cualitativa es muchas veces escasa y difiere de un nicho a otro. Por ejemplo, mientras en el caso de la electromovilidad y la economía circular ya se han dado algunos pasos, existiendo ciertos marcos institucionales y normativos que han impulsado un interés y primer acercamiento desde la industria minera, en el caso de los clubes de carbono o de las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) se trata de un primer análisis, que requiere una mayor profundización no solo desde el prisma de la minería sino a nivel transversal de la economía.

Dada la escala, las capacidades y el volumen de inversiones que demanda avanzar hacia una minería sostenible, este sector ofrece un poder de tracción con el potencial de constituirse en una plataforma de desarrollo o transformación productiva cuyo impacto va más allá de la minería, pudiendo jugar un rol habilitador para una transformación económica, que también beneficia a otros sectores productivos. Lo anterior, se hace aún más relevante considerando que la transformación hacia una producción sostenible no es un desafío exclusivo de la minería, sino que es compartido por otras

³ Aitken, 2022

Becerra & López, 2022.

Henríquez, 2022.

Mosella & Cid, 2022.

Saavedra & Figueroa, 2022.

industrias y, por lo tanto, las soluciones que se identifican en este proyecto también podrían servir a otras industrias, pudiendo también ayudar a una diversificación y transformación productiva más amplia de las economías mineras.

Entre los mayores valores que se relevan de este 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 variados sectores – industria, gobierno, universidades y centros 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 para avanzar hacia una minería sustentable, fortaleciendo la reducción de emisiones y la resiliencia climática (ver Tabla 2).

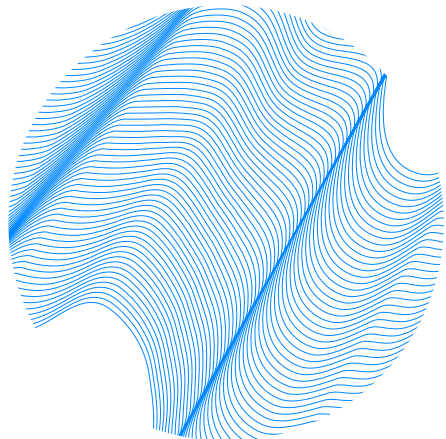
El trabajo fue desarrollado a través de talleres y entrevistas con expertos (En el Anexo 1 se presenta la lista de participantes) y la discusión en cada comunidad de prácticas fue facilitada y enriquecida por las organizaciones expertas antes mencionadas, las que, junto con aportar con su conocimiento y experiencia, complementaron el trabajo a través de revisar fuentes secundarias pertinentes (En el Anexo 2 se describe la metodología de trabajo en más detalle).

NICHOS SOCIO-TECNOLÓGICO	NÚMERO DE PARTICIPANTES			PAÍSES ESTUDIADOS
	GOBIERNO	EMPRESA	SOCIEDAD CIVIL	
Infraestructura hídrica compartida en Chile y Perú	3	10	8	Perú y Chile
Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)	3	5	10	Perú y Chile
Electromovilidad para una minería sin emisiones	5	6	8	Perú y Chile
Economía circular en la minería primaria	5	16	9	Perú, Chile y Colombia
Clubes de carbono para la compensación de emisiones	4	8	3	Perú, Chile y Colombia

Tabla 2: Número de participantes representativos de distintos actores y países estudiados por nicho

Luego de esta introducción, las siguientes secciones presentan los hallazgos en forma integrada de los 5 nichos a través de:

- **Sección 2 – Crítica, contexto, desafíos y oportunidades, y acciones para una agenda integral nacional y regional en cada nicho tecnológico:** Se presenta la crítica y contexto asociado al desarrollo de cada nicho tecnológico, incluyendo argumentos de la relevancia del nicho tales como el valor potencial que podría generarse o los riesgos o impactos negativos asociados. Luego, se presentan desafíos y oportunidades críticas asociadas a cada uno de los 5 nichos socio-tecnológicos. Finalmente, se identifican acciones o medidas para abordar los desafíos potenciales que se generan en torno a una minería sostenible, tanto en el ámbito de las políticas públicas, público-privadas o privadas a nivel nacional así y como esfuerzos que pueden coordinarse a nivel regional.
- **Sección 3 – Identificación de las relaciones entre nichos:** Con el propósito de mantener una visión sistémica, se identifican algunas interacciones o vínculos entre los 5 nichos socio-tecnológicos analizados. Esto, entendiendo que se trata de un esfuerzo preliminar por abordar el desafío de sostenibilidad con perspectiva sistémica en la cual la interacción entre las componentes es parte de la solución, que se espera pueda ser profundizado en trabajos posteriores.
- **Sección 4 – Acciones prioritarias para avanzar hacia una minería sostenible:** Entendiendo que cada nicho tiene sus particularidades, y por ende una agenda propia de acciones a realizar, esta sección identifica y sintetiza un set de acciones prioritarias de carácter público transversales a los 5 nichos analizados.



[2] CRITICIDAD, CONTEXTO, DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES, Y ACCIONES PARA UNA AGENDA INTEGRAL NACIONAL Y REGIONAL PARA CADA NICHOS TECNOLÓGICO

[2.1] INFRAESTRUCTURA HÍDRICA COMPARTIDA EN CHILE Y PERÚ

[2.1.1] Importancia/criticidad (qué es lo que está en juego)

Tanto en el sur de Perú como en el norte de Chile, una combinación de baja disponibilidad de agua y débil coordinación en el uso del recurso ha llevado a una situación de baja productividad económica y conflictos entre sectores. Existe una gran necesidad de soluciones que fomenten el intercambio de recursos, la coordinación del uso, el acceso a nuevas fuentes de agua y la gestión colaborativa.

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.

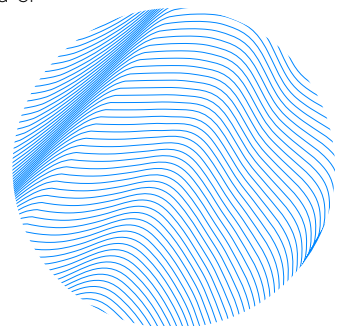
El concepto de infraestructura hídrica compartida tiene un potencial considerable para proporcionar una plataforma que tenga como foco, una mayor competitividad, desarrollo socioeconómico y conservación de ecosistemas en zonas áridas ricas en minerales entre Lima y Santiago. El concepto proporciona una alternativa a los sistemas de suministro de agua independientes que, debido a la falta de coordinación, resultan en una extracción excesiva de recursos escasos, altos costos de agua e impactos ambientales adversos. El estudio se centró inicialmente en sistemas de suministro de agua de mar desalinizada para la minería, pero rápidamente se hizo evidente que lo lógico era considerar tanto el agua de mar como las fuentes continentales, y la inclusión de todos los sectores.

La implementación de este concepto podría resultar en:

- Una mayor seguridad hídrica en cuencas con escasez de agua para un mayor desarrollo socioeconómico.
- Reducción de los costos de capital de los sistemas de suministro de agua y de los costos unitarios de agua para los usuarios.
- Reducción en la recaudación de impuestos del Estado producto de la deducción de los costos de capital de la base imponible de las empresas.
- Una reducción de la presión sobre las fuentes de agua continentales y los ecosistemas locales.
- Menores impactos socio-ambientales asociados a la construcción y operación de infraestructura hídrica.
- Una mayor cooperación y colaboración entre múltiples actores y reducción de conflictos.
- Un aumento de la resiliencia territorial frente a los impactos del cambio climático.

[2.1.2] Contexto

La región entre Lima y Santiago de Chile es conocida por su producción de cobre y la riqueza de sus recursos minerales metálicos y no-metálicos. Solo para el caso del cobre suman el 40% de la producción global. Al mismo tiempo, la región sufre de un severo estrés hídrico⁴, tanto por razones naturales (el desierto más árido del mundo) como por el incremento en el uso del agua y la incidencia del cambio climático. Esto ha llevado a la concurrencia por el uso de agua y por consecuencia, a tensiones sociales, económicas y ambientales. Más de la mitad de los conflictos mineros reportados por el Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina en Chile y Perú están relacionados con el agua⁵. Las proyecciones sugieren que el estrés hídrico se intensificará hasta el 2040⁶.



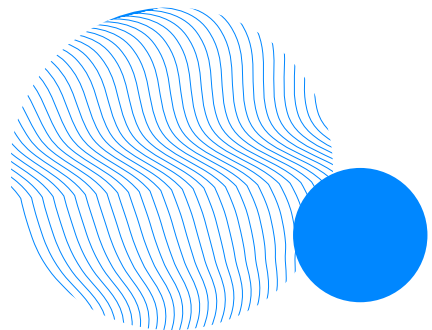
4 Hofste, Reig, & Schleifer, 2019.

5 Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina, 2022.

6 Maddocks, Young & Reig, 2015.

Para desarrollar nuevos proyectos mineros y abordar las preocupaciones sobre acceso al agua en la región, el gobierno y el sector privado han invertido en plantas desaladoras e infraestructura de transporte de agua. El territorio chileno está compuesto por 101 cuencas⁷, y para el año 2019 se catastraban 24 plantas desalinizadoras operando, y 22 otros proyectos en diferentes etapas de desarrollo⁸. En particular para la minería, al año 2022 el sector cuenta con 9 plantas desaladoras operando y 15 en estado de factibilidad o construcción⁹. Cabe destacar que, en Chile, la transición del uso de agua continental a agua de mar desalinizada se ha intensificado y se espera que continúe aumentando en los próximos diez años. El territorio peruano, por su parte, está compuesto por 159 cuencas hidrográficas¹⁰ 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 energía¹¹. Al igual que en Chile, en Perú el desarrollo de plantas desaladoras está en aumento. Dentro de su cartera de proyectos en minería, posee 5 proyectos para 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 agua¹².

El incremento en el uso de agua de mar desalinizada por parte de la industria minera reduce la presión sobre las fuentes de agua dulce, pero el problema recae en que existe una tendencia a planificar y construir sistemas de suministro de agua individuales. Esta tendencia conduce a altos costos de capital, una abundancia de nueva infraestructura en la costa y tuberías de suministro a la mina, y considerables impactos ambientales. Además, los sistemas individuales para la industria minera no tienden a aumentar el acceso al agua para otros sectores, muchos de los cuales suelen ser muy vulnerables a la baja disponibilidad de agua.



7 Dirección General de Aguas, 2016.

8 Consejo Políticas de Infraestructura, 2019.

9 COCHILCO, 2022.

10 Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2014.

11 Estado Peruano, 2018.

12 Lewinsohn, 2021.

[2.1.3] Desafíos

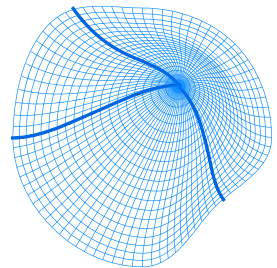
Entre los principales desafíos se encuentran:

Institucionalidad hídrica fragmentada careciendo de una visión holística resultando en soluciones individuales: Con una alta presencia de conflictos socioambientales por el uso del agua. En Perú no existe un enfoque integrado del uso del recurso hídrico y la institucionalidad pública no está lo suficientemente empoderada; y en Chile, las soluciones son acciones individuales de cada sector o empresa, más que acciones coordinadas y planificadas y los marcos normativos existentes no facilitan una gestión integrada de cuencas. En el caso del uso de agua de mar desalinizada, las soluciones individuales conducen a altos costos de capital, una abundancia de nueva infraestructura en la costa y tuberías de suministro a la mina, y mayores impactos ambientales. Además, los sistemas individuales para la industria minera no tienden a aumentar el acceso al agua para otros sectores, muchos de los cuales suelen ser muy vulnerables a la baja disponibilidad de agua.

Falta de políticas públicas y regulación adecuadas: Existe una gran necesidad de revisar y abordar las brechas en las políticas y regulaciones públicas requeridas involucrando a expertos y legisladores, en consulta con la industria y otros sectores afectados, particularmente las comunidades. Falta regulación que brinde claridad sobre cómo se pueden desarrollar y operar los sistemas compartidos, las oportunidades limitadas para acceder al financiamiento adecuado y la falta general de coordinación y liderazgo a nivel local y nacional son una gran restricción.

Creciente estrechez en la disponibilidad de recursos hídricos e infraestructura: En Perú se destaca una demanda creciente del uso general de aguas subterráneas por parte de la minería y agricultura, la pérdida de glaciares como fuente principal de aguas superficiales, sequías pronunciadas, distribución desigual del agua, ilegalidad en la obtención de recursos, la corrupción en temas de infraestructura, un mal mantenimiento de obras y falta de una visión de largo plazo. En Chile, por su parte, se destaca la necesidad de disponer de un ordenamiento entre demanda y oferta, asignar prioridades de uso, tomando en cuenta el contexto social actual y promover un cambio de paradigma respecto de las decisiones acumulativas sobre el territorio.

Incertidumbre respecto de los impactos ambientales de la desalación: Frente a la utilización del agua de mar y la creciente disponibilidad de plantas desaladoras, especialmente en Chile, existe incertidumbre sobre impactos socio ambientales en el borde costero producto de su instalación, especialmente debido a los impactos de las salmueras.

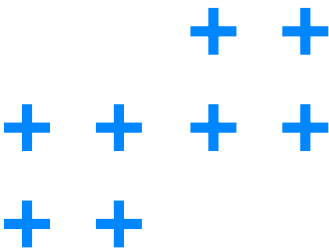


Falta de cooperación entre sectores y actores: No se observa una relación e interacción entre los distintos sectores, sino más bien se aprecia competencia y una tensa relación, donde prevalecen visiones que indican la afectación de la actividad minera sobre el recurso hídrico, lo que constituye en un argumento válido para sus detractores, imposibilitando acciones colaborativas. En el caso de Chile, la falta de cooperación también es evidente al interior del propio sector minero, donde más bien se aprecia cierta competencia y se resguarda la privacidad haciendo incluso imposible intercambiar información de sus respectivos sistemas de monitoreo.

Insuficiente gestión del agua: Existencia de una institucionalidad fragmentada y falta de cooperación entre sectores y actores se traduce en una deficiente gestión del agua donde la tendencia es a cooperar sobre decisiones particulares y no de mayor alcance o impacto.

Riesgos económicos y falta de financiamiento: Principalmente en aspectos económicos y de precios de mercado, donde una caída o alta variabilidad en el precio del cobre podría afectar la capacidad de la industria minera para invertir en sistemas compartidos. Los precios de la energía se consideran un riesgo importante, ya que precios más altos podrían hacer que los costos de desalinización y bombeo aumenten.

Falta de liderazgo o interés desde la industria minera por la infraestructura compartida: La industria minera es uno de los actores más importantes en muchas de las zonas áridas del sur de Perú y el norte de Chile. Pese a que el desarrollo de infraestructura compartida le traería numerosos beneficios económicos, ambientales y sociales, ya sea por razones estratégicas de las empresas o búsqueda de dividendos reputacionales no se muestran interesadas en avanzar en esa dirección.



[2.1.4] Oportunidades

Entre las principales oportunidades se encuentran:

Incipientes experiencias de casos positivos de colaboración: Se reconoce una incipiente aparición de espacios de colaboración entre diferentes sectores, aunque más bien se trata de experiencias puntuales vinculadas a medidas de mitigación y/o compensación de impactos ambientales de proyectos. En el caso de Perú, se ve un rol importante para las empresas globales con presencia en el país, las cuales podrían traccionar prácticas que superen los estándares nacionales y promuevan prácticas y/o certificaciones en sostenibilidad.

Colaboración para la creación de una red unificada de distribución de agua genera menores costos económicos y ambientales:

Tomando la experiencia del sector eléctrico se podría pasar de la competencia por los recursos a la colaboración, desarrollando alianzas público-privadas para la inversión. En Chile, la experiencia con el sistema eléctrico interconectado, el cual con los años demostró su robustez, constituye un antecedente positivo muy alentador para repetir la metodología en un sistema de interconexión hídrica; además, se ha verificado que una infraestructura hídrica interconectada podría reducir los costos del agua, como también ayudaría a combatir el desabastecimiento hídrico en caso de que disminuyan los volúmenes de agua continental¹³. Cabe destacar que, considerando que en la zona de estudio se encuentran diferentes consumidores de agua tales como compañías mineras, comunidades, entre otros, dichos sistemas integrados de gestión de recursos hídricos para responder a la escasez de agua a través de las relaciones entre los usuarios del agua, la minería y las comunidades, ha presentado modelos exitosos evidenciados en diversos contextos¹⁴. Además, se podría integrar la energía verde con las redes de agua, garantizando la seguridad del agua para el desarrollo social y económico. El caso de estudio desarrollado en el marco de este proyecto para la región de Atacama en Chile arroja un ahorro de USD 3.400 millones, equivalente a una reducción de costos económicos del 46% durante veinte años en los costos de la tubería y el costo de la energía operativa, y con un costo ambiental de un 25% en relación con la situación de abastecimiento individual. Lo anterior podría resultar en una reducción de costos tal que haga que el agua de mar desalinizada sea más asequible y accesible para los usuarios.

¹³ Consejo Minero, 2019.

¹⁴ Fundación Terram, 2020.

Adaptación costo-efectiva y más sostenible frente al creciente escenario de escasez hídrica producto del cambio climático:

Dentro de las metas de la Política Nacional Minera 2050¹⁵, con respecto a los recursos hídricos, se busca que el consumo de agua continental por parte de la industria minera no supere el 10% de las aguas totales utilizadas al 2025, y no supere el 5% al 2050. También se busca que la minería participe de forma activa en el desarrollo de la gestión integrada de cuencas (GIRH) al 2022, y comience la implementación al 2025. Además, se espera una minería que promueva la aplicación de guías para entender el marco jurídico, normativa y permisos necesarios para el desarrollo de plantas desalinizadoras. Finalmente, se busca una mayor protección a los glaciares. En Perú, para enfrentar la escasez de agua, la Autoridad Nacional del Agua (ANA), en conjunto con la Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyecto (UNOPS) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), buscan trabajar en reforzar las capacidades institucionales de gestión integrada del agua¹⁶. Además, se ha definido la desalinización como la mejor decisión para minimizar los efectos del estrés hídrico y cambio climático¹⁷. De esta forma, es posible observar que ambos países están trabajando en pro de la gestión integrada de los recursos hídricos, y el uso de agua desalinizada para enfrentar la escasez hídrica¹⁸.

Con respecto a la inversión en plantas desaladoras para enfrentar a la escasez hídrica en ambos países, 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 agua¹⁹. En Chile, por su parte, el ministro de Minería en el año 2012 proyectaba una inversión de US\$3.900 millones²⁰. Dado el considerable aumento del desarrollo de plantas desaladoras e infraestructura asociada, es altamente probable que este valor haya sido excedido.

Oportunidad económica: un caso de estudio en la región de Atacama

Se desarrolló un caso de estudio como parte del proyecto, con el objetivo de analizar los beneficios económicos potenciales asociados con la implementación de un suministro de agua compartido optimizado, involucrando el desarrollo de dos escenarios de suministro de agua que satisfacen la demanda de agua de la minería

¹⁵ Ministerio de Minería 2022.

¹⁶ UNOPS, s/f.

¹⁷ Asociación Latinoamericana de Desalación y Reúso de Agua, 2019.

¹⁸ Bnaméricas, 2020.

¹⁹ Lewinsohn, 2021.

²⁰ La Tercera, 2012.

en la región de Atacama de Chile. Uno de ellos corresponde a una situación en la que cada minera se abastece por la conexión más eficiente de manera individual a una planta desalinizadora (Figura 1a), y el otro a una red de abastecimiento de agua optimizada de infraestructura compartida (Figura 1b).

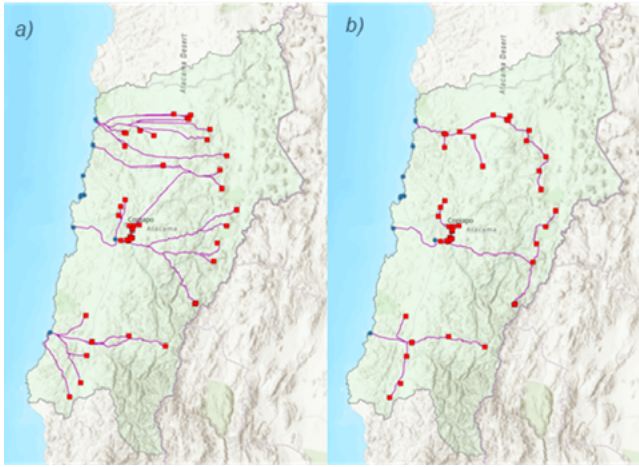


Figura 1: Sistemas de infraestructura hídrica compartidos para faenas mineras en la Región de Atacama en una forma a) non-óptima y b) óptima

El ejercicio utilizó la ubicación de 46 operaciones mineras identificadas (32 activas y 14 en proyecto), su demanda de agua estimada, y ocho plantas desalinizadoras (7 existentes o en proyecto y 1 agregada para el ejercicio). Los resultados se obtuvieron utilizando la herramienta de planificación de abastecimiento de agua que está siendo desarrollada por SMI-ICE-Chile, SMI-UQ y M.C. Inversiones (filial de Mitsubishi Corporation en Chile). La herramienta consta de tres pasos; primero, se definieron, caracterizaron y ubicaron los nodos de fuente y demanda; segundo, usando una capa de costo espacial y algoritmos de optimización espacial, se generaron las mejores conexiones entre todos los nodos para obtener una red de todas las conexiones posibles y finalmente, en base a esta red entregada y utilizando un algoritmo de optimización, se obtiene la configuración de conexiones más rentable de suministro de agua demandada, minimizando los costos.

La herramienta se utilizó para generar el costo de instalación y uso de la red de tuberías (se considera que las plantas desaladoras ya existen) durante un período de 20 años (Tabla 4) en función de los costos de capital de la tubería y los costos operativos correspondientes al consumo de energía. La herramienta utilizó un modelo de optimización estático-lineal con simplificaciones, como características fijas de la tubería y costos de energía; por lo tanto, los resultados son solo indicativos, pero permiten una comparación entre escenarios. La herramienta también se usó para calcular costos ambientales asociados con la alteración del suelo producto de las tuberías, estos costos no tienen unidad y se usan para comparación. Los supuestos utilizados para los cálculos se presentan en las Tabla 3 y 4.

	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2
Costo económico (USD)	7.370 MM	3.969 MM
Costo ambiental	185.000	46.000

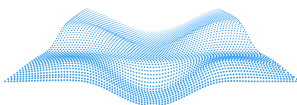
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Costo económico y ambiental calculados para la infraestructura de transporte de agua para los dos escenarios.

FACTOR	SUPUESTO
Costo de tubería	USD 1.300/m instalado
Costo de electricidad	USD 50/MWh
Plazo de operación	20 años
Características	Velocidad de descarga y diámetro de tuberías fijo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Supuestos usados en el modelo de la herramienta



Los resultados del caso de estudio demuestran un ahorro de USD 3.400 millones (reducción del 46%) durante veinte años en los costos de la tubería y el costo de la energía operativa utilizando el segundo escenario. Es probable que reducir los costos en tal medida haga que el agua de mar desalinizada sea más asequible y accesible para los usuarios. El costo ambiental para el segundo escenario se calculó en un 25% del primero debido a la considerable reducción en el uso del suelo. Los resultados sugieren que debería existir un fuerte argumento económico y ambiental para implementar sistemas de suministro de agua compartidos. Sin embargo, se requiere un análisis más profundo para un cálculo más preciso de los beneficios para múltiples escenarios y contextos alternativos.

El potencial beneficio para el sur de Perú y el Norte de Chile

Uno de los objetivos de este proyecto fue entender el potencial beneficio del concepto propuesto para las regiones consideradas. Sin llevar a cabo un modelamiento profundo y análisis de posibles escenarios, es difícil presentar con precisión cual sería el beneficio, pero es posible proveer una primera estimación indicativa de potenciales beneficios económicos usando suposiciones basadas en las inversiones proyectadas en plantas e infraestructura para la desalinización, y el modelamiento regional que ha sido completado como parte del proyecto.

Existe una limitada información con respecto al nivel de inversiones proyectadas en infraestructura de desalinización tanto en Chile como en Perú, sin embargo, existen varias estimaciones de inversiones en infraestructura por parte de la industria minera. En 2014 en Chile, COCHILCO estimó que la inversión en plantas desalinizadoras sería aproximadamente USD 10 mil MM para el 2025. Dada la rapidez en la cual la industria está en transición hacia el uso de agua desalinizada, probablemente esta estimación ahora es conservadora, pero será usada para efectos de los cálculos a realizar. En cuanto a Perú, el Ministerio de Energía y Minas calculó que la inversión total en infraestructura para proveer agua desalinizada para cinco proyectos en desarrollo es de USD 5 mil MM. Similarmente a Chile, esta cifra probablemente subestima el total a invertir en el corto plazo, pero entrega una aproximación. Estos valores tampoco consideran inversiones en infraestructura para agua desalinizada para sectores distintos al minero; estas inversiones podrían ser considerables, particularmente para agua potable, pero actualmente hay una falta de información. Por lo tanto, la inversión total proyectada en el corto plazo para Chile y Perú será estimada en USD 15 mil MM.

Para tener una noción del potencial ahorro, 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 la importancia del potencial beneficio económico como ambiental²¹.

Con todo, existe la necesidad de análisis más profundos del potencial de beneficio económico, social y medio ambiental del concepto tanto a alto nivel (nacional y regional), como bajo nivel (cuencas y grupos de usuarios), y también incorporar otros sectores distintos a la industria minera. Se recomienda un estudio a más largo plazo con este objetivo.

[2.1.5] Acciones para una agenda en el ámbito nacional y regional

[2.1.5.1] Acciones locales necesarias para abordar desafíos y/o capturar oportunidades

Un mayor rol del Estado en la planificación y coordinación con visión de largo plazo: Se debe avanzar hacia un mayor rol del Estado en la identificación de las necesidades de infraestructura compartida y plasmarlo en un portafolio de proyectos bancables con acciones concretas. Para el caso de Chile, se podrían incluir las oportunidades que generaría una infraestructura compartida en documentos como los planes estratégicos de gestión hídrica por cuenca (desarrollados por la DGA²² en Chile) ya que en ellos se despliega información clave para una infraestructura compartida, tales como: caracterización de las cuencas, infraestructura, fuentes de agua, y gobernanza a nivel de cuenca; por lo tanto, facilitaría la generación de escenarios y desarrollo de propuestas. Además, se podría replicar lo aprendido desde el modelo de transmisión eléctrica en Chile, que pasó de ser una infraestructura aislada a una compartida; las acciones que debió realizar el Estado, legislaciones, licitaciones y/o concesiones. Para dar mayor viabilidad política a este plan de infraestructura será un requisito

²¹ Este resultado es calculado usando numerosos supuestos y se presenta solo con el propósito de proporcionar una indicación acerca de la escala de los posibles ahorros si las nuevas infraestructuras de suministro de agua desalinizada fueran compartidas entre múltiples usuarios.

²² Dirección General de Aguas (DGA).

clave el convocar tanto a posibles usuarios como oferentes de cada territorio involucrado para mostrarle las oportunidades y costos de cada proyecto y levantar sus visiones e inquietudes respecto a ello.

Avanzar en el desarrollo de políticas públicas y regulación: Es necesario realizar un análisis de la normativa existente e identificar las brechas o vacíos que están obstaculizando el desarrollo de la infraestructura compartida. Existe una necesidad de regulación en torno a la propiedad, el uso y las oportunidades del agua de mar desalinizada. Asimismo, es prioritario el desarrollo de políticas para apoyar la planificación de gestión de cuenca y mecanismos para fortalecer la coordinación, la seguridad regional y del agua, dado que una gestión por cuenca podría facilitar y/o promover una infraestructura compartida ya que sería más fácil identificar las oportunidades para mejorar la salud de la cuenca por completo, en lugar de solo salvaguardar nodos en particular (ejemplo: una planta desaladora solo para minería v/s una que pueda recargar acuíferos, proveer a las comunidades, y a la minería). A mediano plazo surge como prioritario avanzar en la regulación para incentivar la infraestructura compartida y la inserción del concepto en los planes de desarrollo regionales y nacionales. Una organización nacional o un consorcio integrado por representantes de organizaciones relevantes podría asumir la responsabilidad de la coordinación de la revisión de políticas y regulaciones y el desarrollo de recomendaciones en colaboración con los actores relevantes.

Fortalecer la gobernanza y colaboración a nivel de cuencas: Los problemas relacionados con la coordinación y el liderazgo deben abordarse tanto a escala local como nacional. Se tiene conocimiento de que existe apoyo para una agencia nacional que lidere el desarrollo del concepto, en colaboración con las gobernanzas de cuenca. Se recomiendan gobernanzas de cuencas creadas específicamente para desarrollar proyectos de infraestructura compartida en colaboración con la agencia nacional seleccionada.

Reducir las barreras financieras: Las restricciones financieras pueden superarse potencialmente mediante el desarrollo de asociaciones público-privadas que permitan compartir costos, el desarrollo de subsidios estatales para apoyar la inversión y el uso de pólizas de seguro o la creación de mecanismos de gestión de riesgos financieros para minimizar el riesgo final, asociado con el desarrollo de proyectos de infraestructura compartida. También se podría explorar el uso de recursos económicos públicos generados por la industria minera para apoyar la implementación del concepto, así como en atraer fondos colaborativos internacionales.

Reducir brechas de información: Los resultados de los talleres demostraron que existe una gran necesidad de información para comprender completamente el potencial del concepto, generar



la información necesaria para planificar e implementar proyectos y asegurar el compromiso entre los actores relevantes. Se recomienda seleccionar o desarrollar una organización a nivel nacional que represente a varios grupos para coordinar estudios y proyectos en colaboración con los actores relevantes. En el corto plazo, se releva la necesidad de analizar los beneficios del concepto, generar información pertinente y desarrollar líneas de investigación con la participación de investigadores universitarios, considerando los contextos locales y las necesidades de la comunidad. En el mediano plazo, surge como prioritario establecer claramente los impactos ambientales de la desalinización, y establecer las vías para su reducción y mitigación valorando los servicios ecosistémicos e integrando energías renovables en nuevos sistemas. A largo plazo, se debe avanzar en estudiar el impacto del concepto en la seguridad hídrica y bienestar y generar las métricas para el seguimiento de estas a largo plazo.

Mayor liderazgo de la industria minera hacia acciones colectivas en torno al concepto: La industria minera es uno de los actores más importantes en numerosas zonas áridas del sur de Perú y del norte de Chile y, por lo tanto, tiene un papel clave que desempeñar en el impulso de la implementación del concepto. La industria debe buscar el desarrollo de alianzas de acción colectiva en torno a la gestión del agua y la infraestructura compartida con otros usuarios y sectores locales del agua, considerar opciones para compartir la infraestructura existente e involucrar a las partes interesadas locales en la planificación de nuevos proyectos. El concepto también se beneficiaría de que la industria financie los primeros estudios e implemente sistemas de gestión del agua con los correspondientes sistemas de monitoreo en forma transparente y accesible. En el mediano plazo, focalizarse en apoyar programas de desarrollo regional, generando planes de inversión conjunta y alianzas interempresariales entre Chile y Perú.

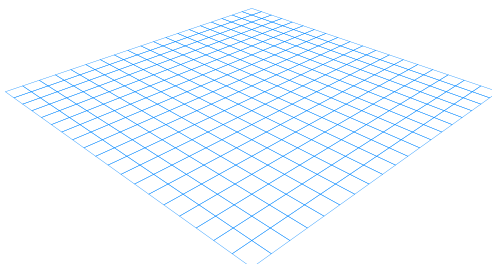
[2.1.5.2] Acciones regionales para un trabajo conjunto provechoso

Las regiones del sur de Perú y las regiones del norte de Chile tienen numerosas similitudes en términos de geografía, clima, cultura y desafíos y oportunidades relacionados con los recursos hídricos. Estas similitudes brindan un caso sólido para la colaboración al abordar los desafíos de los recursos hídricos. Es probable que ambos países puedan beneficiarse enormemente de la implementación del concepto de infraestructura de suministro de agua compartida y el beneficio puede aumentar aún más a través de la colaboración internacional y el aprendizaje compartido.

Avanzar en el fortalecimiento y conocimiento mutuo de la institucionalidad pública y regulación: es uno de los desafíos críticos para la implementación del concepto en ambos países. La ausencia de una regulación clara asociada con el intercambio de recursos hídricos, el intercambio de derechos y la propiedad del agua de mar desalinizada son obstáculos evidentes. Las agencias gubernamentales relevantes deberían considerar las brechas regulatorias en cada país y aprender unos de otros para mejorar los marcos regulatorios. De igual forma, falta una política pública que apoye el desarrollo del concepto. Ambos países tienen políticas para fomentar la gestión integrada de cuencas, que pueden utilizarse como modelo para desarrollar el concepto y brindar una oportunidad para el aprendizaje compartido.

Colaboración, gobernanza y liderazgo: Quedó claro durante el transcurso del proyecto que la estructura de gobernanza preferida era una agencia nacional que coordinaba el concepto a nivel nacional junto con el gobierno regional y las gobernanzas de cuenca. La Dirección General de Aguas en Chile y la Autoridad Nacional de Agua en Perú, fueron consideradas las agencias más apropiadas. Habría oportunidades claras para que estas dos agencias colaboren, compartan conocimientos y estudios de casos, y aprendan de manera colaborativa. Estas agencias también podrían asegurar la conectividad entre Chile y Perú tanto a nivel regional como de cuenca.

Explorar un piloto entre ambos países: La continuación de este concepto puede potencialmente abrir la oportunidad de desarrollar una asociación binacional para apoyar la cooperación entre Perú y Chile en el desarrollo e implementación del concepto. El desarrollo de un proyecto piloto entre las regiones de Tacna en Perú y Arica y Parinacota en Chile para generar seguridad hídrica a ambos lados de la frontera compartiendo recursos e infraestructura podría conducir a una mayor colaboración y cooperación entre los dos países.



[2.2] ELECTROMOVILIDAD PARA UNA MINERÍA SIN EMISIONES

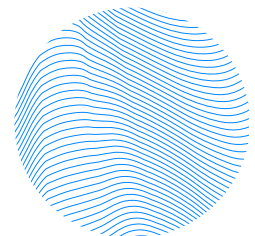
[2.2.1] Importancia/criticidad (qué es lo que está en juego)

Los compromisos de descarbonización de la minería en Chile y Perú apuntan a una carbono neutralidad en la minería antes del 2050, los desafíos para reducir emisiones de GEI incluyen identificar la vía más ágil para lograr estas metas. La premura también responde a que la minería forma parte de numerosas cadenas de suministro donde cada vez será más frecuente la exigencia para que los productos de exportación/importación disminuyan sus emisiones de Alcance 1, 2 y 3 en su cadena de valor. El sector minero tiene que innovar en estrategias para reducir el consumo de combustibles fósiles y por lo tanto las emisiones de carbono.

Para ello se ha visualizado aprovechar el potencial de la tecnología y la eficiencia energética. Los camiones de Extracción de Alto Tonelaje (CAEX) consumen grandes cantidades de diésel para operar, en Chile las emisiones de GEI derivadas de estos equipos, corresponden a más del 5% de las emisiones nacionales, volviéndose un nicho con un alto potencial para aportar a la descarbonización del sector y el país.

Sin embargo, no existe oferta tecnológica para abordar todos los desafíos ambientales actuales. Los proveedores de CAEX más comunes en Chile y Perú son Komatsu y Caterpillar, y en pláticas con el gremio, la mayoría ha expresado que antes del 2030, no contarán con disponibilidad comercial de tecnologías cero emisiones de camiones mineros a batería, o de celdas de hidrógeno. Sólo han dado señales de disponibilidad de tecnología híbrida y posibilidades de trolley a batería. Es sólo hacia mitad de la próxima década donde se visualiza que comience la oferta de CAEX a batería, y para finales a celdas de hidrógeno, llegando tarde a las metas de descarbonización del sector.

La disyuntiva es definir qué tan conveniente es esperar a que la tecnología esté disponible e importarla, o generar proyectos de innovación locales que den soluciones y aceleren la descarbonización; en otras palabras, se busca esclarecer cuál es el camino más ágil para lograr la reducción de emisiones de los camiones mineros para cumplir con las metas establecidas.



[2.2.2] Contexto

Una vasta mayoría de países asume que todas las actividades productivas, incluyendo la minería, deben ir disminuyendo su huella de carbono directa e indirecta. Más de 90 países han presentado iniciativas fiscales o de fijación de precios del carbono en sus Contribuciones Nacionales Determinadas (NDC), y se esperan nuevas imposiciones al carbono que impactarán la competitividad de las empresas e industrias según como se defina e implemente el ajuste de sus sistemas productivos a los nuevos estándares y su impacto en la estructura de costos. Tanto en Chile como Perú, las discusiones sectoriales apuntan a la carbono-neutralidad de la minería al 2040 o 2050. En coherencia con el contexto global y con los NDC del país, algunas compañías mineras en Chile están estableciendo metas para reducir el 50% de sus emisiones (Alcance 1 y 2) al 2030. Ello implica que se debe acelerar la transición a la descarbonización para fortalecer la competitividad del sector.

En este contexto, 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. 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 quema de diésel.

Los vehículos mineros CAEX son los equipos que más consumen diésel en la faena, demandando del orden de hasta 4 mil litros de combustible al día, y operan todo el año. Entre Perú y Chile, se estima que las unidades de CAEX superan los 3.500 equipos que tienen posibilidades de ser reconvertidos y/o reemplazados²³.

Aún no existen soluciones comercialmente maduras asociados a CAEX cero emisiones. Los fabricantes (OEM, *Original Equipment Manufacturer*) visualizan que tecnologías híbridas podrían eventualmente estar disponibles para 2025, y a finales de esta década el trolley a batería. En el caso de las maquinarias cero emisiones, los plazos son mayores, por ejemplo, los equipos cero emisiones a batería, eléctricos primeramente y con celdas de combustible posteriormente sólo estarían disponible hasta la década del 2030, sin certeza de saber cuándo exactamente.

La electromovilidad como opción tecnológica en la minería es altamente discutida en todo el mundo. Ella depende, en gran medida, de las posibilidades de acceder a energía eléctrica limpia, de

disponer de hidrógeno verde y de contar con oferta de maquinaria, trenes de potencia de baterías y celdas de combustibles. Los sistemas de abastecimiento de energía limpia tienen que lograr los mismos estándares de excelencia operacional actuales del diésel y desarrollar sistemas habilitantes asociados a normativas, servicios de soporte, formación de capacidades y programas de innovación.

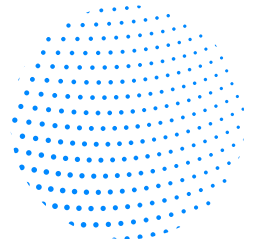
Si el ciclo de madurez tecnológico para ofertar soluciones de electromovilidad de CAEX está aún en sus primeras etapas, ¿qué puede hacer la minería para aprovechar el potencial de la electromovilidad y cumplir con sus compromisos de reducción de emisiones?

En este contexto, surgen al menos las siguientes opciones:

- A.** Esperar a que la tecnología esté disponible e importarla, de tal manera que la reducción de emisiones se alcance a través de la masificación de un replazo tecnológico con equipos importados. Aquí se debe recordar que se desconoce cuándo estará disponible la tecnología, lo que podría generar prisas o urgencias que impliquen altas inversiones en periodos cortos.
- B.** Establecer estrategias y políticas de reconversión; es decir, generar proyectos de innovación que den soluciones tecnológicas para acelerar la descarbonización, y que incluya un nuevo modelo de negocio con soluciones customizadas para la industria minera.

Es relevante esclarecer cuál es el camino más ágil para lograr la reducción de emisiones de los camiones mineros y cumplir con las metas establecidas. En este proyecto se analiza la segunda opción – descarbonización por reconversión. Aunque esta opción es desafiante, tiene varios elementos que justifican su estudio:

- Ayudaría a alcanzar las metas de descarbonización en plazos menores.
- Es complementaria con la primera opción ya que muchas de las capacidades que se deben desarrollar también son relevantes para la primera opción, es un desarrollo que igualmente podría apoyar las soluciones impulsadas por la industria automotriz a nivel mundial.
- Permite impulsar el desarrollo de actividades productivas y empleo con una aproximación de economía circular y en alianza con OEMs y líderes tecnológicos internacionales.



Un tema clave para poder avanzar es crear la demanda. Para ello, los gobiernos de Chile y Perú deben visibilizar las emisiones de escape del CAEX como un problema ambiental e incentivar la adopción de equipos libres de emisiones, es decir, deben dar las señales adecuadas y aumentar las exigencias a las compañías con un plazo temporal. En Chile, la recientemente publicada Estrategia Nacional de Electromovilidad decreta que a partir del 2035 toda la maquinaria pesada (mayor a 560 kW de potencia) para ser comercializada en el país no podrá emplear motores de combustibles fósiles, 5 años antes del plazo que tienen las compañías mineras para reducir emisiones un 50%. En paralelo, la industria de la energía también tiene que ser incentivada por la autoridad para resolver los temas logísticos de producción y transmisión, y la industria local tendría que trabajar en conjunto con proveedores tecnológicos y autoridades para dirigir correctamente su mercado.

[2.2.3] Desafíos

Entre los principales desafíos se identifican:

Baja prioridad de los OEM para desarrollos tecnológicos en equipos de alta potencia: La tecnología diésel empleada en maquinaria pesada comprende una amplia gama de soluciones para mejorar la eficiencia energética y el control de emisiones de estos equipos, variando significativamente según la potencia del motor²⁴. No obstante, los motores sobre 560 kW son los menos numerosos a nivel mundial y por lo tanto los trenes motrices que requieren de esta capacidad reciben menos atención de parte de los OEM, debido a que no cuentan con suficientes habilitadores tecnológicos para formalizar el despliegue de tecnología cero emisiones; tampoco las regulaciones han generado desafíos técnicos para que los equipos de combustión interna aumenten significativamente la eficiencia del motor. Los trenes de potencia eléctricos tienen numerosas ventajas sobre los sistemas que son mecánicos e hidráulicos tradicionales, pero todavía existen importantes desafíos de ingeniería que superar para lograr el éxito comercial a largo plazo²⁵. Los camiones CAEX superan los 1.000 kW de potencia y pueden alcanzar hasta los 2.000 kW.

Coherencia con la evolución de estándares de emisión: Los estándares de emisión de la maquinaria fuera de ruta (*Emissions from non-road mobile machinery*, NRMM) son cada vez más estrictos. Por ejemplo, los próximos estándares de emisión de la Unión Euro-

²⁴ The International Council on Clean Transportation, 2016.

²⁵ Lajunen et al., 2018.

pea, de la Etapa V, incluirán en la legislación tanto motores pequeños (<19 kW) como de gran tamaño (> 560 kW), además de límites para la masa y número de partículas²⁶. También se establecen los procedimientos que deben seguir los fabricantes para obtener la homologación, un requisito previo para la comercialización en el mercado de varios países.

RANGO DE POTENCIA [kW]	TIER 4I/STAGE IIIB				TIER 5			
	CO	HC	NOx	PM Mass	CO	HC	NOx	PM Mass
0 < P < 8	Sin límites				8,0	(HC+NOx ≤ 7,5)		0,4
8 ≤ P < 19	Sin límites				6,6	(HC+NOx ≤ 7,5)		0,4
19 ≤ P < 37	5,5	(HC+NOx ≤ 7,5)		0,6	5,0	(HC+NOx ≤ 4,7)		0,015
37 ≤ P < 56	5,0	(HC+NOx ≤ 7,5)		0,025	5,0	(HC+NOx ≤ 4,7)		0,015
56 ≤ P < 130	5,0	0,19	0,4	0,025	5,0	0,19	0,4	0,015
130 ≤ P < 560	3,5	0,19	0,4	0,025	3,5	0,19	0,4	0,015
P > 560	Sin límites				3,5	0,19	3,5	0,045

Tabla 5. Límites de emisiones en la regulación europea para maquinaria NRMM de combustión interna (g/kWh).

Si bien Chile y Perú son países que han adoptado la regulación internacional para regular las emisiones de la maquinaria pesada, en general existe un retraso en la adopción de normativas vigentes en países desarrollados. Una exigencia laxa promueve la venta de equipos que en países desarrollados ya no se permiten. Los importadores de maquinaria se ven incentivados a importar maquinaria "nueva" pero menos eficiente -en términos de emisiones- a los países rezagados normativamente, ya que no tienen estímulos para comercializar vehículos que cumplan con normas más estrictas, y que regularmente son más caros (al menos en un principio). A partir del 2022 Chile solicitó a los fabricantes e importadores cumplir con la normativa Stage IV o Tier 4 para que sus equipos puedan ser comercializados en el país. En el caso de Perú, a partir

26 Comisión Europea, 2014.

del 2018 se requiere un Tier 2 o Stage II para que un equipo CAEX pueda incorporarse al parque. Según varios expertos, a partir del Stage IIIA/Tier 4i, puede observarse realmente una reducción importante de material particulado en masa y por ende del hollín en los equipos, aunque esto finalmente depende del dispositivo posttratamiento de emisiones que seleccione el fabricante²⁷.

Altos costos de los motores híbridos: La hibridación de equipos de gran capacidad se considera una forma de gestionar y mitigar los posibles riesgos técnicos y económicos que pueden encontrarse en la tecnología que sólo opera a batería; sin embargo, los equipos híbridos mantienen altos costos de desarrollo, no disminuyen los costos de mantenimiento del motor de combustión (al contrario, aumentan) y representa seguir generando emisiones GEI directas (siendo estas últimas de las principales ventajas de la electromovilidad). Lo anterior resultó en una tecnología de transición que funcionó por un tiempo en los vehículos livianos, pero no en la maquinaria móvil como los CAEX debido al alto costo de intervenir un equipo de esta magnitud. Además, las empresas mineras deben elegir una tecnología con la cual operar por periodos largos. Más aún, la tecnología móvil híbrida en el caso de los camiones mineros no representa muchas mejoras y/o ventajas sobre la convencional como lo hace con los equipos que no se desplazan²⁸. Lo mejor es ir directamente por la electrificación en alguna de sus configuraciones.

Disponibilidad de máquinas cero emisiones: Los proveedores de CAEX más comunes en Chile y Perú son Komatsu y Caterpillar, sin embargo, en pláticas con el gremio la mayoría ha expresado no contar con disponibilidad comercial de tecnologías de camiones mineros a batería, ni a celdas de hidrógeno antes de la década de los 2030s. En su lugar, en el caso de Chile han dado las señales sobre la disponibilidad de tecnología híbrida y posibilidades de trolley a batería y sólo hacia después del 2030 se vislumbra que comience la oferta de CAEX a batería, y para finales de la década a celdas de hidrógeno.

²⁷ Swisscontact, 2020.

²⁸ Lajunen et al., 2018.

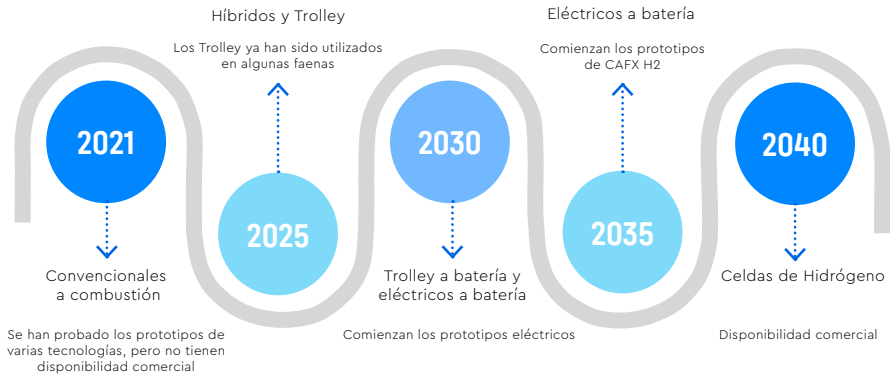


Figura 3: Línea de tiempo de disponibilidad comercial de tecnología de camiones mineros de extracción (CAEX)

Esfuerzos dispersos de la industria minera: Algunas empresas de gran escala en Chile y en Perú ya cuentan con iniciativas encaminadas a la mejora tecnológica de los CAEX para reducir emisiones. Sin embargo, los esfuerzos son dispersos y actualmente no se visualizan intercambios de experiencias técnicas aun cuando el desafío para toda la industria es el mismo «llegar a la carbono neutralidad en los plazos establecidos» para lo cual, una de las barreras más importantes son los altos consumos de diésel de los camiones de extracción.

Brechas de conocimientos: En el caso de los CAEX, la mayoría de las compañías mineras avanza 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.

Otras barreras técnicas, regulatorias y financieras: La idea de reconversión de CAEX diésel a eléctricos es muy prometedora, sin embargo, el presente reconoce que todavía existen muchos desafíos para implementar un modelo de negocio de la manera en que se sugiere. En primer lugar, existen barreras tecnológicas no resueltas como el diseño de *power train* eléctrico o a celdas de combustible de gran capacidad; en el caso de las soluciones eléctricas, todavía falta resolver componentes en el diseño de cargadores de potencia muy elevada y de conexión ultrarrápida. En cuanto a las barreras regulatorias, existen las asociadas a la con-

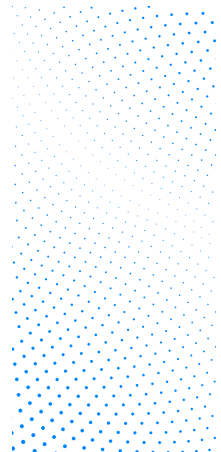
formidad de reconversión de maquinaria, además del suministro de hidrógeno que requiere normativa de distintos elementos que van desde regular la calidad del hidrógeno hasta la seguridad en el transporte y abastecimiento. Por último, las barreras financieras para un proyecto de esta magnitud, que considere un mediano y largo plazo además de los riesgos implicados; requerirá distintas fuentes de financiamiento que pueden ir desde fondos hasta contribuciones en patrimonio, de capital, y de deuda.

[2.2.4] Oportunidades

Entre las oportunidades se identifican:

Tamaño del mercado local: Entre Perú y Chile, se estima que las unidades de CAEX superan los 3.500 equipos CAEX, integran un mercado grande, pero, sobre todo, concentrado en una misma región, por lo que existe potencial de construir un mercado de reconversión y crear una demanda focalizada de camiones mineros cero emisiones reconvertidos. Es importante recordar que las condiciones que se requieren para habilitar las soluciones a batería son distintas a las de celdas de hidrógeno, por lo que la industria minera también debe pronunciarse sobre lo que visualicen más promisorio como una solución estándar en la región, lo que significa dar señales de demandas puntuales de lo que va a significar el cambio tecnológico y sus cambios en la cadena de valor. La proximidad regional permite acortar las brechas de tiempos de producción, envío y costos, por lo que el modelo de negocio debe considerar reubicar la provisión de equipos para generar mayor competitividad local. Es posible aprovechar el acervo técnico del ensamblado a distancia y de la re-manufactura para que sea usado en reconvertir la tecnología diésel a eléctrica y/o a celdas de combustible. Ambas estrategias ya han sido aplicadas por algunas compañías proveedoras de equipos. Durante el proceso de intervención del CAEX, este debe customizarse con el pack de baterías que se ajuste mejor a las necesidades energéticas específicas de la faena.

El enfoque sugerido es un trabajo que no depende únicamente de proveedores tecnológicos, sino de un trabajo coordinado entre compañías mineras, la industria energética, el Estado y demás partes interesadas con influencia en el proceso. Las autoridades deben impulsar la renovación de la flota de camiones de extracción y llevarlo al entorno político-regulatorio y social. Visibilizar la utilidad de avanzar en proyectos de innovación tecnológica para crear soluciones que actualmente existen sólo parcialmente. A través de generar acercamiento entre todos los actores, es posible buscar e identificar las capacidades en el mercado, desarrollar las capacidades internas, buscar a los mejores socios y colaboradores expertos



en la escena nacional e internacional, diferenciando críticamente a quienes sí tienen potencial de participar. Las compañías mineras en colaboración con el gobierno podrían desarrollar alianzas con los proveedores más capacitados (incluyendo OEM) y generar un ecosistema productivo. La participación de actores locales en la cadena de valor de los camiones mineros reconvertidos podría generar beneficios a nivel local, en términos de nuevos empleos, promoción de la innovación y desarrollo de capacidades.

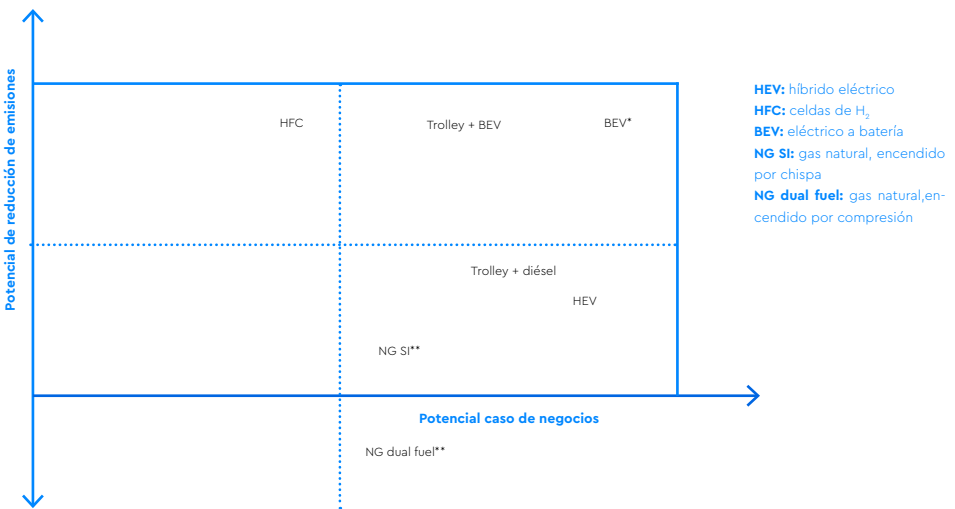
Aceleración de la tasa de recambio: Chile tiene una tasa de recambio anual de aproximada 50 camiones de extracción o CAEX²⁹, lo que significa que la tasa de reemplazo de máquinas debería duplicarse para lograr las metas de descarbonización o como mínimo mantenerse, asumiendo que los nuevos equipos son de bajas o nulas emisiones. Asimismo, el valor CIF de las importaciones de CAEX en Chile alcanzaron los US\$216 millones en el 2020, el valor más alto en 6 años, aun cuando se importaron 12 equipos usados. El costo por CAEX osciló en torno a los US\$3,7 millones en 2020. La estrategia de reconversión podría requerir niveles de inversión por debajo del monto de importación reportado. Algunos proveedores de CAEX mineros como Caterpillar ya han puesto en práctica la re-manufactura de equipos. Esta estrategia fue importante en la producción de unidades CAEX para afrontar la crisis del 2008. 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. Esto puede ahorrarle entre 30-50% de costos de compra al consumidor final. Cada vez es más necesario el cambio en el modelo de producción y consumo para migrar hacia una economía circular, donde se implementen nuevos modelos de negocios asociados a la recuperación y reutilización de componentes sometidos a un proceso de renovación.

Alternativas tecnológicas con posibilidades de ser caso de negocio: Las alternativas al diésel de camiones CAEX y su potencial de reducción de emisiones se presentan en la siguiente figura, que ejemplifica una comparación de las tecnologías en función de las posibilidades de ser caso de negocio al año 2022. Como se puede observar, los equipos eléctricos a batería (BEV) hoy tienen alto potencial para ser un caso de negocios, sin embargo, la complejidad física de los rajes mineros limita -hasta ahora- su operación a faenas no muy largas y/o trabajo no muy intenso. Es posible que en un mediano plazo se desarrollen baterías de más alta capacidad o soluciones de carga que poco a poco permitan la introducción de esta tecnología en más operaciones mineras. En segundo lugar, aparecen los Trolley a batería, que son equipos

29 Cochilco, 2020.

conectados a una red eléctrica que le permite al CAEX utilizar la energía directamente desde la red y cuando está conectado, y la batería cuando no porque tiene que moverse del camino para ir al rajo; esta opción, a pesar de tener potencial, ha sido utilizada sólo por pocas compañías debido a que los caminos de las operaciones no son fijos, e implicaría invertir constantemente en la adecuación de la red. Otro potencial caso de negocios son las tecnologías a celdas de hidrógeno (HEV), el que presenta también ventajas en eficiencia y en reducción de emisiones, sin embargo, la cadena de suministro del combustible todavía no es clara, por lo que deben resolverse las dificultades para acceder a hidrógeno verde a bajo costo o bien producirlo in situ.

Figura 3: Alternativas al diésel en CAEX-potencial ambiental y económico



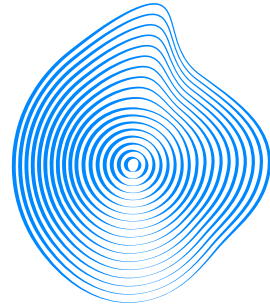
*BEV: para operaciones en las cuales el ciclo de trabajo no muy intenso (o largo) y la carga de oportunidad es factible

**NG SI y dual fuel: basado en el Advanced Motor Fuels, en el proyecto TCP de mejora en el rendimiento de emisiones y de eficiencia energética para vehículos pesados operados con metano, 2014.

Fuente: Elaboración propia

Soluciones a medida o customizadas y creación de la demanda:

La tecnología cero emisiones requiere soluciones adaptadas a la realidad de cada faena, ya que cada operación minera tiene distinta complejidad que se traduce en diferentes demandas de potencia y energía. Esto tiene una influencia directa en la inversión dado los costos que significan las celdas de combustibles, las baterías y la infraestructura de recarga. En efecto, sobredimensionar la potencia y la capacidad energética de un camión minero en una operación que no lo requiere sólo es desaprovechar los recursos económicos. Es por ello, que los CAEX cero emisiones tienen que ser soluciones customizadas para cada caso, y con ello, la idea de adquirir un equipo convencional diésel aplicable a la operación de todas las faenas queda obsoleta, ya que no es posible con los sistemas de trenes de potencia eléctrico. La consecuencia más importante es que la cadena de valor de los CAEX cero emisiones deberán estar próxima a la demanda. Por ello, el grado de personalización tecnológica que requiera la región fortalece la idea del desarrollo de una industria local asociada a la cadena de valor de esta maquinaria, para que pueda participar en el ensamblaje de piezas, componentes y sistemas, así como también en los nuevos servicios que se requerirán, por ejemplo, una segunda vida y reciclaje de baterías, siendo este un punto donde se establece una relación clara con los esfuerzos de establecer sistemas de economía circular en torno a la minería primaria.



Esfuerzos e iniciativas de la industria minera: La incertidumbre sobre la disponibilidad comercial de maquinaria cero emisiones y las presiones por la urgencia climática de los gobiernos sobre la industria, han llevado a las compañías mineras a crear hojas de ruta para acelerar la descarbonización de la manera más rentable en los plazos establecidos, tomando en consideración los desafíos que plantea reducir el 50% de sus emisiones (Alcance 1 y 2) al 2030 y no contar con maquinaria cero emisiones sustituta para aquella que es más contaminante en el mismo plazo. Es importante recordar que las condiciones requeridas para habilitar las soluciones a batería son distintas a las de celdas de hidrógeno, por lo que la industria minera también debe pronunciarse sobre lo que visualicen más prometedor como solución estándar en la región. Esto significa dar señales de demandas puntuales de lo que va a significar el cambio tecnológico y sus cambios en la cadena de valor. Las empresas que ya han adelantado camino pueden ejercer el liderazgo, y en conjunto con las autoridades podrían: 1) identificar barreras y habilitadores, 2) priorizar y explorar soluciones, y 3) definir una única hoja de ruta que acelere la transición tecnológica a CAEX cero emisiones.

Potenciar la economía circular: La región Andina tiene potencial para desarrollar localmente parte de la cadena de valor y permitirse desarrollar una estrategia asociada a la recuperación de componentes para activar la economía circular. El complejo industrial

La Negra, ubicado a unos kilómetros de Antofagasta en Chile, es un parque estratégico de más de 200 hectáreas que ofrece servicios, bienes y productos para la minería. Está integrado por unas 150 empresas, entre pymes y firmas de mayor tamaño; con la infraestructura actual, incluso es posible hacer el overhaul de los camiones mineros sin necesidad de que sean enviados a Estados Unidos como era hasta hace algunos años; de hecho, camiones de la minería peruana llegan a La Negra a realizar este servicio. Marcas como Caterpillar se han apoyado de este complejo para proveer algunos de sus servicios de ensamblaje final de componentes y servicios post venta. Y lo más importante, el parque industrial se está preparando a la par de la minería para integrarse a la revolución industrial 4.0 y potenciar el parque con encadenamientos productivos. Aprovechar esta oportunidad podría conducir a materializar directamente acciones de economía circular en la minería de la región.

[2.2.5] Acciones para una agenda en el ámbito nacional y regional

[2.2.5.1] Acciones necesarias para abordar desafíos y/o capturar oportunidades

Fomentar asociaciones público-privadas para sostener un esfuerzo de innovación abierta: La reconversión de CAEX cero emisiones requiere de un proceso acelerado 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. Al mismo tiempo, las soluciones tecnológicas deben estar estrechamente alineadas con las necesidades operativas y regulatorias, existiendo espacios para la creación de sinergias, lo que requiere una cooperación de la industria minera, sus proveedores tecnológicos, la industria energética y el Estado, y otras partes interesadas. Entre otros elementos, el Estado debe impulsar la renovación de la flota de camiones de extracción y llevarlo al entorno político-regulatorio y social visibilizando la utilidad de avanzar en proyectos de innovación tecnológica para crear soluciones que actualmente existen sólo parcialmente. A través de generar acercamiento entre todos los actores relevantes, se deben identificar las capacidades en el mercado, su potencial de desarrollo interno, los mejores socios y colaboradores expertos en la escena nacional e internacional, diferenciando críticamente a quienes tienen potencial de participar. Las compañías mineras, en colaboración con el Estado, pueden desarrollar alianzas con los proveedores más capacitados (incluyendo OEM) y generar un ecosistema productivo.

Crear una demanda específica y reubicar la oferta para capturar oportunidades:

Bajo un nuevo modo de operar con CAEX eléctricos, se requiere avanzar hacia la customización del motor de potencia y la capacidad de las baterías. Considerando que las soluciones a batería son distintas a las de celdas de hidrógeno, la industria minera debe pronunciarse sobre lo que visualicen más promisorio como solución estándar en la región, dando señales de demandas puntuales de lo que va a significar el cambio tecnológico y sus cambios en la cadena de valor. Si bien, algunas compañías ya han puesto en marcha algunas acciones, hasta ahora son esfuerzos dispersos y sin intercambios de experiencias técnicas. Desde la oferta de tecnología minera se requiere ubicarla cerca de la demanda. El grado de personalización tecnológica que posiblemente requiera la región Andina, debido a la existencia de faenas de distintos tamaños, complejidades, climas, etcétera, obligará a los proveedores a acercar la cadena de valor, creando grandes oportunidades de participación de industria y capacidad local.

Elaborar una hoja de ruta para la reconversión del CAEX que priorice los desafíos y soluciones:

Es primordial que el Estado y el sector privado conozcan los desafíos y las oportunidades asociadas a la cadena de valor de lo que significaría la reconversión de CAEX. En este sentido, se sugiere la creación de un ente que ejerza liderazgo y que sea capaz de desarrollar un proyecto de esta índole: 1) identificar barreras y habilitadores, 2) priorizar desafíos y explorar soluciones, y 3) definir una hoja de ruta que acelere la transición tecnológica a CAEX cero emisiones. Aunque aquí esto se plantea a nivel nacional, esto bien puede ser un esfuerzo de escala regional. En este último caso la Cooperación Económica Asia-Pacífico puede ser el ente que lidere y promueva directamente la reconversión de los CAEX cero emisiones, como parte de una macro agenda de innovación ambiental, que permita identificar y acceder a fuentes de financiamiento para la pequeña y gran industria.

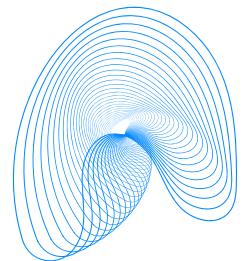
[2.2.5.2] Acciones regionales para un trabajo conjunto provechoso

Capitalizar sobre esfuerzos existentes de mineras presentes en la región que logre unir oferta y demanda:

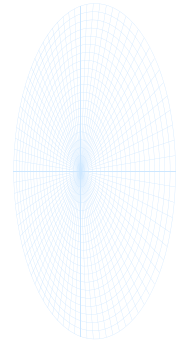
Actualmente existen algunas iniciativas que ya son un punto de partida y referente, la iniciativa *Charge On Innovation Challenge* es un esfuerzo de tres grandes empresas mineras: BHP, Rio Tinto y Vale, y la organización Austmine, una impulsora de tecnología que reúne a varios proveedores para iniciar la colaboración para la descarbonización del sector. La iniciativa es un espacio de innovación abierta para resolver un desafío tecnológico específico, diseñar una solución de recarga para un CAEX eléctrico, con el fin de entregar energía

eléctrica de alta potencia en un periodo «desafío» de un ciclo de operación del camión. De estas compañías, sólo una tiene operaciones en la región Andina, pero puede integrarse cualquier otra que sea proveedora de equipos y servicios, sin necesidad de estar adscritos forzosamente a Austmine. Las tres empresas mineras son patrocinadoras, mientras que Austmine se encarga del trabajo técnico con los proveedores. Cualquier empresa que envíe un aporte al desafío cede una licencia para usar los derechos en la medida que sea necesario y sólo para los fines comprometidos; en su lugar, el proveedor conserva la confidencialidad del concepto, la propiedad de sus derechos, y la propiedad intelectual de los contenidos, además de la libertad de elegir si quiere que el logro enviado sea divulgado o no. El acervo tecnológico recabado es evaluado en talleres donde participan los patrocinadores, quienes previamente pre valoraron cada solución en función de sus requerimientos operativos. De esta forma, el modelo de negocio se completa cuando los patrocinadores deciden cuáles de los conceptos serán escalables, para lo cual, Austmine-Charge On también trabajará en la búsqueda de inversores y mecanismos de financiamiento para traccionar la comercialización una vez resuelto el desafío. De esta manera, los proveedores participantes tienen comprometida la demanda, el modelo funciona porque se han dado las señales correctas, Charge On presenta una propuesta de valor que será utilizada -por lo menos- por las empresas patrocinadoras. En este sentido, fijar un objetivo claro permite acortar la brecha de habilitadores para hacer disponible una tecnología que no existe.

Desarrollar una agenda de trabajo para desarrollar un ecosistema y gestión de cambio a nivel regional: La capacidad de colaboración determinará el éxito de las acciones en un contexto donde las compañías mineras no pueden por sí solas ejercer presión a los proveedores, por lo que se requiere de un ecosistema que habilite el desarrollo tecnológico a nivel regional. Ser receptivos a la transición de la magnitud requerida depende de la gestión del cambio en los distintos ámbitos involucrados, desde el estado y la industria de toda escala, hasta la sociedad en general. La gestión del cambio es un proceso sistemático para lidiar con una transformación, y deberá realizarse en los distintos ámbitos y a diferentes niveles para que conversen todos los actores; más allá de tener acceso a la tecnología, se debe tener presente que no solo es un prototipo, sino también es la búsqueda a la escalabilidad del CAEX cero emisiones primeramente a la región, para el cual, los cambios en el modelo de operación y en todo el entorno tienen que estar listos a la par que el camión. Se recomienda la creación de una agenda de trabajo (complementaria a la hoja de ruta de reconversión del CAEX) para generar las condiciones habilitantes que permitan la creación de un nuevo modelo de negocio, enfocado en la región.



Promover encadenamientos industriales: Los *power train* de los CAEX son motores que comparten componentes con la maquinaria pesada de otra industria, como la utilizada en empresas forestales, la construcción, actividades agrícolas, etc. El encadenamiento industrial puede habilitarse para cooperar entre empresas que comparten componentes y preocupaciones para desarrollar operaciones bajas en carbono, para lo cual se requiere analizar la cadena de valor y realizar un estudio de encadenamiento industrial de bienes y servicios asociados, identificando para cada componente las posibilidades de cooperación para que sean desarrollados en distintos puntos de la región. El complejo industrial La Negra en Chile mencionado anteriormente, da una muestra del potencial que existe para promover la reconversión a partir del encadenamiento industrial. El Clúster Minero del Sur del Perú, que tiene como objetivo formar un polo de innovación tecnológica a partir del desarrollo local para los desafíos de la minería, podría dar cabida al desarrollo de componentes específicos del CAEX cero emisiones. Asimismo, Moquegua podría transformarse en el segundo clúster tecnológico en Perú habilitado para este objetivo³⁰.



Homogeneizar la regulación en la región: La tecnología para mejorar la eficiencia energética y el control de emisiones de equipos tales como los trenes de potencia a diésel de gran capacidad, varía significativamente según la potencia del motor. La Unión Europea ha creado paquetes regulatorios que definen el estándar o los límites de emisión para estos motores, y establecen los procedimientos que deben seguir los fabricantes para obtener la homologación, un requisito previo para la comercialización en el mercado de varios países. Chile y Perú han adoptado la regulación internacional y la han adaptado a sus mercados para regular las emisiones de la maquinaria pesada, sin embargo, existe un retraso regulatorio con respecto a las normativas vigentes en países desarrollados. Lo anterior es relevante porque se promueve la venta de equipos obsoletos que en países desarrollados ya no están permitidos, y no tienen estímulos para cumplir voluntariamente normas más estrictas, que regularmente significan que los equipos sean más caros para el consumidor final (por lo menos al principio) lo que los podría dejar fuera del mercado en el país. Una nivelación regulatoria a nivel regional, o la adopción de estándares homogéneos entre Chile y Perú podría habilitar que los proveedores se vean obligados a realizar esfuerzos coordinados con la autoridad.

30 Banco Mundial, 2021.

[2.3] ECONOMÍA CIRCULAR EN LA MINERÍA PRIMARIA

[2.3.1] Importancia/criticidad (qué es lo que está en juego)

La economía circular (EC), en el sector minero, pone su foco en la maximización del valor, minimizando la generación de residuos a través de todas las etapas de extracción y procesamiento y la preservación enfocada de los recursos naturales y su valor mediante la prolongación de la vida útil de los minerales extraídos³¹. Dado que toda compañía minera, además de ser un proveedor de materia prima es también un importante comprador y usuario de productos y servicios, abre la posibilidad de circularidad a toda su cadena de valor. Por ello, la EC requiere de un marco sistémico de cooperación tanto dentro de la industria como con otros actores del mercado que pueden ser atraídos para capturar y compartir el valor.

Aunque la implementación de la EC en el sector minero es relativamente reciente, su arribo en el sector minero primario en la región Andina se da en un momento crítico para lograr contener el incremento de los GEI. En este escenario, la EC surge como un modelo restaurativo y regenerativo desde el diseño, que busca desacoplar el crecimiento económico del uso de la energía y los recursos, cerrando el ciclo de los materiales en el sistema económico, siendo una oportunidad para avanzar hacia la mitigación y adaptación al cambio climático y, en consistencia con lo anterior, a los nuevos requerimientos de mercado de la minería del cobre primaria de los países de la región Andina, incluyendo tanto Chile como Perú pero también en otros países como Colombia.

Con todo, el uso de la EC dentro de la industria minera es de cuádruple importancia para la industria. Primero, por su contribución a la lucha contra el cambio climático bajo el Acuerdo de París. Segundo, por su contribución a la generación de valor compartido en las sociedades donde están insertas, fortaleciendo la valoración de la minería en un contexto político y social de la región con profundas tensiones en el camino para construir democracias más sólidas. Tercero, por aportar a la resiliencia de las operaciones en un medio ambiente que presentará nuevos desafíos a los procesos de extracción. Finalmente, para los países de la región, avanzar en este nuevo modelo económico, es también una oportunidad para lograr una *transición justa* para todos y todas. En resumen, si bien la EC no es la solución de todos los problemas de la región, es uno de los medios que se tiene a disposición para avanzar hacia la construcción de una sociedad más sostenible.

31 Young, A. et al., 2021.

[2.3.2] Contexto

La implementación de la EC en el sector minero se plasma por primera vez con la publicación del documento *Mining and Metals and the Circular Economy*³², el cual ha sido uno de los primeros esfuerzos integrados en proponer un camino para la industria. En particular el ICMM propone que *“Las explotaciones mineras también tienen margen para adoptar un enfoque circular del negocio. Además de tener en cuenta el impacto medioambiental y social de sus operaciones, las empresas mineras pueden adoptar, y de hecho lo hacen, medidas para minimizar los efectos negativos, compartir las mejores prácticas y reducir los residuos”* (traducción propia).

Posteriormente, un creciente, pero acotado número de documentos y trabajos científicos han profundizado en diversos aspectos de este nuevo modelo en el sector³³. El último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) ha puesto en alerta que *“a menos que las emisiones de gases de efecto invernadero se reduzcan de manera inmediata, rápida y a gran escala, limitar el calentamiento a cerca de 1,5° C o incluso a 2° C será un objetivo inalcanzable”*³⁴.

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 que cada nicho tecnológico analizado en este proyecto contribuye al desarrollo sustentable de la industria minera.

Sin embargo, debe entenderse que la economía circular es de reciente posicionamiento y aún carece de un desarrollo práctico en la industria, lo que impide su cuantificación en términos de aporte a la reducción de GEI y residuos, del incremento en la eficiencia operacional o licencia social para operar, entre otras. Este es el gran desafío a corto plazo, pasar desde una EC a nivel de relato hacia una de procesos, lo que requiere una importante inversión en toda la cadena de valor.

Consistentemente con ello, los marcos normativos que incentiven los procesos de circularidad en la industria aún deben fortalecerse. Chile, Perú y Colombia cuentan con sus respectivas hojas de

³² International Council on Mining and Metals, 2016.

³³ Lèvre et al., 2017.

³⁴ Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre El Cambio Climático, 2021.

ruta y/o estrategias nacionales de EC, que entregan un marco general de acciones. Asimismo, han avanzado en la generación de diversas leyes de responsabilidad extendida de los productores (REP) para distintos productos³⁵ 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 (ver Tabla 7).

Luego, avanzar en la implementación de este nuevo modelo en la región, requiere comprender su contexto y las barreras presentes. Desde un cambio en la mentalidad minera, la necesidad de nuevas normas que incentiven la circularidad, la mayor inversión para investigación y desarrollo que permita contar con nuevas tecnologías basadas en el modelo circular, el fortalecimiento de una cadena de proveedores locales circulares y la disponibilidad de información, entre otras, es evidente que el desafío es de enorme tamaño y requiere la cooperación de todas las instituciones del Estado, industria, academia, sociedad civil y organismos internacionales; se puede afirmar que la EC, es cooperación.

Tabla 6: Normativas relacionadas con la responsabilidad extendida del productor en Chile, Perú y Colombia

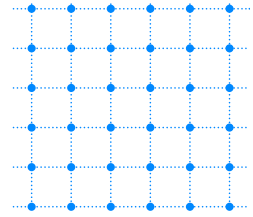
PAÍS	PILAS Y BATERÍAS	RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	ENVASES	VEHÍCULOS	NEUMÁTICOS
Chile	Ley núm. 20920 (2016)a Resolución núm. 1422 exenta (2021)	Ley núm. 20920 (2016)a	Ley núm. 20920 (2016)a Decreto núm. 12 (2021)	Ley núm. 20.920 (2016)a Decreto núm. 8 (2021)	Ley núm. 20.920 (2016)a Resolución núm. 129 exenta (2020)
Perú	-	Decreto Supremo 009-2019- MINAM Decreto Supremo 014-2019-EM	Ley núm. 30884 (2018) Decreto Supremo núm. 014-2017- MINAM	-	-
Colombia	Resolución núm. 0372 (2009)c Resolución núm. 1297 (2010)d	Resolución núm.1512 (2010) Ley núm. 1672 (2013) Decreto núm. 1076 (2015) Decreto núm. 284 (2018)	Resolución núm. 1675 (2013) Resolución núm. 1407 (2018) Proyecto de ley núm. 106 (2017)	Resolución núm. 1457 (2010) Resolución núm. 1326 (2017)	Proyecto de ley núm. 106 (2017)

Fuente: elaboración propia sobre la base de De Miguel et al., (2021)

35 De Miguel et al., 2021.

[2.3.3] Desafíos

Avanzar en la transición y aceleración de la EC en el sector minero del cobre en Chile, Perú y Colombia requiere superar una serie de barreras-brechas para su implementación que van desde la existencia o actualización de marcos legales hasta innovación de base tecnológica. Entre los principales desafíos que emergen se incluyen:



Mentalidad conservadora (Mindset): Se reconoce que en la industria minera del cobre en los 3 países la mentalidad empresarial pública y privada tiende a ser altamente conservadora para liderar procesos de transformación organizacional. Desde el punto de vista de las empresas mineras, ello se debe a su aversión al riesgo ya que se refleja en una gestión de riesgos que limita las opciones de desarrollo de innovaciones locales. Lo anterior, entre otros impactos, se traduce en procesos productivos estandarizados con fuerte dependencia tecnológica internacional; baja disposición para la innovación de base tecnológica (I+D+i); y privilegiar la adquisición de tecnologías probadas en otros mercados que coinciden con ser economías exportadoras tecnológicas. Desde el sector público, esta aversión al riesgo puede explicarse en la importancia que la minería representa para el PIB e ingresos fiscales de cada uno de los países.

Falta de marcos legales adecuados que incentiven la EC: Existe consenso respecto de la necesidad de avanzar hacia marcos normativos que incentiven procesos de circularidad en la industria. Tal como se mencionó anteriormente, Chile, Perú y Colombia cuentan con sus respectivas hojas de ruta y/o estrategias nacionales de EC, que entregan un marco general de acciones. Los cuales se suman a una importante cantidad de disposiciones nacionales que regulan la actividad minera en materias medio ambientales. Sin embargo, impulsar la transición y aceleración de la EC en la industria minera requerirá, en mediano plazo, avanzar en marcos normativos que permitan implementar procesos de simbiosis inter y entre industrias, incluyendo:

- Falta de uso de residuos masivos mineros e industriales, ya que las actuales disposiciones legales no incentivan o prohíben el uso de algunos residuos como relaves, rípios, barros, polvos y escorias como base para otras industrias como la construcción a lo que se suman todos aquellos residuos que no han sido abordados por las normas REP y que, por lo tanto, no es clara su posibilidad de utilización en otras actividades económicas.
- Falta de articulación de las normativas que impulsen la EC con aquellas que regulan la actividad minera, donde el desarrollo de Chile en esta materia puede ser referencia para la región.

Sin embargo, aún persisten importantes espacios de mejoramiento entre las políticas públicas y los instrumentos normativos que se diseñan entre ministerios de medio ambiente, minería e institucionalidades técnicas especializadas dentro de la industria como con otras industrias, como de que sean diseñadas para el contexto nacional que deben abordar y como una copia de legislaciones con otras realidades. Un ejemplo recurrente es la relación minería, obras públicas y construcción como espacio de articulación para el uso de los residuos mineros.

- Falta de financiamiento público y privado, lo cual es una condición *sine qua non* para el desarrollo de innovación local.
- Falta de certidumbre normativa en materia social y política, donde las potenciales modificaciones constitucionales en Chile y la inestabilidad política en Perú, en relación directa o indirecta con el sector, generan la preocupación de los efectos que esto pueda tener sobre el sector minero cuprífero de ambos países, transformándose en una barrera para la EC.

I+D+i: El impulso de la I+D+i para la transición hacia la EC es un acuerdo transversal a niveles internacionales. Sin embargo, estos procesos se insertan en realidades nacionales y regionales que evidencian las importantes brechas existentes entre países desarrollados con alta inversión en investigación y desarrollo, con aquellos en vías de desarrollo que presentan una baja inversión pública y privada a este respecto.

En la industria minera primaria del cobre de Chile y Perú, la discusión relativa a impulsar la innovación local no es nueva y ha llevado a variados informes a lo largo del tiempo que pone de relieve la importancia del desarrollo tecnológico endógeno, en una industria que es intensiva en la importación tecnológica³⁶. Esta necesidad de fortalecer la innovación local en el contexto de la EC, se debe a su importancia para impulsar procesos de rediseño, extensión de vida de los productos, desarrollo de nuevos materiales, desmaterialización, revalorización y reciclaje en el marco de nuevos modelos de negocios y procesos³⁷. La falta de triple vínculo es una de las principales barreras en este sentido. Por un lado, está el vínculo industria-academia, donde ambas partes poseen culturas y objetivos distintos al pensar en innovación, que son parte de sus historias institucionales. Desde el excesivo foco en publicaciones de investigadores e investigadoras, hasta la búsqueda de resultados en el corto plazo, sin comprender que la ciencia de calidad toma tiempo, son expresiones de la divergencia de intereses que emergen en la relación industria-academia en el sector minero. Por otra parte,

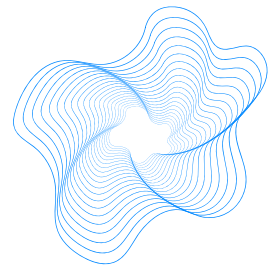
36 Cochilco, 2020

37 Lopes de Sousa et al., 2018.

se observa que tanto las empresas como la industria no han logrado profundizar la cooperación en esta materia, trabajando desde el ámbito individual. Finalmente, la falta de un rol articulador del Estado en la coordinación de la agenda de fomento en esta materia junto a una continuidad de estrategias y financiamientos en materia de políticas públicas.

Baja cooperación intra-industria e inter-industrias: Para los tres países y sectores representados, existe la convicción de que los desafíos que plantea el cambio de modelo lineal hacia uno circular requieren enfatizar la cooperación y co-creación de soluciones. Entre las principales limitantes se encuentran:

- Desde la intra-industria, el limitado número de actores centrales (empresas mineras principales) que tiene la industria en Chile, Perú y Colombia, como también las institucionalidades dedicadas al trabajo conjunto sumado a una cultura que enfatiza el trabajo individual para mostrar resultados. Los desafíos más inmediatos en relación con los residuos masivos mineros e industriales, son: i) la implementación de las normas relativas a la responsabilidad extendida del productor, ii) el fomento a la innovación local, iii) el emprendimiento en los territorios, entre otros, y estos requieren pensar cooperativamente.
- Desde la inter-industria, falta comprender y aplicar el concepto de simbiosis industrial; si bien se reconocen oportunidades del uso de los residuos mineros en diferentes industrias como construcción, plásticos, cementos, siderúrgica, entre otros, se reconocen también las dificultades en abordar de forma conjunta el desafío.



Debilidad en cadena de proveedores locales circulares: Existe el desafío de avanzar hacia la circularidad en una cadena de valor que combina proveedores internacionales de gran tamaño, donde la EC ya es parte de sus estrategias globales, como FLSmidth, Michelin, Komatsu, Sandvik o ENEL, con proveedores locales de distinto tipo, tamaño, capacidad financiera, competencias técnicas, entre otras, para implementar modelos circulares a sus procesos y productos. Existen, además, temas relevantes en un contexto donde los contratos son de largo plazo, obligando a desarrollar un esquema de incorporación de la circularidad gradual. Desde la mirada de la gestión de residuos masivos mineros como industriales, se requiere que el sistema asegure los flujos mínimos para hacer costo-eficiente la construcción de plantas de valorización y reciclaje, desarrollo tecnológico, entre otras, lo que requiere trabajo cooperativo entre las grandes compañías mineras.

Mercados por productos revalorizados de bajo desarrollo: La mirada de la EC en la industria requiere pensar en el desarrollo de mercados nacionales e internacionales para el uso de los productos

revalorizados. Un ejemplo de esto son los neumáticos fuera de uso (NFU) de la minería, donde no solo se debe conocer el stock y flujo de entrada, sino también de los mercados que pueden absorber las revalorizaciones de los productos derivados (pellets u otros). En este sentido, los volúmenes de residuos que generan la industria parecen requerir el desarrollo de negocios que se orienten a la exportación de las materias primas y productos, apuntando a un mayor valor agregado como el caso de la empresa francesa Aliemur.

Brechas de información: La falta, fragmentación y baja estandarización de la información junto a la carencia de estudios técnicos y económicos respecto de la circularidad para tomar decisiones a niveles sistémicos, inter-industriales, de la industria y organizacionales para impulsar los cambios requeridos hacia la circularidad, son factores que afectan transversalmente el desarrollo de la EC.

Brecha de conocimientos y evidencia de impactos: La EC es nueva, por lo que aún no se tiene claridad de su definición y la forma en que debe ser aplicada en la industria primaria del cobre. Si bien se reconoce que progresivamente se avanza a nivel de la industria y por empresas, aún es un tema que está comenzando. Parte del problema radica en la falta de evidencia, sobre todo cuantitativa, respecto de los impactos positivos que la EC tiene en los sectores que la adoptan, donde en el caso de la industria minera, se considera absolutamente necesario entregar evidencia de los resultados económicos y medio ambientales, al que se suman los relativos a la Licencia Social para Operar (LSO), para apoyar su posicionamiento. En este punto, existen tres efectos o necesidades a abordar:

- **Efecto demostración:** Existe una constante necesidad de entregar casos de éxito a todos los actores de la industria para que se diga "se puede hacer". Esto, si bien se comprende que es natural en un proceso que es relativamente desconocido, presenta el riesgo de quedar atrapado en el efecto demostración, sin el impulso a nivel de las estrategias empresariales y sus procesos operacionales, a la espera que un tercero demuestre su valor.
- **Factor novedad:** Se reconoce que la novedad de la EC significa también una falta de evidencia práctica en la industria minera como de otras industrias. Esta novedad produce algunos efectos que pueden llegar a ser nocivos como la "ansiedad de soluciones rápidas" sin un vínculo con el modelo de negocio.
- **El problema de escala:** Es recurrente abordar la barrera del tamaño de las operaciones mineras como una barrera para la generación de evidencia. Cualquier ejemplo que se pueda entregar no alcanza la escala en que se miden las operaciones de este sector industrial, por esto es necesario el cambio de

mentalidad hacia uno que busque liderar los cambios desde el sector minero y no esperar ejemplos desde otras industrias. Sin abandonar el principio de riesgo controlado.

Bajo posicionamiento: la EC aún posee un bajo posicionamiento en la sociedad, limitando el reconocimiento de las acciones que los diversos actores están realizando para transitar hacia este nuevo modelo, en un contexto donde sería de especial relevancia para la valorización de la actividad minera en el contexto político y social de la región. El desafío de posicionamiento es triple en el sentido que este requiere hacerlo a nivel de mejorar la valoración a nivel de la propia industria; de otras industrias, gobiernos y academia; y por las comunidades.

Necesidad de certificación y trazabilidad: Junto con lo anterior, la necesidad de tener sistemas de seguimiento y trazabilidad que midan los resultados de la implementación de la EC a todo nivel es una necesidad no resuelta y urgente. En este sentido, se debe avanzar en el desafío de la trazabilidad 4.0, donde la cadena de valor de la industria deberá transitar hacia sistemas que permitan monitorear y trazar la circularidad en relación con su impacto ambiental, en un modelo integrado que mida la contribución de la industria, corporativo, unidades de negocios, subunidades e incluso cargos. Esto implica una profunda modificación de los sistemas de metas e incentivos internos, tal como se realizó con la seguridad en la última década. Este desafío puede ser abordado con la aplicación de modelos basados en TICs, en especial, blockchain, que son tecnologías que se están utilizando en diversas industrias para crear sistemas de gestión e inviolabilidad de información, lo que obedece a la integración entre I4.0 (*Industry 4.0*) y EC³⁸. No obstante, se deben vencer diversas barreras para ello, entre ellas, las dudas sobre la aplicabilidad de la certificación a la minería, específicamente respecto del marco conceptual que defina lo que es EC responda a los contextos en que se aplica. En este sentido, parece relevante avanzar en los puntos de cooperación a nivel de la industria e internacional para avanzar en una definición conjunta de las certificaciones.

Falta de cooperación internacional: La cooperación internacional es necesaria para abordar la EC a niveles supranacionales de la región con compromisos políticos entre Estados, empresas, academia y sociedad. Se pone especial acento, que a partir del trabajo internacional es posible definir no solo metas comunes sino estándares de uso transversal por la industria o bien, que respondan a las realidades locales.

[2.3.4] Oportunidades

Se han seleccionado ejemplos concretos en dos residuos mineros –relaves y bolas de molienda– para mostrar las potenciales oportunidades que la EC representa. Debido a la falta de información, fragmentación y diferentes metodologías de cálculo utilizadas, es importante tener precaución en la interpretación de los datos, los que deben ser tomados solo como referenciales y conducir a estudios específicos.

Relaves

La minería es una actividad productiva de alto impacto capaz de generar recursos de valor económico donde se desarrolla. Sin embargo, esta actividad posee impactos negativos en nuestro medio ambiente a través de los residuos que genera, siendo uno de sus principales "los relaves" que se obtienen luego del proceso de concentración del mineral sulfurado. Lo anterior, ha generado un foco de preocupación asociado al gran volumen de estos, y su potencial inestabilidad física y química³⁹.

Los relaves han sido estudiados para su uso en diversas aplicaciones como:

- **Cemento:** El uso de relaves de cobre como aditivo en el cemento podría incrementar su resistencia y elasticidad, a la vez que mejora su desempeño. Un estudio en China mostró que el óptimo era añadir 15% de relave⁴⁰.
- **Ladrillos y baldosas:** Se estudió la factibilidad de hacer ladrillos utilizando relaves de cobre, a través de geopolimerización. En Perú, se estudió agregar relave de cobre en la elaboración de ladrillos y baldosas. La cantidad de relave seco que se adicionó varió entre un 10 y 22%⁴¹.
- **Hormigón:** La adición de relave al hormigón tiene un leve impacto negativo en el asentamiento, porosidad y tiempo de fraguado. Respecto a la toxicidad de la mezcla, los experimentos realizados mostraron que los niveles de metales pesados que podían ser liberados son mucho más bajos que los límites máximos establecidos por los códigos de regulación de Estados Unidos⁴².
- **Pintura:** Los relaves pueden ser usados como extensores para pintura. Las pinturas con extensor de relave de cobre

39 COCHILCO, 2019.

40 Zhang et al., 2014.

41 Romero & Flores, 2010.

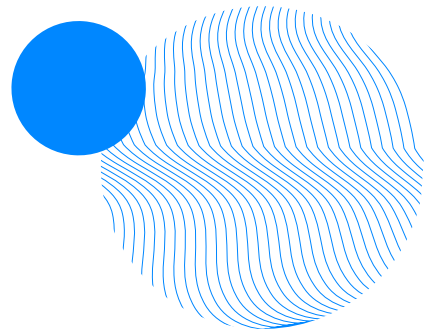
42 Onuaguluchi, O., & Özgür, E., 2012.

adicionado demostraron tener mejor rendimiento en dureza, adhesión, y resistencia a la abrasión, al impacto y a la corrosión, bajo condiciones de humedad y salinidad⁴³.

- **Reprocesamiento:** Este proceso busca recuperar metales valiosos desde relaves frescos y antiguos para ser comercializados en el mercado. Existen experiencias prácticas en la región de este tipo iniciativas como Minera Valle Central, que recupera cobre y molibdeno desde relaves provenientes de Codelco Chile, División El Teniente. La planta procesa alrededor de 130.000 t/día de relaves, con una ley de 0,12% de cobre total. Sin embargo, aún no tienen un uso extendido en la industria.

A continuación, se entregan algunas estimaciones del potencial que ofrece en la recuperación de cobre para Chile y Perú. Los supuestos esenciales de estos cálculos son los siguientes:

- Se estimó que las toneladas actuales disponibles de cobre son 11.042.372.737 toneladas, sobre la base del volumen autorizado por SERNAGEOMIN⁴⁴ lo que equivale al 43% del total.
- Sobre la base de la geoquímica de cada uno de los relaves que contienen cobre, en sus distintas categorías, se calculó su respectivo porcentaje de cobre disponible (ley) al 0,15% que es coincidente con los análisis de otros especialistas⁴⁵.
- Sobre los supuestos que: se permita el reprocesamiento de los relaves; que las tecnologías disponibles se mantienen constantes y; que la localización geográfica de los relaves permita su acceso, se estimó un máximo recuperable de cobre del 10%, se obtiene un potencial de recuperación de cobre fino de 1.656.335 toneladas.



⁴³ Saxena & Dhimole, 2006.

⁴⁴ SERNAGEOMIN, 2020.

⁴⁵ Cesco, 2019.

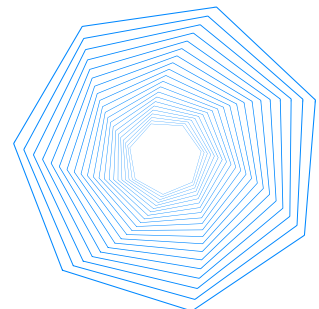
ELEMENTOS	TOTAL DE TONELADAS ANUALES	TONELADAS DE COBRE (0,15%)
Cobre molibdeno	5.548.525.411	8.322.788
Cobre	5.204.691.498	7.807.037
Cobre-oro	288.440.914	432.661
Oro-cobre	447.711	672
Cobre-oro-plata	267.203	401
Total	11.042.372.737	16.563.559
Recuperación al 10% (tons)		1.656.356

Fuente: elaboración propia

Tabla 7: Toneladas de relaves de cobre recuperable desde relaves (en toneladas)

Considerando un precio por tonelada de cobre de US\$8.708 (proyección de COCHILCO para 2022), el potencial de negocio alcanza los USM\$14.423.547, con un aporte a la disminución de GEI de 9.441.228 CO₂ equivalentes (sobre la base de 5.7 tCO₂e/tCu fino según información de Corporación Alta Ley).

Sobre los datos anteriores, se proyectó el potencial de recuperación de cobre hasta 2030 de Chile y Perú. Se estimaron los datos de este último país como porcentaje respecto de Chile, debido a la falta de datos completos. Como se puede observar en la Tabla 9, la recuperación de cobre desde los relaves existentes y proyectados es una alternativa de negocios en el marco de la EC que debería ser fortalecido en el corto y mediano plazo.



PAÍS	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	TOTAL
Chile	790.375	863.237	913.116	1.007.852	1.103.001	1.152.958	1.232.652	1.250.755	1.282.544	9.596.489
Toneladas de cobre al 0.15%	1.186	1.295	1.370	1.512	1.655	1.729	1.849	1.876	1.924	14.395
Recuperación al 10%	119	129	137	151	165	173	185	188	192	1.439
CO₂ EQ recuperado	676	738	781	862	943	986	1.054	1.069	1.097	8.205
Perú	341.483	392.968	417.640	450.120	515.204	540.970	564.544	640.022	627.570	4.490.521
Toneladas de cobre al 0.15%	512	589	626	675	773	811	847	960	941	6.736
Recuperación al 10%	51	59	63	68	77	81	85	96	94	674
CO₂ EQ recuperado	292	336	357	385	440	463	483	547	537	3.839

Fuente: elaboración propia

Tabla 8: Proyección de relaves y recuperación de cobre en miles de toneladas para Chile y Perú, 2022-2030



Bolas de molienda

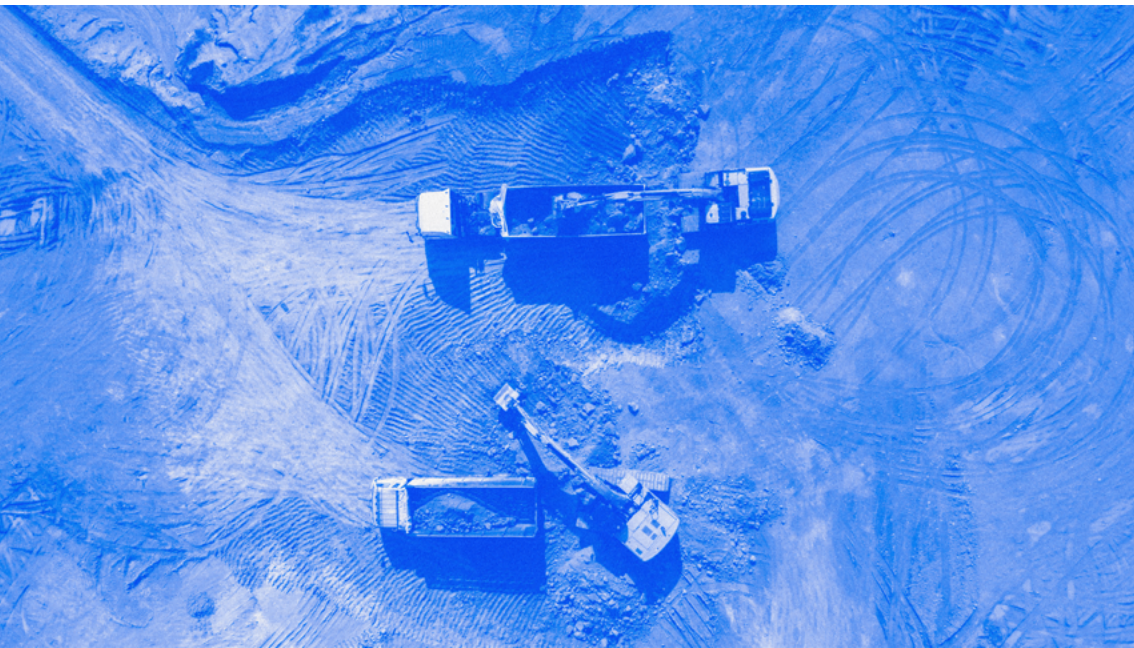
Tomando la producción proyectada de sulfuros de Chile, más estimaciones que permitieron construir la de Perú, se estimó el consumo unitario de bolas de molienda. Para esto se usó la tasa de consumo unitario de bolas de acero de 700 g/t de mineral con que COCHILCO construye el reporte Análisis del Mercado de Insumos Críticos en la Minería del Cobre, y la producción de las líneas de sulfuros de las faenas productoras de cobre.

Sobre la base de información anterior, se pudo proyectar la demanda potencial de bolas de molienda al año 2030, como puede observarse en la siguiente tabla:

PAÍS	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	TOTAL
Chile	485	476	499	539	580	631	661	682	712	724	738	6.728
Perú	151	170	211	242	256	252	248	228	218	217	228	2.421

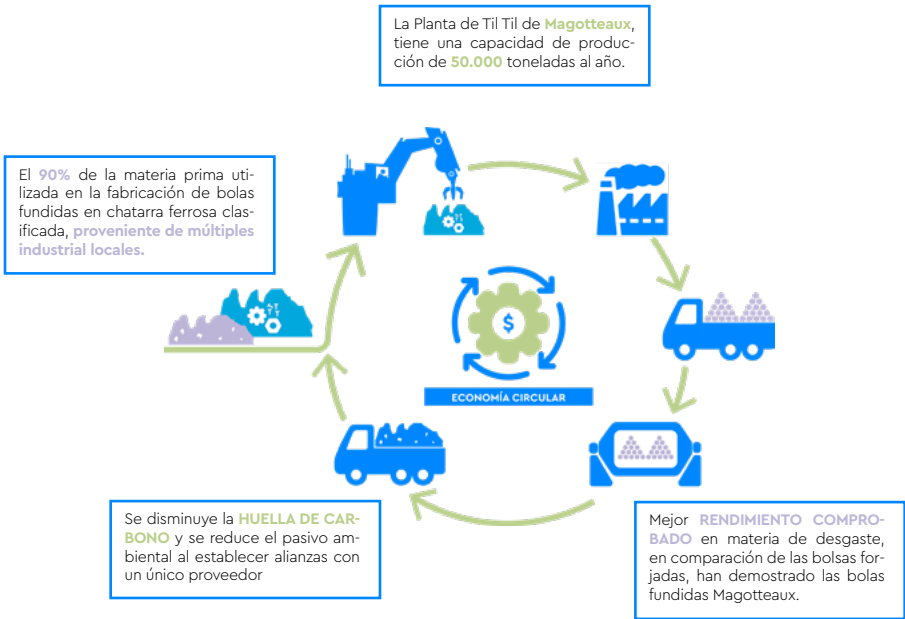
Fuente: elaboración propia

Tabla 9: Proyección de bolas de molienda en miles de toneladas anuales



Responder a esta creciente demanda de bolas de molienda para los próximos años, es un interesante desafío que empresas como Magotteaux están abordando mediante la fabricación de bolas de molienda que utilizan aceros reciclados que se explica en el modelo presentado en la Figura 5.

Figura 5: Modelo de producción de bolas de molienda por material reciclado



Fuente: Minería Chilena, 2021. Magotteaux potencia negocio de reciclaje para su producción de bolas fundidas.

El 90% de la materia prima que utiliza Magotteaux en la fabricación de las bolas fundidas es chatarra ferrosa clasificada, ofreciendo a las mineras captar el residuo:

- Mediante el reciclaje de bolas que ya cumplieron su vida útil en el proceso de molienda.
- De desmantelamientos tras cierre de faenas.
- De renovación de maquinarias ya en desuso.
- De desmantelamiento de edificios e instalaciones.
- De desechos ferrosos que llegan como destino final de tratamiento de residuos.

Dentro de las posibilidades de simbiosis industrial para impulsar la producción de bolas de molienda con aceros reciclados se encuentra la recuperación de los aceros que provienen de los neumáticos mineros fuera de uso (NFU). Con la puesta en vigencia de la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) en Chile y la aplicación del Régimen Especial de Gestión y Manejo de NFU, se abre la oportunidad de hacer recuperación de este material de la minería para ser utilizada en sus mismos procesos productivos.

Las estimaciones de las tasas de valoración que deberá cumplir la minería, medido en toneladas de los NFU categoría B, de la Cámara de la Industria del Neumático de Chile A.G, entregan una aproximación para el caso de Chile respecto de la recuperación potencial de aceros para ser destinados a la fabricación de bolas de molienda por cada año. La Tabla 10 presenta las cifras desde 2023 a 2030.

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%
Total	179.701	35.940	5.267.000	

Fuente: Elaboración propia sobre la base de información de Cámara de la Industria del Neumático de Chile A.G y presentación Sr. José Browne 2021 (<https://youtu.be/mMumEBfkMWE>)

*Consulta a experto en empresas de reciclaje de neumáticos mineros de Chile.

Tabla 10: Potencial de recuperación de aceros para bolas de molienda por NFU mineros de Chile 2023-2030

La revalorización de aceros no solo permite la circulación del metal, sino también disminuye la huella de carbono de extracción de mineral y transporte de los productos desde los principales productores asiáticos (China especialmente), generando valor económico, social y medio ambiental en la industria minera.

Junto con lo anterior, es importante destacar que el acero es solo uno de los productos desde los NFU, a éste se suman el caucho como materia prima para césped, pisos, asfaltos, y energía, que son ejemplos de simbiosis industrial que puede ser fomentado dentro de la industria minera y con otras industrias.

[2.3.5] Acciones para una agenda en el ámbito nacional y regional

[2.3.5.1] Acciones locales necesarias para abordar desafíos y/o capturar oportunidades

Fortalecer la normativa utilizando "zanahoria y garrote": Los países de la región deben ampliar, mejorar y articular sus legislaciones que incentiven el tránsito hacia la EC en la industria minera primaria como resultado de un proceso participativo entre los poderes ejecutivo y legislativo, la industria, la academia y la sociedad para contar con marcos normativos realistas al contexto de la región. En este punto, si bien los esfuerzos en materias de responsabilidad extendida de los productores son relevantes, se deben diseñar normas que incentiven los procesos más profundos de circularidad como el ecodiseño, la simbiosis industrial, el remanufacturado, entre otras. Para introducir incentivos específicos se requiere el diseño de instrumentos de incentivos tributarios que premien a las empresas que hacen un esfuerzo por circularidad. No solo deben existir mecanismos que hagan pagar más al que contamina más, sino recompensar al que hace un esfuerzo de transformación de su modelo.

Formar capacidades en los distintos niveles: Impulsar la creación de programas de formación multinivel será esencial para potenciar el conocimiento teórico y aplicado de la EC, con énfasis en la industria minera. A nivel de universidades la formación de pregrado, postgrado y, en el largo plazo de doctorados, se suma a aquella dirigida a la formación de técnicos y capacitaciones para el mundo del trabajo que permita impulsar la circularidad en toda la organización.

Reducir brechas de información: Se requiere realizar levantamientos de información permanentes que ayuden a dimensionar las oportunidades. Para el caso de las oportunidades analizadas en

este estudio, se requiere estandarizar metodologías y completar las fuentes de información respecto de la cantidad de residuos masivos mineros (relaves, rípios, etc.). Asimismo, para vencer el temor de un mal uso de información a nivel público, es necesario acordar en el corto plazo la información prioritaria que se requiere en distintos niveles, una metodología estandarizada, el financiamiento para su gestión y acuerdos respecto de su uso. Junto con la información, se requieren estudios técnicos y económicos respecto de circularidad. A diferencia de la disponibilidad de información, estos están referidos a aspectos específicos como el nivel de recuperación de aceros de neumáticos mineros para ser utilizados en la fabricación de bolas de molienda a nivel local, o bien la identificación de relaves que presentan leyes costo efectivas para ser incorporadas en la fabricación de hormigones.

Reducir brechas de conocimiento formativas: Existen múltiples elementos que requieren ser abordados tanto a nivel sistémico, de la industria y organizacionales. Algunas de estas son formativas, donde la EC sea parte de diversos procesos formativos para alcanzar una estandarización en su definición y aplicación práctica tales como la formación directiva/ejecutiva, enfatizando las oportunidades que la EC presenta y cómo incorporarla en la estrategia de negocios de las compañías. En lo referente a la formación universitaria, se debe avanzar al menos en las carreras que están directamente ligadas a la minería, enfatizando no solo los aspectos teóricos de la EC, sino la aplicación de los procesos mineros. En la formación técnica, se debe avanzar de forma que permita sostener los procesos industriales de la minería. Finalmente, en la formación para el trabajo, se debe avanzar desde la alta dirección hasta los equipos operacionales mediante capacitaciones en temas críticos para lograr la transición tales como: entender la importancia de hacer circularidad y cómo hacerla en la operación diaria.

Reducir brechas de conocimiento organizacionales: este punto se refiere a la capacidad de generar conocimiento propio de las organizaciones respecto de la aplicabilidad de la EC en un contexto específico. Aunque ya se están conformando los equipos de trabajo interno para abordar la circularidad en sus organizaciones esto es aún insuficiente. Se requiere una masa crítica a nivel de empresa para la generación de conocimiento que impulse estrategias, planes y proyectos de circularidad, los que posteriormente pueden ser compartidos en el formato de buenas prácticas a otras compañías e industrias.

Incorporar la cadena de valor: Poder avanzar en EC y reducir los impactos ambientales y emisiones GEI de alcance 2 y 3 de la industria, requiere el desarrollo de recursos y capacidades en la cadena de proveedores locales que lleven a una transformación

de sus modelos de negocios con base al modelo circular⁴⁶. Para ello, el diseño de instrumentos públicos de financiamiento para proveedores mineros locales que busquen cambiar a modelos circulares es esencial en el corto plazo. Debido a la cantidad de micro y pequeñas empresas presentes en la cadena de valor minera, se reconoce que existen brechas financieras, de conocimiento, tecnológicas y comerciales que no son posibles de abordar de manera individual. Asimismo, las propias empresas mandantes pueden colaborar en el proceso de transformación de sus proveedores a través de programas de transferencia de conocimiento y tecnologías, la valoración de la circularidad en los contratos de productos y servicios, como en el aseguramiento de flujos de residuos para el desarrollo de empresas de revalorización. Algunos de los ejemplos icónicos en la industria de los cuales se podría aprender son Neptuno Pumps que combina circularidad, desarrollo regional y reducción de emisiones y residuos en la industria minera, y Bailac en recauchaje y reciclaje de neumáticos mineros. Asimismo, las compañías mineras pueden impulsar el cambio en la cadena de proveedores mediante las exigencias contractuales, al incorporar elementos de circularidad, como es el caso de Minera Inés de Collahuasi de Chile que, en los próximos tres años, licitará contratos de servicios por más de US\$ 2.437 millones, donde 20% en la ponderación total de las ofertas corresponderá al uso óptimo de los recursos bajo los principios de EC y a la reducción de emisiones de GEI.

Alinear intereses y prioridades de I+D+i de la industria y de la investigación científica en universidades: Avanzar en I+D+i con orientación a soluciones de la industria minera debe ser el foco prioritario en la construcción de una nueva relación. En este sentido, se valora la iniciativa BHP *Tailings Challenge*⁴⁷ que logra fomentar la innovación de base científica local orientada hacia uno de los desafíos más importantes de la industria.

Mejorar el posicionamiento de la EC: Se requiere avanzar en tres grandes ejes. Primero, a nivel de valoración por la propia industria, posicionando la importancia de la EC como un elemento de competitividad que está en el núcleo (Core) del negocio y no solamente como un problema de tratamiento de residuos. Segundo, la valoración de otras industrias, gobiernos y academia de forma de avanzar colaborativamente en el posicionamiento de la EC para generar conciencia, mediante una comunicación y posicionamiento que convoque a una misión compartida a niveles regionales, nacionales y subnacionales, donde todos y todas están convocados a contribuir. Finalmente, la valoración por las comunidades, donde la evidencia internacional de los procesos de transición en

⁴⁶ CESCO, 2022.

⁴⁷ *Expande Minería*, s/f.

Finlandia, Holanda y Dinamarca indican que la dimensión comunicacional con la comunidad ha sido esencial, para ello se debe identificar qué comunicar, cómo comunicar y a quién comunicar respecto del cambio que se busca impulsar.

Avanzar en certificación y trazabilidad: Se debe avanzar, por un lado, en velar que el marco conceptual de los sistemas de certificación sobre EC aplicados a la minería, corresponden al contexto que la EC se aplica. Por el otro, avanzar en sistemas de trazabilidad costo-efectivos donde la aplicación de modelos basados en TICs, en especial blockchain, que son tecnologías que se están utilizando en diversas industrias para crear sistema de gestión e inviolabilidad de información, lo que obedece a la integración entre Industry 4.0 y EC y que están emergiendo como soluciones adecuadas.

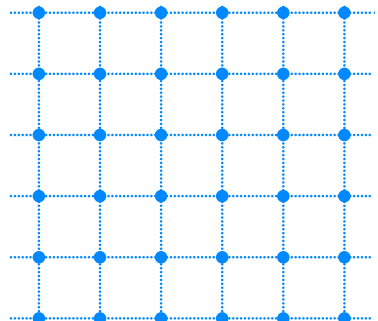
La Tabla 11 presenta un plan de acción detallado para los próximos 10 años.

Tabla 11: Plan de Acción a 10 años para abordar los desafíos de la economía circular

DESAFÍO	AGENDA DE ACCIONES A 10 AÑOS
Mentalidad conservadora (Mindset)	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporar la EC como parte de la estrategia de negocios de las empresas mineras y proveedoras. • Integrar a la EC como parte de los esfuerzos en SDG y desarrollo sostenible, evitando la desarticulación de esfuerzos. • Avanzar desde la lógica de la gestión de residuos hacia el rediseño de procesos de base circular. • Incorporar a la innovación como base del proceso de transformación que requerirá la industria para el desafío de la sostenibilidad y cambio climático.
Falta de incentivos legales	<ul style="list-style-type: none"> • Impulsar el diseño y adecuación de normas que incentiven la circularidad dentro de la industria y entre industrias en un trabajo conjunto de los diversos actores del sistema. • Colaborar en la ampliación de la ley REP y sus equivalentes que permita darle el contexto nacional e industrial necesario para su diseño y aplicación exitosa. • Convocar desde el gobierno a un mayor grado de articulación de los poderes ejecutivos y legislativos para la articulación legal aplicada al contexto nacional. • Apoyar el desarrollo de incentivos tributarios para el desarrollo de la EC, en especial de la cadena de proveedores.

<p>Falta de I+D+i</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Impulsar la I+D+i orientada a desafíos de la industria y propósitos de sostenibilidad, que permitan mejorar la articulación de intereses entre universidades e industria. Desarrollado en un trabajo conjunto de gobiernos, empresas y academia. • Avanzar hacia el diseño de nuevos presupuestos públicos, privados y público-privados (joint venture) que permitan el financiamiento de la innovación local y los emprendimientos de base tecnológica. En este sentido, el trabajo de BHP puede ser una referencia. • Crear o fortalecer centros multinstitucionales con financiamiento público-privado de largo plazo para el desarrollo de la EC en la minería. Como el caso del Centro Tecnológico de EC de Chile que es financiado por CORFO y tres grandes compañías mineras con presencia en Chile, y tiene como uno de sus ejes estratégicos la minería del cobre.
<p>Baja cooperación en la industria y con otras industrias</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Potenciar espacios de coordinación existentes para el establecimiento de principios y desafíos comunes, estrategias, planes y proyectos circulares para los próximos 10 años. Ejemplos, Alta Ley en Chile y Hub de Innovación Minera del Perú. • Avanzar en la definición conjunta de los "big problems" de la industria para avanzar hacia la circularidad. • Implementar espacios de diálogo y cooperación entre la industria minera y otras con las cuales se pueda desarrollar planes para simbiosis industrial. Por ejemplo, construcción, demolición, cementos, plásticos, entre otras.
<p>Debilidad en cadena de proveedores locales circulares</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Impulsar programas de transferencia de competencias y tecnológicas entre las empresas mandantes y las proveedoras para el tránsito conjunto hacia la EC. • Fortalecer, en conjunto con los gobiernos, programas de financiamiento para la conversión hacia la circularidad de los proveedores mineros locales bajo el modelo de circularidad. • Implementar nuevos sistemas de contratos mineros donde la EC tenga un peso porcentual relevante en la asignación. En esto se puede seguir el modelo de la compañía Doña Inés de Collahuasi de Chile. • Generar soluciones cooperativas para los principales residuos mineros masivos e industriales, apuntando al desarrollo y/o fortalecimiento de las cadenas de valor locales. En este aspecto, el aseguramiento de flujos es esencial para la viabilidad de los proyectos en el largo plazo. • Impulsar el diseño de estrategias de desarrollo de mercados nacionales e internacionales para la revalorización de residuos de la industria. En esto el rol del gobierno se considera central como articulador de las partes.
<p>Falta de evidencia e información</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Avanzar de forma urgente en la determinación del potencial de circularidad de la industria a través de la creación de fuentes de información con las principales materialidades. En esto se considera esencial la articulación ministerial, privada y académica para contar con sistemas de información validados. • Impulsar estudios que permitan determinar las factibilidades técnico-económicas de procesos de circulación y, sobre todo, de simbiosis industrial. Se reconoce que parte de estudios deberán ser financiados por entidades que tengan intereses comerciales en desarrollar modelos y líneas de negocios, pero el trabajo conjunto de gobierno, empresas y academia podría generar una base de estudios referenciales. • Impulsar la sistematización de casos de éxito de uso público, que puedan ser aplicados a la industria. Estos pueden ser a través de una plataforma común como de otros tipos de publicaciones

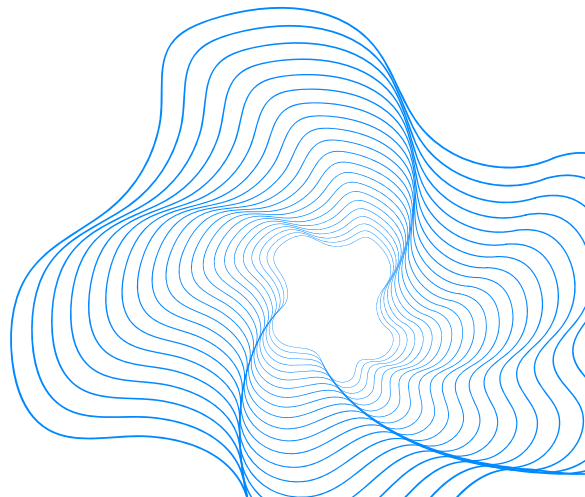
<p>Brechas de conocimiento formativo y organizacional</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar programas de formación multinivel que puedan ser entregados por universidades y centros a niveles internacionales, nacionales y/o territoriales. Si bien se reconoce la existencia de programas a nivel general, se requiere crecientemente programas contextualizados a la realidad minera y con un importante componente técnico. • Desarrollar un sistema de buenas prácticas para la conformación de equipos de trabajo para el diseño e implementación de estrategias de circularidad en las empresas de la industria y proveedores.
<p>Bajo posicionamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar una estrategia conjunta de desarrollo sostenible, minería verde y EC que permita tener un relato común del esfuerzo conjunto que se está realizando y para qué. • Determinar cuáles son los intereses de las comunidades y cómo estos se relacionan con la EC para desplegar una estrategia ad hoc de comunicaciones.
<p>Necesidad de certificación y trazabilidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar soluciones tecnológicas estandarizadas que permitan medir y trazar la circularidad en distintos niveles. Sin duda estos desarrollos pueden ser realizados a nivel corporativo y de unidades de negocios, pero el formato debería tomar como base los esfuerzos de interoperabilidad que son conocidos en la industria. • Generar un conjunto de recomendaciones comunes para estándares de circularidad en la industria que puedan ser aplicados voluntariamente por la cadena de valor.
<p>Falta de cooperación internacional</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Impulsar una agenda de trabajo conjunta de la industria con los principales organismos internacionales para lograr la creación de una agenda latinoamericana de EC en la industria. • Convocar al desarrollo de una agenda conjunta de los actores de la industria internacionales para el establecimiento de principios comunes, estrategias, planes y proyectos de EC.



[2.3.5.2] Acciones regionales para un trabajo conjunto provechoso

Avanzar en una agenda de cooperación de los países: La cooperación internacional es vista como una necesidad para abordar la EC a niveles supranacionales de la región con compromisos políticos entre Estados, empresas, academia y sociedad. Se pone especial acento, que a partir del trabajo internacional es posible definir no solo metas comunes sino 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. En esta línea, el rol de los organismos internacionales y alianzas puede ser fundamental para imbricar el trabajo de la industria en el marco del desarrollo de las estrategias y hojas de ruta nacionales, donde destaca la importancia de organizaciones como el ICMM, WBCSD, BID, BM, WEF, Cepal, PNUMA, que se suman a la recién creada Coalición de EC de América Latina y el Caribe. Además, se reconoce el rol clave que pueden cumplir instancias como la Alianza del Pacífico, UNASUR, CELAC, entre otras, para impulsar un trabajo con personeros de alto nivel en la región.

Generar información de alcance regional: Avanzar en la implementación de sistemas de información actualizados, de disponibilidad pública y con metodologías validadas por los distintos actores, que permitan medir el potencial de circularidad presente en la industria y entre industrias. Contar con información de potenciales inventarios para circularidad parece ser esencial tanto desde la política pública como en las decisiones de negocios. A lo anterior, se suma la necesidad de avanzar en estudios de brechas (*gap reports*) y análisis técnico-económicos para impulsar la circularidad de la industria a nivel regional.



[2.4] CLUBES DE CARBONO PARA LA COMPENSACIÓN DE EMISIONES

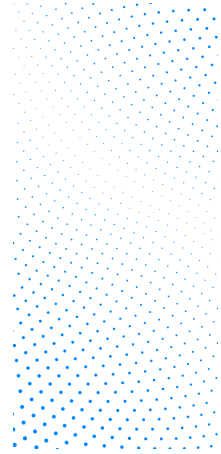
[2.4.1] Importancia/criticidad (qué es lo que está en juego)

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 homogeniza 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 sostenible⁴⁸.

En este contexto, el presente estudio se enfoca en analizar las posibilidades para avanzar hacia la conformación de un club de carbono entre los países de la región Andina, más específicamente, entre Colombia, Chile y Perú. Esto en virtud de sus similitudes a nivel de desarrollo industrial y minero; avances respecto a la implementación de mecanismos de precio al carbono; contexto normativo; perfil de emisiones; reducciones esperadas, tecnologías consideradas en las metas de mitigación y los desafíos del sector industria y minería en cuanto a su implementación.

En efecto, los tres países han declarado su interés por alcanzar carbono neutralidad al año 2050, y en sus correspondientes NDCs presentan compromisos de reducción de emisiones al año 2030. Comprometiendo Colombia una reducción del 51% de las emisiones respecto al escenario Business as usual (BaU), Chile una reducción del 12% respecto a su año base (2016), junto a un presupuesto de carbono de 1.100 MtCO_{2e} para la década 2020-2030, y Perú una reducción del 30% de emisiones respecto al escenario BaU.

Los niveles de emisiones del sector industria y minería en los tres países (asociadas a la "Industria manufacturera y de la construcción" – subcategoría de "Energía" e "IPPU") presentan órdenes de magnitud relativamente similares (en el rango de 15-25 MtCO_{2e}), 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_{2e}, respectivamente.



48 Schneider et al., 2018.

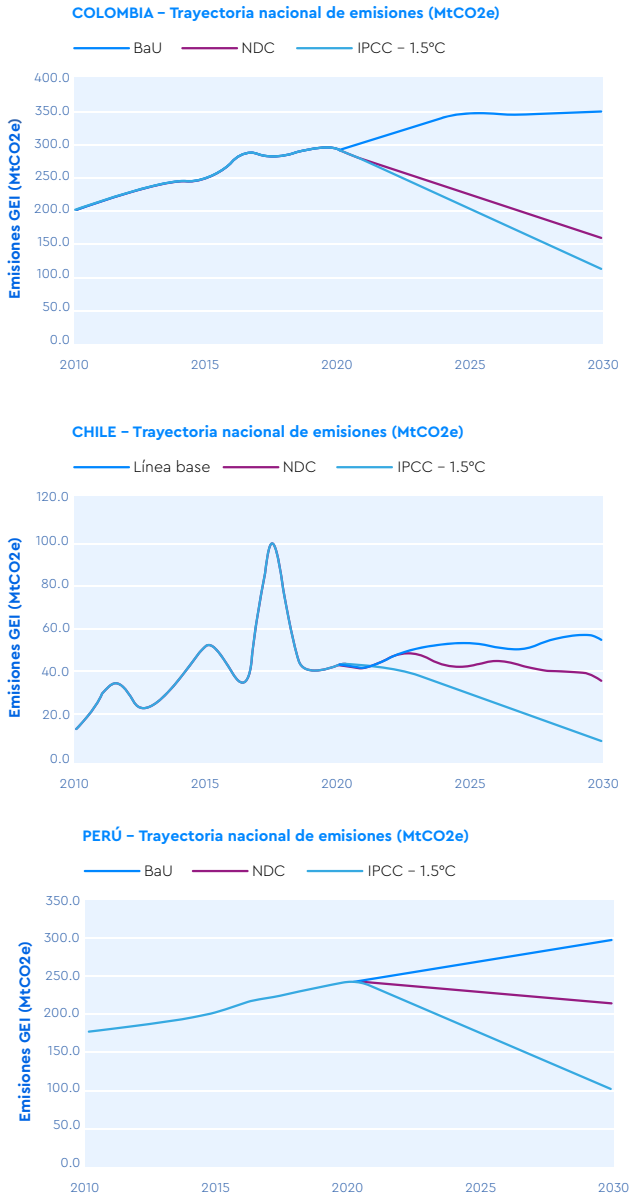


Figura 6: Trayectoria de emisiones en Colombia, Chile y Perú.

Fuente: elaboración propia

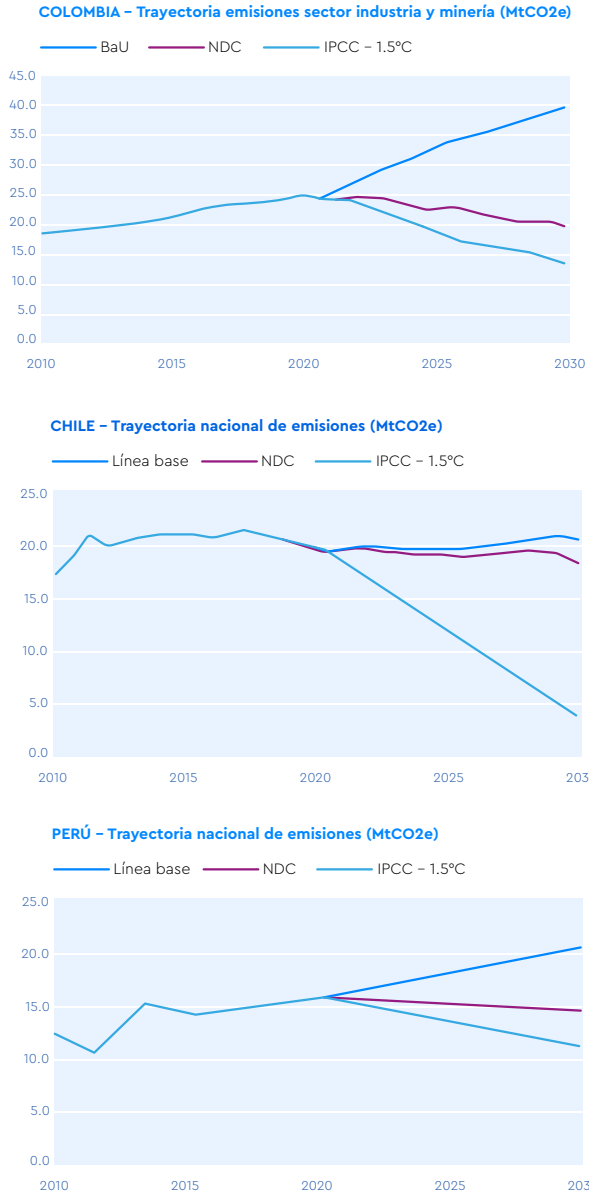


Figura 7: Trayectoria de emisiones sector industria y minería en Colombia, Chile y Perú.

Fuente: elaboración propia

Al analizar los requerimientos de reducción de emisiones del sector industria y minería para los dos escenarios estudiados, NDC e IPCC - 1,5°C, se aprecia que surge un potencial interesante de colaboración para la conformación de un Club de Carbono entre estos países. Esto luego de identificar todas las medidas de mitigación propuestas en las NDCs asociadas al sector industria y minería, analizadas bajo tres escenarios (Pesimista -cumplimiento del 50% de las medidas propuestas; Consistente con la NDC -100% de cumplimiento de las medidas propuestas; y Optimista -50% de sobrecumplimiento de las medidas propuestas), y posteriormente identificar las brechas que dejaría la implementación de estas medidas de mitigación respecto a los requerimientos de reducciones del sector industria y minería, lo que permite estimar la oferta o demanda neta de compensaciones que podría impulsar este sector en cada país⁴⁹. En todos los escenarios, Chile y Perú aparecen como excedentarios, mientras que en el caso de Colombia este figura como deficitario. Tal y como se detalla en el siguiente recuadro.

⁴⁹ Esta última, es estimada, a modo referencial, a partir de los proyectos registrados en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y el Verified Carbon Standard (VCS), con sus respectivos periodos crediticios, incluyéndose, adicionalmente, una oferta potencial de nuevos proyectos a registrarse al año 2030 en cada país.

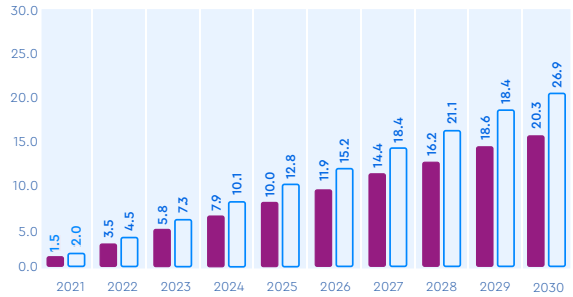


Recuadro 1: Emisiones GEI y potenciales de reducción del sector industria y minería en Colombia, Chile y Perú.

A continuación, se presentan los requerimientos de reducciones que se estima para el sector industria y minería en cada uno de los países en análisis, para sus compromisos declarados actualmente en sus NDC, así como ante un eventual alineamiento de las trayectorias de reducción según los requerimientos que establece la ciencia (individualizados como NDC e IPCC - 1,5°C, respectivamente):

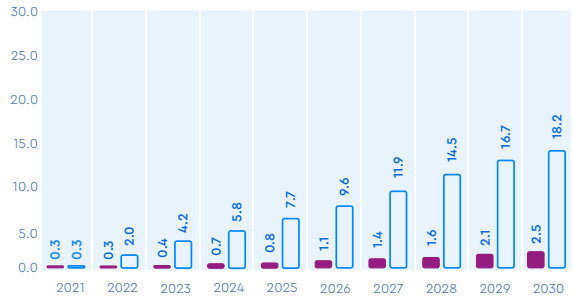
COLOMBIA – Reducciones sector industria y minería (MtCO2e)

█ NDC █ IPCC - 1.5°C



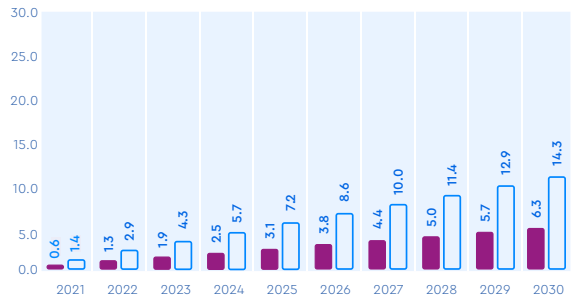
CHILE- Reducciones sector industria y minería (MtCO2e)

█ NDC █ IPCC - 1.5°C



PERÚ- Reducciones sector industria y minería (MtCO2e)

█ NDC █ IPCC - 1.5°C

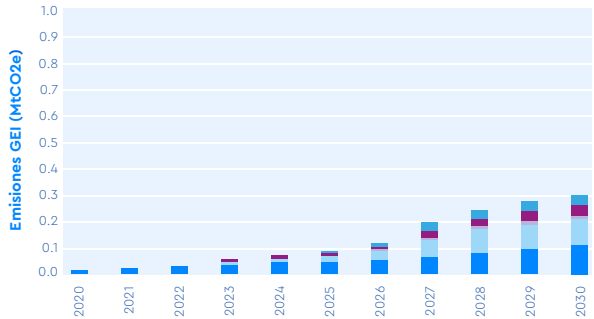


Mientras que las reducciones potenciales del sector industria y minería descritas en las respectivas NDCs de Colombia, Chile y Perú, para los tres escenarios de implementación utilizados, son las siguientes:

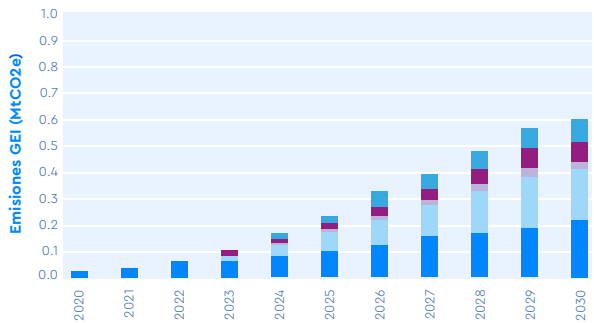
- Procesos de producción sostenible en el sector cemento
- Gestión para la implementación de tecnologías de abatimiento de emisiones de N₂O en la producción de materias primas fertilizantes
- Gestión para el desarrollo integral ladrilleras
- Promoción de proyectos de gestión de energía y EE en el sector industria
- Emisiones fugitivas

COLOMBIA- Brecha potencial de 19-20 MtCO₂e respecto a las reducciones necesarias por el sector industrial de acuerdo a los compromisos

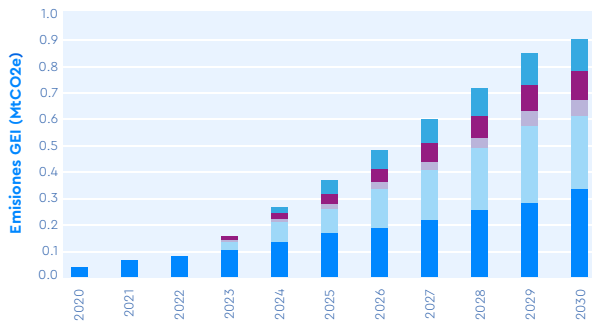
Escenario pesimista



Escenario NDC

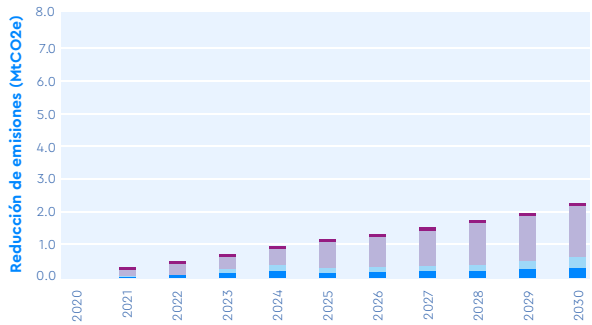


Escenario optimista

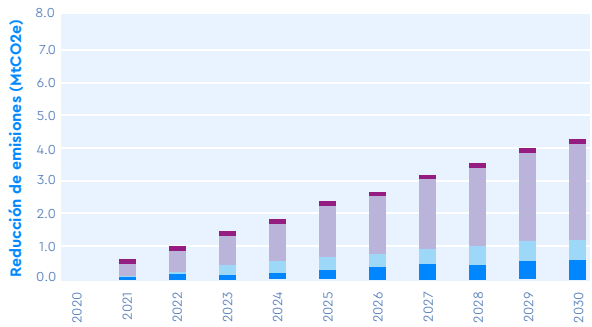


CHILE- Excedente entre - 0,5 a 4 MtCO₂e respecto a las reducciones necesarios por el sector industrial de acuerdo a los compromisos NDC

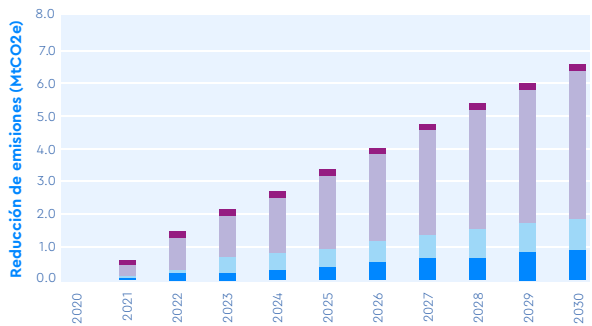
Escenario pesimista



Escenario NDC



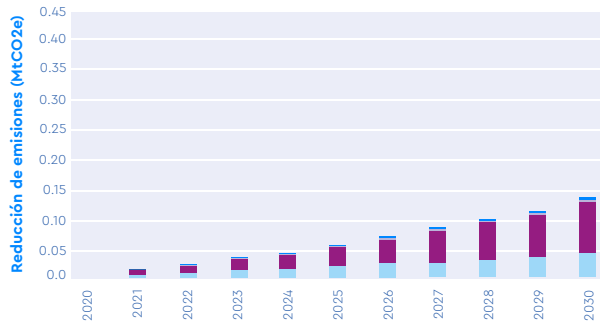
Escenario optimista



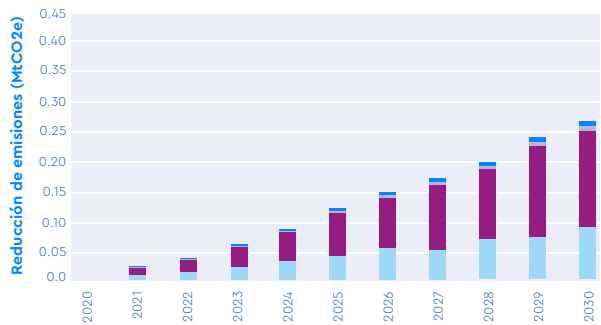
- Sistemas de gestión de energía
- Electrificación motriz industria y minería
- Sistemas Solares Térmicos industria y minería
- Hidrógeno en usos motrices en industria y minería

PERÚ – Brecha potencial de 6 MtCO₂e respecto a las reducciones necesarias por el sector industrial de acuerdo a los compromisos NDCs

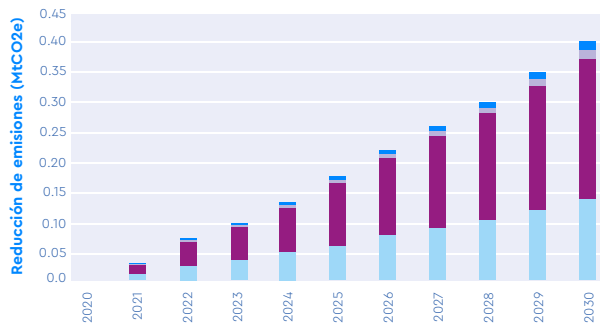
Escenario pesimista



Escenario NDC



Escenario optimista



- Reemplazo y optimización de motores
- Reemplazo y optimización de calderas
- Eficiencia en el uso de los recursos
- Industria Sostenible

Por lo tanto, los requerimientos del sector industria y minería respecto a las reducciones que se lograrían según las medidas establecidas en cada NDC –enfocadas en este sector–, presentaría brechas significativas, que serían del orden de 20 y 6 MtCO_{2e} para Colombia y Perú. Solo Chile generaría eventualmente excedentes, los que alcanzarían los 4 MtCO_{2e}. Produciéndose un déficit mayor en los tres países al aumentar la ambición hacia trayectorias consistentes con los 1,5°C.

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 (e.g. Energía o AFOLU) como internacional (e.g. Chile). 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.

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 las medidas propuestas en las NDCs, presentando requerimientos de reducción al año 2030 de 26, 18 y 14 MtCO_{2e} para Colombia, Chile y Perú, respectivamente.

En cuanto al uso de compensaciones, al estimar las reducciones acumuladas de los proyectos actualmente registrados ante estándares como el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y el Verified Carbon Standard (VCS), para la década 2020–2030, y asumiendo que el sector industria y minería pudiera abarcar toda esta oferta, se tiene que Colombia aun presentaría un déficit acumulado de alrededor de 36 MtCO_{2e}, mientras que Chile y Perú estarían en posición de ofertar reducciones a otros sectores, satisfaciendo la respectiva demanda de sus sectores industria y minería, y presentando un saldo a favor de 108 y 73 MtCO_{2e}, respectivamente. Ahora, si se asume que se sigue la misma tendencia de desarrollo de proyectos de reducciones observada entre los años 2005 y 2012, la disponibilidad de reducciones al 2030 podría eventualmente aumentar entre un 20–40%, donde Colombia disminuye su déficit a alrededor de 28 MtCO_{2e}, mientras que Chile y Perú mejorarían su posición de oferentes netos, logrando un excedente acumulado de 133 y 95 MtCO_{2e} para todo el período. Finalmente, bajo un escenario de mitigación consistente con la ciencia, Colombia agravaría su déficit al doble, mientras que Chile y Perú seguirían presentándose como excedentarios, pero su capacidad de oferta disminuiría a aproximadamente la mitad.

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.

Finalmente, si bien el sector de la minería en particular podría jugar un rol muy activo para la activación del mercado y la adquisición de compensaciones, ya sea por aspectos regulatorios como voluntarios, su participación va más allá de ser un eventual "comprador" de reducciones. Este es un sector que está en un acelerado proceso de transformación, lo cual se ha reflejado en la incorporación de metas de carbono neutralidad al 2040 o 2050, con metas intermedias en torno al año 2030, por lo que podría beneficiarse de la flexibilidad, profundidad, predictibilidad y costo-efectividad de una integración de mercado como la antes descrita.

[2.4.2] Contexto

Los primeros mercados de carbono se instauraron a través del Protocolo de Kioto, y actualmente son promovidos a nivel global a través del Acuerdo de París, además de una cantidad importante de iniciativas independientes de carácter nacional o sub-nacional. En términos sencillos, los mercados de carbono se pueden dividir en dos grandes tipos: (1) Sistemas de Comercio de Emisiones (SCE o ETS, por sus siglas en inglés), que operan bajo el concepto de cap-and-trade, es decir, se limitan las emisiones totales de una instalación, región, país, o grupo de países, entregándose permisos de emisión (carbon allowances); y (2) compensación de emisiones (u offsets) generadas por proyectos que reducen emisiones, que usualmente son impulsadas por un impuesto, norma o de forma voluntaria, a fin de "netear" las emisiones de una fuente emisora.

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. Esta situación será potenciada por el Artículo 6 del Acuerdo de París, y la correspondiente creación de los Internationally Transferred Mitigation Outcomes (ITMOs). Los ITMOs refuerzan la idea de implementar medidas de mitigación que permitan colaborar entre distintas jurisdicciones, asumiendo que podrán ser cuantificadas en las NDCs. La integración de jurisdicciones conlleva una serie de desafíos, partiendo por la alineación de las políticas climáticas, estandarización de reglas, infraestructuras de mercado, creación de capacidades y cooperación tecnológica, por lo que una mirada más acotada se presenta como una opción interesante a explorar.

Lo anterior ha derivado en el surgimiento del concepto de clubes de carbono, equipos climáticos u otros conceptos similares, con el objetivo de anar esfuerzos de mitigación entre distintas jurisdicciones mediante acuerdos voluntarios de cooperación, de manera de alcanzar metas de reducción de emisiones más ambiciosas y costo-efectivas.

El enfoque tipo bottom-up que constituye a los clubes de carbono permite que las partes integrantes propongan sus propias reglas de funcionamiento, permitiendo acuerdos que sean más ambiciosos, entre participantes que tengan objetivos similares y, por consiguiente, facilitando futuras negociaciones de los mecanismos de mitigación, así como evitando los riesgos de free-riders, fugas de carbono y la disminución de la competitividad de las industrias nacionales. Actualmente, existe una serie de iniciativas internacionales y bilaterales que buscan promover mecanismos de cooperación en torno a los instrumentos de precio al carbono, como son el The Climate Market Club, Climate Teams y Carbon Pricing of the Americas, entre otras.

En cuanto al uso de compensaciones, Colombia, Chile y Perú se encuentran entre los primeros 15 países del mundo con mayor cantidad de proyectos de compensaciones y volumen acumulado de reducciones acreditadas ante el MDL, por lo que se cuenta con amplia experiencia y capacidades en la Región.

Si bien dentro de la región operan distintos mecanismos de precio al carbono, a la fecha estos corresponden a impuestos al carbono con mecanismos de compensaciones. No obstante, tanto Chile como Colombia se encuentran considerando y desarrollando la implementación de mecanismos del tipo Sistemas de Comercio de Emisiones.

[2.4.3] Desafíos

La integración de jurisdicciones conlleva una serie de desafíos, identificándose algunos estructurales tales como:

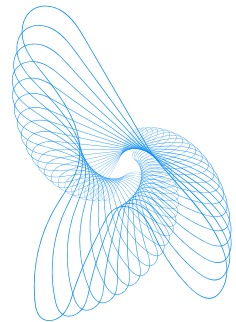
Falta de estandarización y otras barreras que dependen de los objetivos de la colaboración: Incluyen mantener la integridad medioambiental, homogeneizar la contabilidad de las emisiones y reducciones, homogeneizar compromisos NDCs y metodologías de trabajo, transferir e intercambiar resultados de mitigación, entre otros.

Infraestructuras de mercado distintas e incertidumbre: Eventuales limitaciones para integrarse con otros mercados o aliados. Similitudes en los contextos de emisiones y ambiciones climáticas a nivel institucional, así como las eventuales complementariedades.

Desafíos políticos: Preocupación en la comunidad internacional sobre las consecuencias de imponer penalizaciones a los miembros y no miembros del club.

Asimetrías de información y capacidades: Desconocimiento por parte de los tomadores de decisión sobre las implicancias de formar un club de carbono y su relación con los compromisos a nivel internacional, a lo cual se suman desafíos de legitimidad y eficacia, debido a que podrían convertirse en una distracción más que un aporte real, con resultados concretos, al actual régimen climático.

Inequidades en la obtención de beneficios entre los miembros y pérdida de co-beneficios: Asimetrías en las capacidades de mitigación (PIB y emisiones), lo que tiene una relación indirecta con la vulnerabilidad de los participantes. Estas diferencias pueden impactar en la forma de distribuir los costos de abatimiento. A lo



anterior se suma pérdida de co-beneficios locales por adquisición de reducciones externas.

Por otro lado, se identifican desafíos en torno a la conformación, implementación y operación de los clubes de carbono:

Desafíos de entrada, que permiten iniciar la conversación y alinear a las partes: Mayor coherencia económica de las partes de forma que la colaboración mejore 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. Falta de coherencia política, en términos de similitudes en los contextos de emisiones y ambiciones climáticas a nivel institucional, así como las eventuales complementariedades. Y coherencia administrativa para que la cooperación disminuya los costos de gestión en caso de relacionar los mercados, así como permitir un espacio para intercambiar las mejores prácticas entre los participantes.

Desafíos de conformación e implementación de un club de carbono:

- **Desafíos de oferta y demanda:** Requiere identificar y definir los potenciales participantes, limitándolo eventualmente a ciertos sectores, gases, procesos, etc. Para entender la oferta y demanda de los países, existen desafíos de homogenización de los compromisos de reducción de emisiones, así como de su contabilidad (e.g. recolección de la información para los inventarios, metodologías de contabilidad, tasas de cambio u otros). Este último aspecto requiere consensuar conceptos como adicionalidad y criterios de elegibilidad de los proyectos, además de asegurar que la cuantificación de una tonelada reducida sea equivalente en todas las jurisdicciones.
- **Desafíos de infraestructura:** Las tecnologías de la información son esenciales para llevar un registro de los proyectos, transacciones, reducciones, disponibilidad, etc. Si bien Perú ya ha avanzado en este sentido a través del RENAMI, Colombia ya opera uno hace algunos años y Chile está próximo a poner en marcha el suyo. Plataformas que presentarían el desafío de una eventual homologación e interconexión. Los desafíos de infraestructura también conllevan aspectos legales y normativos a abordar, es decir, la eventual unificación de los mercados se verá facilitado o restringido por instrumentos regulatorios.

- **Recursos financieros y técnicos:** Los puntos anteriores implican no sólo disponer de recursos financieros tanto públicos como privados, sino también contar con recursos o capacidades técnicas, conocimiento y asesorías en cada país para sobrellevar las barreras anteriormente mencionadas. Sin embargo, estas no requieren ser superadas de forma individual o dentro del club, sino que existen distintos mecanismos de apoyo internacional en la materia (e.g. Partnership for Market Readiness, Networked Carbon Initiative, etc.). Nivelar los conocimientos en cuanto a mercados de carbono no es una tarea fácil y eventualmente requerirá altos niveles de compromiso y tiempo.
- **Diseño:** algunos elementos claves de discusión implican definiciones de participación, cómo, cuándo y cuánto se transará, además de los rangos de precio y mecanismos para evitar resultados perversos (e.g. aumento de las emisiones nacionales, competencia desleal, etc.).

[2.4.4] Oportunidades

Se identifican diversas oportunidades asociadas a un eventual club de carbono, entre las que cabe destacar:

Flexibilidad: Cada club pone sus propias reglas y objetivos, lo que permite tener una amplia gama de clubes y contar con la flexibilidad necesaria para las partes.

Costo-efectividad, heterogeneidad de soluciones, profundidad y liquidez de mercado: 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. Ello, mediante una reducción de los costos de abatimiento y el acceso a finanzas bajas en carbono, facilitando además una distribución equitativa de la carga y contribuyendo a la descarbonización de aquellos sectores que aún presentan incertidumbres tecnológicas en materias de mitigación, como es el caso de la industria y minería. A lo anterior, se suma complementariedad, estabilidad y mayor predictibilidad de precios. Para el caso de Colombia, Chile y Perú, se observa que existe heterogeneidad de soluciones, lo que permitiría diversificar, robustecer y mejorar la costo-efectividad de las compensaciones.

Consistencia: Aunque existen diferencias en el estado de avance de los mercados de cada país, en relación con los niveles de emisiones, así como de sus compromisos de reducción del sector industria y

minería, existe una consistencia mínima en los países estudiados en términos de los contextos de emisiones y ambiciones climáticas a nivel institucional, así como las eventuales complementariedades.

Espacio para la difusión y/o transferencia: Provee de experiencias y lecciones aprendidas que motivan a otros a unirse. La cooperación debiese disminuir los costos de gestión en caso de relacionar los mercados, así como permitir un espacio para intercambiar las mejores prácticas entre los participantes.

[2.4.5] Acciones para una agenda en el ámbito nacional y regional

[2.4.5.1] Acciones locales para abordar desafíos y/o capturar oportunidades

Fortalecer el marco institucional para abordar desafíos políticos: Requiere aumentar los niveles de armonía y predictibilidad de las políticas e instrumentos climáticos de cada país, así como avanzar en homologar definición y método para establecer actualizaciones de los compromisos país.

Fortalecer el marco regulatorio para abordar los desafíos normativos: Requiere alinear los instrumentos de precio al carbono y armonizar el avance de cada país con un enfoque colaborativo.

Reducir brechas de información para abordar los desafíos técnicos: Requiere cerrar las brechas de información, tales como lograr una mayor transparencia y levantamiento de datos; homogenizar los esquemas de contabilidad y sistemas de 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 beneficios.

Abordar los desafíos de tracción: Requiere difundir y socializar el proceso de cooperación de manera gradual y efectiva, a fin de conseguir los apoyos del sector público, privado y la sociedad civil, en consistencia con los niveles de progreso que vaya logrando el proceso de implementación.

La Tabla 12 a continuación identifica dos acciones prioritarias para homologar los compromisos climáticos y homogeneizar los sistemas de contabilidad.

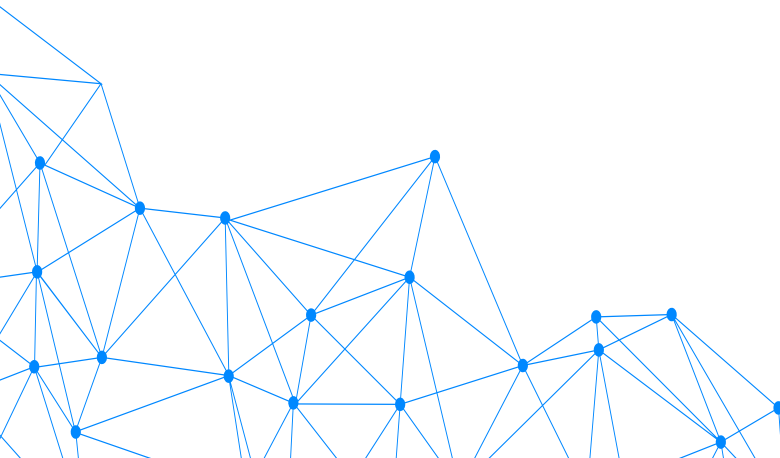
Tabla 12. Acciones para los países de la región Andina en la conformación de un club de carbono.

ACCIÓN	NECESIDAD POR ABORDAR	MEDIOS	FUENTE DE RECURSOS
<p>Homologar definición y método para establecer actualizaciones de los compromisos país.</p>	<p>Grandes diferencias en las metodologías de proyección de emisiones (BaU vs. Línea base) y compromisos de mitigación dificultan la comparación y análisis de los países, así como la posibilidad de alineación de estos compromisos para un eventual trabajo en conjunto.</p>	<p>Desarrollo y fomento de capacidades en el marco del Acuerdo de París, artículos 4.5 y 10.</p>	<p>NDC Invest – a través de NDC Program: apoyo de capacidad institucional para la formulación e integración de medidas de mitigación y adaptación que permita lograr la NDC;</p> <p>NDC Partnership – a través de Climate Action Enhancement Package (CAEP): entrega asistencia técnica para la actualización de la NDC.</p>
<p>Homogenizar los esquemas de contabilidad de GEI y MRV.</p>	<p>El uso de diversos esquemas de contabilidad –reconocidos por el sector público, así como los empleados por organizaciones privadas y no-gubernamentales– obstaculiza la transferencia de los resultados de mitigación entre las partes interesadas. Lo que resultaría en un mercado de carbono altamente complejo y, potencialmente, ineficiente.</p>	<p>Fortalecimiento de capacidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> Desarrollo de capacidades del sector industria y minería a través de acceso a programas de financiamiento para la mitigación y acceso a plataformas públicas de información. <p>Fortalecimiento de la institucionalidad y gobernanza de cada país:</p> <ul style="list-style-type: none"> Desarrollo de normativa y ejes regulatorios que entreguen un marco de referencia sobre las metodologías y estándares mínimos de contabilidad aceptados. 	<p>Low-Emission Capacity Building (LECB) Programme: diseñado para entregar asistencia técnica para mejorar sistemas de monitoreo, reporte y verificación (MRV).</p> <p>Huella Chile: no corresponde a una fuente de recursos económicos, pero sí de asistencia técnica en Chile respecto a sistemas MRV de emisiones GEI.</p>

[2.4.5.2] Acciones regionales para un trabajo conjunto provechoso

Avanzar en trabajo colaborativo para tomar oportunidades asociadas a un Club de Carbono entre los países: El análisis arroja que existe un 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. Dentro de las posibles líneas de acción para el trabajo colaborativo, destacan como elementos fundamentales o prioritarios aquellos mencionados en la tabla 13 de la subsección anterior: (i) homologar definiciones y métodos para establecer actualizaciones de los compromisos país, y (ii) homogenizar los esquemas de contabilidad de GEI y MRV. Al mismo tiempo, los desafíos identificados sugieren que el trabajo se debe desarrollar iterativamente, con gradualidad y secuencialidad:

- Comenzando por constituir un grupo acotado de trabajo, con presencia de representantes de los sectores público, privado y sociedad civil de los tres países. Y que debiera lograr consensuar los principales beneficios y brechas de esta posible cooperación;
- Caracterizar los desafíos técnicos y normativos preliminares que debieran estar presentes en la discusión política;
- Conseguir un apoyo político inicial en al menos dos países de la región. Estos podrían ser Chile y Colombia, dado sus estados de avance y similitudes en cuanto a instrumentos de precio al carbono;
- Avanzar y lograr los consensos mínimos y progresos graduales, iterativa y controladamente.



[2.5] SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA (SBN)

[2.5.1] Importancia/criticidad (qué es lo que está en juego)

La región de Latino América y el Caribe alberga cerca del 60% de la vida terrestre de nuestro planeta, junto a una fantástica diversidad de ecosistemas marinos y acuáticos incluyendo parte de los biomas más diversos y ricos en especies existentes como bosques tropicales, arrecifes de coral, manglares, humedales, pastizales, ecosistemas de fiordos, bosques de macroalgas y turberas. Estos ecosistemas capturan y acumulan gigatoneladas de carbono, destacándose el contenido en bosques (~109 Gt C), turberas (~50 Gt C), pastizales (26 GtC) y zonas costeras (~ 0.33 Gt)⁵⁰. Como referencia, las emisiones de carbono de industrias están en un orden de magnitud abajo del carbono que captura la biodiversidad de la región (e.g. emisiones Cobre Global 75 Mt C, 2016; Minería Carbón 33 Mt C, 2018)⁵¹.

Lo anterior pone en evidencia la biodiversidad Latinoamericana como un elemento crítico para la regulación del sistema climático planetario, pero que está bajo amenaza. Ello, producto de presiones que derivan de crecimiento económico que no internaliza los impactos sobre el capital natural y la biodiversidad, y que ha construido economías con baja sostenibilidad ambiental en región. En este contexto, el desarrollo económico de la región debe sufrir profundos cambios para revertir las actuales condiciones de degradación de la naturaleza y su biodiversidad, asumiendo el hecho ecológico ineludible de que las actividades humanas ocurren en sistemas socio-ecológicos integrados, y que el bienestar de las sociedades depende de mantener la integridad ecológica de la biodiversidad.

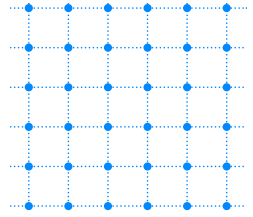
Para abordar la doble crisis que amenaza al planeta: la pérdida de biodiversidad y el cambio climático, surge la alternativa de las Soluciones Basadas en Naturaleza (SbN), entendidas como acciones para proteger, gestionar y restaurar de manera sostenible los ecosistemas naturales y modificados que hacen frente a los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad. Las SbN están diseñadas para abordar los principales desafíos sociales, como la seguridad alimentaria, el cambio climático, la seguridad del agua, salud humana, riesgo de desastres, desarrollo social y económico. Por ejemplo, se calcula que las SbN podrían

50 WCS datos no publicados.

51 WCS datos no publicados.

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, considerando que la minería en Perú y Chile opera en ecosistemas críticos y degradados ya sea 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 plantas desalinizadoras.



[2.5.2] Contexto

La minería, siendo una de las actividades que aporta directa y significativamente a dichos problemas, puede ser a la vez un actor clave en proveer parte de la solución, por ejemplo, para permitir el reemplazo de energías fósiles por la electromovilidad. La minería tiene el mandato ecológico de reconocer que sus actividades ocurren en territorios específicos que sostienen biodiversidad esencial para el bienestar de las comunidades que cohabitan dichos territorios; por ello, tiene el desafío ético de avanzar en la internalización del reconocimiento de dicha biodiversidad, y de la integración de la gestión de su conservación en sus diseños industriales, de la misma manera y con la misma fuerza con la que ha asumido el compromiso de avanzar hacia emisiones de GEI neutras en los años venideros. Esta necesidad ya ha sido reconocida por el sector, el que se ha comprometido de manera específica con relevar: 1) El papel de las SbN en la mitigación del clima y adaptación, y 2) avanzar en el nivel operativo necesario para apoyar estas soluciones, abordando oportunidades y desafíos que son justamente el asunto central de este estudio.

En una creciente crisis socio-ambiental las soluciones basadas en la naturaleza, proponen y ofrecen un marco que implica el involucramiento social, el entendimiento ecológico del entorno, y medidas que reviertan la pérdida de biodiversidad tanto para recuperar ecosistemas como para incidir en la cadena de producción.

Tanto en Perú como Chile, las actividades mineras están insertas en áreas frágiles, con alto endemismo y singularidad ecológica, pero que han sido degradadas producto de la actividad minera

durante décadas, con bajos estándares de protección ambiental. Esto queda en evidencia en la superposición que existe entre la actividad minera y las áreas protegidas y ecosistemas críticos ⁵².

Una de las áreas prioritarias para abordar las SbN relacionadas a la minería es aquella que se enfoca en el cuidado y gestión del agua, especialmente, seguridad hídrica, hidrología de ecosistemas, restauración, sistemas costeros por efectos de puertos y desalinizadores para revertir o prevenir impactos.

Perú y Chile están fortaleciendo espacios para las SbN en el contexto para reducir las emisiones (mitigación) y recuperar los ecosistemas (adaptación), sin embargo, existen diferencias relevantes tanto en el lenguaje, como en el espacio concreto en el cual se está dando la implementación de las SbN. Existen instrumentos de políticas públicas de Perú y Chile con diferente nivel de madurez, que están directa e indirectamente relacionados con las SbN.

La institucionalidad ambiental de Chile y Perú avanza, pero con debilidades, lo que hace complejo consolidar la implementación plena, coherente y sistemática de las SbN. Sin embargo, se están dando primeros pasos, proyectos puntuales tanto en Chile como Perú. Deben existir criterios claros para no caer en simplismos en el marco de las Contribuciones Nacionales Determinadas en conjunto con las Estrategias Nacionales de Biodiversidad, y se deberían consolidar acciones transversales y conjuntas en este sentido.

[2.5.3] Desafíos

Bajo involucramiento del sector minero en la implementación de la política pública sobre biodiversidad: Falta inversión privada para asimilar, conducir e implementar acciones sistemáticas para la protección ambiental. Hay dispersión de conocimiento y de experiencias. La incidencia de la minería en zonas Andinas y costeras tanto en Chile como Perú es importante⁵³. Esto junto a prioridades nacionales, permitiría enfocar esfuerzos al sector minero bajo una mirada regional y local.

Incrementar el conocimiento sobre el alcance y las opciones de SbN: Se precisa profundizar en el marco conceptual a nivel de investigadores y simplificarlo para un público diverso. Se necesita distinguir qué son y qué no son las SbN. Una de las estrategias

52 Saavedra & Figueroa, 2022.

53 Saavedra & Figueroa, 2022.

más evidentes para abordar las SbN relacionadas a la minería es aquella que se enfoca en el cuidado y gestión del agua, pero la intervención del sector minero en múltiples espacios geográficos requiere abordar los problemas integradamente.

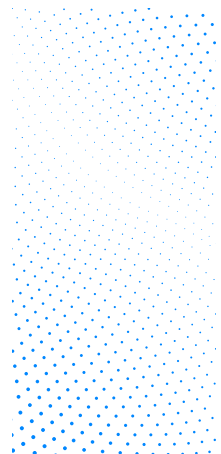
Consolidar redes de conocimientos y expertos para abordar en conjunto acciones en el marco de las SbN: La política pública carece aún de institucionalidad robusta para implementar acciones o medidas que ayudan a implementar las SbN. La política corporativa de empresas mineras en general es reactiva a la acción preventiva y de investigación sistemática en materia ambiental. La existencia de proyectos mal implementados podría detener el avance, se precisa identificarlos y establecer métricas adecuadas. Los impactos negativos o inesperados crean externalidades, por ejemplo: forestar en cualquier parte; zanjas de infiltración que cambian el paisaje. Se deben identificar condiciones habilitantes.

Conocer y cuantificar áreas y ecosistemas con diferente valor en la captura y almacenamiento de carbono: Ecosistemas terrestres, acuáticos y marinos son en sí mismos soluciones climáticas, es decir, cumplen un rol en la mitigación y adaptación al cambio climático y su restauración o protección tienen impacto positivo directo sobre biodiversidad, cambio climático y bienestar social.

[2.5.4] Oportunidades

Estrategia de implementación de SbN en diversas áreas del territorio nacional, como parte de la política corporativa de la minería chilena: La relevancia social, económica y climática de los ecosistemas requiere medidas y consensos para revertir la actual situación de uso y degradación. Elementos tales como la seguridad hídrica, hidrología de ecosistemas, restauración, investigación en sistemas costeros por efectos de puertos y desalinizadoras para revertir o prevenir impactos surgen como prioritarios dentro de dicha estrategia.

Desarrollo integrado de I+D+i y Soluciones Basadas en la Naturaleza potenciando sus beneficios: Adoptando elementos diversificados de experiencias nacionales e internacionales para diseñar e implementar las SbN en el contexto territorial y social donde se desarrolla la actividad minera. Entre las áreas más importantes se incluyen la ingeniería ecológica, la reducción de desastres basados en ecosistemas (eco-DRR), la infraestructura verde, el manejo integrado de paisaje, el manejo de cuencas, la restauración de bosques y de paisaje, las soluciones naturales de clima o soluciones climáticas basadas en la naturaleza, todas las cuales centran su atención en trabajar con la naturaleza.



Propuesta conceptual para abordar múltiples factores de presión sobre la naturaleza:

Los factores subyacentes a los cambios y transformación de territorios, así como la actividad industrial minera puede transformar su presencia, desarrollo productivo y efectos negativos mediante medidas directas en su gestión. La urgencia de desarrollar una gestión integrada a nivel de cuenca permite enfocar esfuerzos, avanzando a nivel de sitio y cuenca hidrográfica, incorporando tecnología, haciendo transparente las acciones, apoyando esfuerzos de monitoreos conjuntos y alertas tempranas.

Financiamiento para implementar SbN: Diversificar la mirada de los beneficios para atraer a inversores, distinguiendo beneficios biofísicos y económicos. La interpretación de beneficios directos por inversión en biodiversidad sigue siendo un obstáculo para una adecuada y pertinente inversión del sector privado con enfoque ecosistémico (o SbN). La valoración de los beneficios sociales y el retorno por responsabilidad ambiental permitirá poner en valor las SbN. Se sugiere considerar los beneficios directos de las SbN, para que las empresas puedan considerar los beneficios de invertir en SbN. No todos los sectores productivos tienen retornos directos, pero ello no puede ser un obstáculo, dada la responsabilidad ambiental que tiene el sector⁵⁴.

Amplia aceptación de la importancia de las SbN contra la lucha climática por parte de gobiernos y sector privado:

Una diversidad de iniciativas se promueven en diversas geografías y sectores productivos. Las SbN son reconocidas por su valor para avanzar en "la mejora del bienestar humano y un crecimiento verde socialmente inclusivo". Análisis recientes han identificado acciones o SbN relacionadas con la protección, uso sostenible y restauración de ecosistemas, marinos y terrestres, que contribuyen tanto a la mitigación de gases de efecto invernadero como a la adaptación y al bienestar humano. Como ya se ha dicho, 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 visión integrada propia 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 protección del suelo marino en la Zona Económica Exclusiva Chilena (ZEE) también forma parte de soluciones climáticas⁵⁵.

54 Saavedra & Figueroa, 2022.

55 Saavedra & Figueroa, 2022.

[2.5.5] Acciones para una agenda en el ámbito nacional y regional

[2.5.5.1] Acciones locales necesarias para abordar desafíos y/o capturar oportunidades

Acordar una estrategia coherente de las compañías mineras, y consorcios: A nivel del sector minero, se debe avanzar en una estrategia conjunta y coherente para enfrentar, bajo los mismos parámetros, su desempeño ambiental en los países de Latinoamérica, asegurando beneficios directos para la biodiversidad y los territorios. Esto aparece como especialmente propicio en un momento político donde la agenda climática y ecológica es de gran relevancia, lo que puede ser tomado como una oportunidad para concretar acciones y espacios de involucramiento por parte del sector minero, bajo nuevos estándares y apoyando la implementación de la política pública en materia ambiental, de manera transparente.

Avanzar hacia un rol del Estado que genere los marcos institucionales y regulatorios necesarios propiciando una mirada holística de las SbN: Mejorar los marcos institucionales y regulatorios de los países para que las medidas de protección ambiental, SbN y de cambio climático sean consideradas adecuadamente en la toma de decisiones tanto del sector público como privado, en este caso de la minería. Ello incluye aumentar e integrar transversalmente las SbN en la gobernanza nacional, de la acción climática y los instrumentos políticos relacionados, en especial los instrumentos de planificación del territorio. Un elemento fundamental de dicho proceso es una vinculación activa de las entidades del sector público para favorecer diálogos involucrando a todos los actores relevantes para mejorar el desempeño ambiental ex – ante de la minería y evitar actividades mineras en áreas protegidas. El marco institucional y regulatorio debe propiciar un enfoque holístico de las SbN abordando 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. Asimismo, se requiere 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.

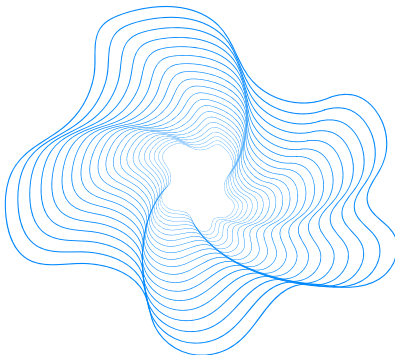
Generar información para reducir brechas de conocimiento y favorecer la toma de decisiones: Se requiere identificar, por ejemplo, un inventario de ecosistemas que requieren diversos niveles de investigación como aporte a la mitigación y adaptación ante cambio climático, así como apoyar acciones locales, regionales y nacionales tendientes a reducir la brecha de conocimiento, restauración y financiamiento en biodiversidad.

Acelerar fuentes de financiamiento: La generación de conocimiento respecto de sus beneficios y desafíos, un inventario de ecosistemas y un marco institucional más robusto generan un ambiente más propicio para los inversionistas en SbN incluyendo al sector minero.

Aumentar las experiencias en sistemas de SbN: En particular aquellos que aportan a la retención y seguridad hídrica, así como a evitar riesgos de desastres. Las SbN podrían apoyar medidas tendientes a la disponibilidad de agua, a la calidad de agua y a la reducción del riesgo de desastres, reduciendo adicionalmente la vulnerabilidad de los ecosistemas y las personas.

[2.5.5.2] Acciones regionales para un trabajo conjunto provechoso

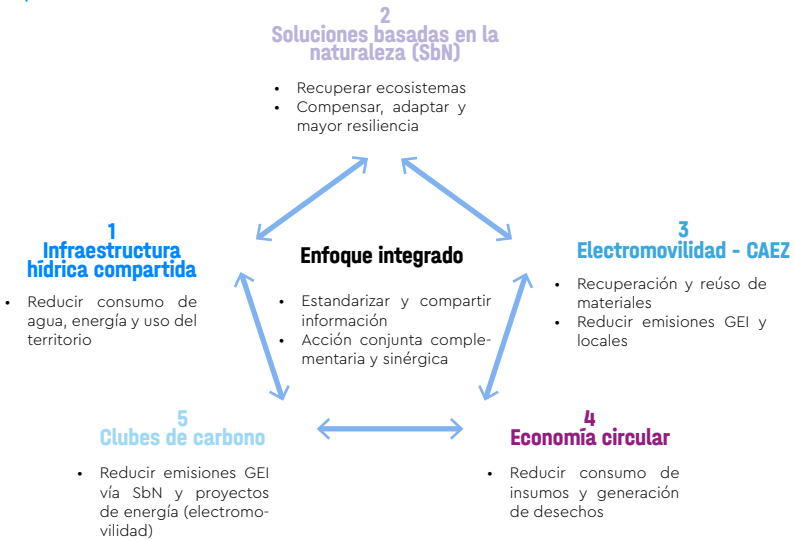
Acelerar redes de intercambio de conocimiento y monitoreo: Son necesarias para implementar medidas de restauración y protección en ecosistemas priorizados, entre otras. Chile y Perú poseen similitud territorial en los Andes de la Puna árida, comparten la singularidad de humedales con atributos excepcionales como reservorios de agua, como es el caso de las turberas, los páramos, vegas, bofedales y salares.



[3] RELACIONES ENTRE NICHOS

Se identifican numerosas interacciones entre los 5 nichos, las que se ilustran en la Figura 6. Esto 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 aportar a la productividad de una minería sostenible.

Figura 8: Mapa de Relaciones entre Nichos



Fuente: elaboración propia

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 compartir la infraestructura material, no solo para las plantas de tratamiento de agua y las tuberías, sino también compartir los costos y los impactos asociados con los sistemas de suministro de agua. Esto permite reducir el uso de materiales, los costos e 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 otro lado, 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, fuentes de 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, 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.

La EC, más allá de las interacciones ya especificadas con CAEX, permite integrarse en otros nichos tecnológicos estudiados. En los procesos de retrofit 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.



[4]

ACCIONES PRIORITARIAS PARA AVANZAR HACIA UNA MINERÍA SOSTENIBLE

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:

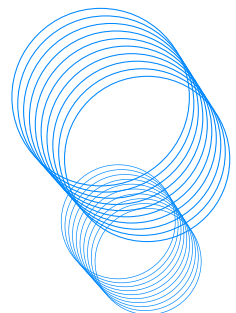
1. Generar o fortalecer los marcos institucionales y regulatorios para propiciar una mirada holística, multidisciplinaria a nivel de cada nicho y de sus interacciones: Dichos marcos deben dar la direccionalidad, favoreciendo el diálogo y el trabajo colectivo y multidisciplinario, como elementos habilitantes 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/u 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 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 incentivar 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, complementariamente a los esfuerzos 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; e 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 prioritaria 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 sobre 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 formativos para alcanzar una estandarización en su definición y aplicación práctica, incluyendo tanto la formación universitaria como la formación 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 resguardar 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 brechas a trabajar es elaborar un inventario de ecosistemas que requieren diversos niveles de investigación como aporte a la mitigación y adaptación ante cambio climático; 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.

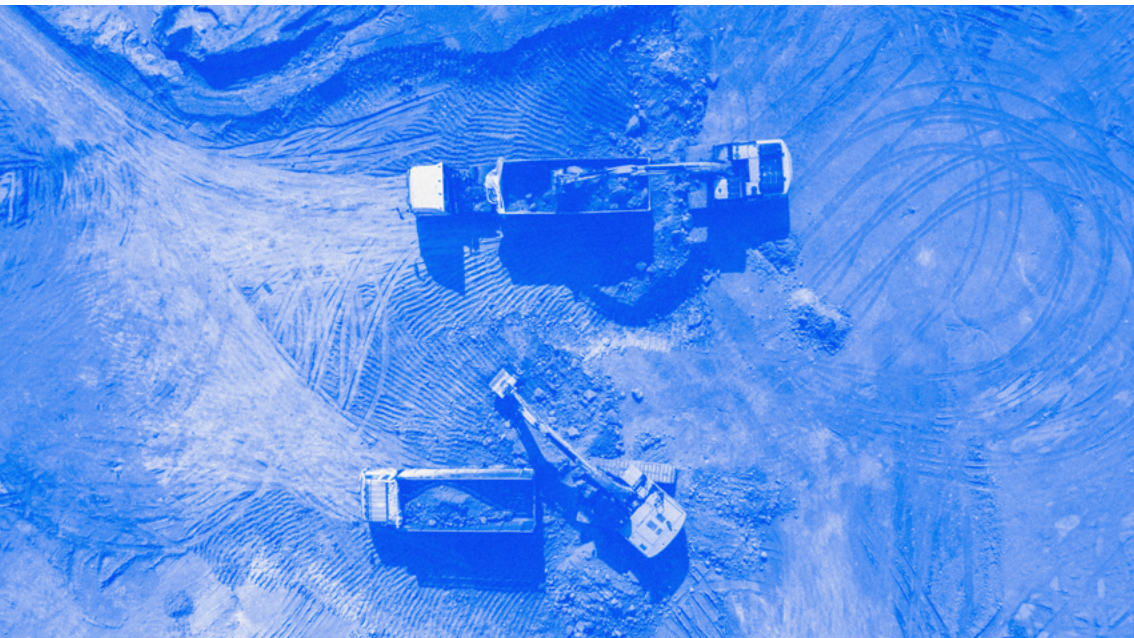
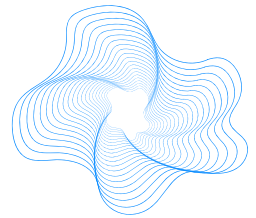
- 3a.** En infraestructura hídrica se sugiere la continuación de este concepto y abrir la oportunidad de desarrollar un grupo de trabajo binacional entre Perú y Chile. Entre las áreas prioritarias de cooperación se identifican el avanzar en el fortalecimiento y conocimiento de la institucionalidad pública y la regulación relevante en torno al concepto, y fortalecer las ba-

ses 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 de cada uno y establecer una agenda de trabajo colaborativo a nivel de la región.

4. Avanzar en el pensamiento colectivo y 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, 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 .



[5]

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aitken D. (2022). *Infraestructura hídrica compartida en Chile y Perú*. Documento preparado para CESCO.

Asociación Latinoamericana de Desalación y Reúso de Agua (2 de julio de 2019). Desalinización de agua de mar para Perú. *iagua*. <https://www.iagua.es/noticias/aladyr/desalinizacion-agua-mar-peru>

Bnamericas (10 de marzo de 2020). *Chile y Perú intensifican apuesta por desalinización*. <https://www.bnamericas.com/es/reportajes/chile-y-peru-intensifican-apuesta-por-desalinizacion>

Banco Mundial (2021). Diagnóstico del Sector Minero – Perú. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/463211632474174919/pdf/Peru-Mining-Sector-Diagnostic.pdf>

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

Centro de Excelencia Internacional SMI-ICEChile (2019). *Estudio de Interconexión Hídrica: Oportunidades y Desafíos para Chile*. Consejo Minero. <https://consejominero.cl/wp-content/uploads/2019/03/Interconexi%C3%B3n-H%C3%ADrica-IFinal-Rev-C.pdf>

CESCO (2022). *El arribo de la economía circular a la minería primaria de Chile, Perú y Colombia*. <https://circulartec.cl/wp-content/uploads/2022/05/Libro-El-arribo-de-la-economia-circular-v3.pdf>

CESCO (2019). "Los relaves son una oportunidad para avanzar en una minería de menor impacto". <https://www.CESCO.cl/2019/08/16/los-relaves-son-una-oportunidad-para-avanzar-en-una-mineria-de-menor-impacto/>

CESCO (2020). *Revolución Tecnológica en la Gran Minería de la Región Andina*. <https://www.CESCO.cl/wp-content/uploads/2021/01/Revolucio%C3%81n-tecnolo%C3%81gica-en-la-gran-miner%C3%81a-de-la-regio%C3%81n-andina-V.4.pdf>

COCHILCO (2022). *Desal overview in the Chilean mining*. [Diapositiva de PowerPoint] COCHILCO.

<https://www.COCHILCO.cl/Presentaciones/Presentacion%20Global%20Water%20Summit%20mayo%202022.pdf>

COCHILCO (2020). Análisis del mercado de insumos críticos en la minería del cobre 2020.

<https://www.COCHILCO.cl/Mercado%20de%20Metales/Analisis%20Mercado%20de%20los%20Insumos%20Cri%CC%81ticos%202021.pdf>

COCHILCO (2020). *Investigación, Desarrollo e Innovación en la Minería Chilena*.

[https://www.COCHILCO.cl/Listado%20Temtico/Investigaci%C3%B3n%20Desarrollo%20e%20Innovaci%C3%B3n%20en%20la%20miner%C3%A-Da%20chilena%20\(2\).pdf](https://www.COCHILCO.cl/Listado%20Temtico/Investigaci%C3%B3n%20Desarrollo%20e%20Innovaci%C3%B3n%20en%20la%20miner%C3%A-Da%20chilena%20(2).pdf)

COCHILCO (2020). *Mejores prácticas de gobernanza en materia de relaves*.

<https://www.COCHILCO.cl/Listado%20Temtico/Mejores%20practicas%20de%20gobernanza%20en%20materia%20de%20relaves.pdf>

Comisión Europea (2014). *Propuesta de Reglamento del parlamento europeo y del consejo sobre requisitos relativos a límites de emisiones y homologación de tipo para motores de combustión interna que se instalen en máquinas móviles no de carretera*.

[https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/api/files/COM\(2014\)581_0/de0000000425193?rendition=false](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/api/files/COM(2014)581_0/de0000000425193?rendition=false)

Consejo Políticas de Infraestructura (7 de octubre de 2019). *Megasequia impulsa desarrollo de desaladoras en Chile: ya hay 24 plantas operando y hay otros 22 proyectos en diferentes etapas de avance*.

<https://www.infraestructurapublica.cl/megasequia-impulsa-desarrollo-desaladoras-chile-ya-24-plantas-operando-otros-22-proyectos-diferentes-etapas-avance/#:~:text=Seg%C3%BAn%20un%20catastro%20recopilado%20por,en%20diferentes%20etapas%20de%20desarrollo>

De Miguel, C., Martínez, K., Pereira, M., & Kohout, M. (2021). *Economía circular en América Latina y el Caribe: oportunidad para una recuperación transformadora*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

<https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47309/1/S2100423.es.pdf>

Dirección General de Aguas (2016). *Atlas del Agua Chile 2016*.

<https://dga.mop.gob.cl/DGADocumentos/Atlas2016parte1-17marzo2016b.pdf>

Dirección General de Aguas (s/f). *Catálogo Documental DGA*.

https://snia.mop.gob.cl/repositoriogda/handle/20_500_13000/1/discos-ver?query=Plan+estrat%C3%A9gico+de+ges%20ti%C3%B3n+h%C3%ADrica&submit=&rpp=10&sort_by=dc.date.issued_dt&order=desc

Estado Peruano (4 de diciembre de 2018). *Ministerio de Vivienda promueve 3 nuevas plantas desaladoras en Lima y Moquegua*. Gob.Pe.

<https://www.gob.pe/institucion/vivienda/noticias/23375-ministerio-de-vivienda-promueve-3-nuevas-plantas-desaladoras-en-lima-y-moquegua>

Expande Minería (s/f). BHP Tailings Challenge.

<https://expandemineria.cl/desafios/bhp-tailings-challenge/>

Fundación Terram (18 de febrero de 2020). *Agua, minería y comunidades: gestión integrada como respuesta a la escasez*.

<https://www.terram.cl/2020/02/agua-mineria-y-comunidades-gestion-integrada-como-respuesta-a-la-escasez/>

Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre El Cambio Climático [IPCC] (9 de agosto de 2021). *El cambio climático es generalizado, rápido y se está intensificando*.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6_Press-Release-Final_es.pdf

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

<https://circulartec.cl/wp-content/uploads/2022/05/Libro-El-arribo-de-la-economia-circular-v3.pdf>

Hoftse, R.W., Reig, P, and Schleifer L. (6 de agosto de 2019). 17 Countries, Home to One-Quarter of the World's Population, Face Extremely High Water Stress. *World Resources Intitute*.

<https://www.wri.org/insights/17-countries-home-one-quarter-worlds-population-face-extremely-high-water-stress>

International Council on Mining and Metals (2016). *Mining and Metals and the Circular Economy*.

https://www.icmm.com/website/publications/pdfs/mining-metals/2016/research_circular-economy.pdf?cb=7827

Lajunen, A., Sainio, P., Laurila, L., Pippuri-Mäkeläinen, J., & Tammi, K. (2018). Overview of Powertrain Electrification and Future Scenarios for Non-Road Mobile Machinery. *Energies* 11(5), 1184.

<https://doi.org/10.3390/en11051184>

La Tercera (12 de febrero de 2012). *Mineras multiplican proyectos de desalinización para enfrentar la escasez hídrica en el norte*.

<https://www.latercera.com/diario-impreso/mineras-multiplican-proyectos-de-desalinizacion-para-enfrentar-la-escasez-hidrica-en-el-norte/>

Lèbre, É., Corder, G., & Golev, A. (2017). The Role of the Mining Industry in a Circular Economy: A Framework for Resource Management at the Mine Site Level. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 662–672. <https://doi.org/10.1111/jiec.12596>

Lewinsohn, J. L. (2021). *Estado del arte de las estadísticas mineras del uso de agua y energía en los países andinos: intercambio metodológico entre Chile y el Perú en el marco de la cooperación Sur-Sur*. CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/46596>

Lopes de Sousa, A. B., Chiappeta, C. J., Godinho, M., & Roubaud, D. (2018). Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, 270(1–2), 273–286. <https://doi.org/10.1007/s10479-018-2772-8>

Maddocks, A., Young, R. and Reig, P. (16 de agosto de 2015). Ranking the World's Most Water-Stressed Countries in 2040. *World Resources Institute*. <https://www.wri.org/insights/ranking-worlds-most-water-stressed-countries-2040>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (13 de noviembre de 2014). *La ANA inicia estudios de Evaluación de recursos hídricos en 12 cuencas hidrográficas del Perú*. <http://www.ana.gob.pe/noticia/la-ana-inicia-estudios-de-evaluacion-de-recursos-hidricos-en-12-cuencas-hidrograficas-del#:~:text=El%20Per%C3%BA%20cuenta%20con%20159,la%20vertiente%20del%20lago%20Titicaca>.

Ministerio de Minería (2022). *Política Nacional Minera 2050*. https://www.politicanacionalminera.cl/wp-content/uploads/2022/03/Mineria_2050-Politica_Nacional_Minera.pdf

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

Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina (2022). *Conflictos Mineros en América Latina*. <https://mapa.conflictosmineros.net/ocmal.db-v2/>

Oficina de las Naciones Unidas de Servicios para Proyectos (s.f.). *Lucha contra la escasez de agua en el Perú*. UNOPS. <https://www.unops.org/es/news-and-stories/stories/combating-water-scarcity-in-peru>

Onuaguluchi, O., & Özgür, E. (2012). Copper tailings as potential additive in concrete: consistency, strength and toxic metal immobilization properties. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences* 19 (2), 79–86. <http://hdl.handle.net/11129/2331>

Romero, A. A., & Flores, S. L. (2010). Reuso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas. *Revista de La Facultad de Ingeniería Industrial*, 75–82.

<https://www.redalyc.org/pdf/816/81619984010.pdf>

Saavedra B. & Figueroa, A. (2022). Soluciones basadas en la Naturaleza: desafíos y oportunidades para impulsar en la zona Andina de Chile y Perú en el contexto minero. CESCO.

Saxena M. & Dhimole L. (2006). Utilization and value addition of copper tailing as an extender for development of paints. *Journal of Hazardous Materials* 129 (1–3). 50 – 57.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.05.052>

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". Berlin: International Carbon Action Partnership (ICAP).

<https://www.sei.org/publications/accounting-for-the-linking-of-emissions-trading-systems/>

Swisscontact (2020). *Guía metodológica para la construcción de políticas "soot free" en la maquinaria móvil no de carretera.*

https://programacalac.com/wp-content/uploads/2020/05/2_Gu%C3%A1-Da-para-el-desarrollo-de-pol%C3%ADticas_vfinal.pdf

The International Council on Clean Transportation (2016). *Technology Pathways for diesel engines used in non-road vehicles and equipment.*

https://theicct.org/sites/default/files/publications/Non-Road-Tech-Pathways_white-%20paper_vF_ICCT_20160915.pdf

Young, A., Barreto, M.L., & Chovan, C. (2021). *Towards a Circular Economy Approach.*

<https://circulareconomyleaders.ca/wp-content/uploads/2022/01/Towards-a-Circular-Economy-Approach-to-Mining-Operations.pdf>

Zhang, C., Tingting, Z., Qisheng, W., Huajun, Z., & Peng, X. (2014). Mechanical performance and Microstructures of Cement containing copper tailings. *Asian Journal of Chemistry*, 1371–1375.

<http://dx.doi.org/10.14233/ajchem.2014.1723>

[6] ANEXOS

[6.1] ANEXOS 1: PARTICIPANTES

Expertos participantes Grupo 1:
Infraestructura hídrica compartida
en Chile y Perú

PAÍS	NOMBRE	INSTITUCIÓN
Perú (Industria)	Ignacio Ishizawa Pamela Antonioli Diego Sawada Vinicio Flores	MCI (Mitsubishi) Hub de Innovación Minera del Perú MCI (Mitsubishi) GERENS
Chile (Sector Publico)	Jorge Cantallopis Camila Montes Exequiel Manbor	COCHILCO COCHILCO Ministerio de Minería
Chile (Industria)	Álvaro Aliaga Solange Dussaubat Mariana Concha Eugenio Celedón Cariola Takeaki Doi Claudio Reyes Hurtado	MCI (Mitsubishi) AMSA Codelco Hidrogestion Awua
Chile (Academia y centros de investigación)	Luis Cisternas Guillermo Espinoza Francisca Rivero Garay Levi Campos Giovana García Cuevas Guillermo Donoso Guillermo Olivares Ulrike Broschek	Universidad de Antofagasta CED SMI Universidad de Concepción Universidad de Concepción PUC Corporación Alta Ley Fundación Chile

**Expertos participantes Grupo 2:
Soluciones basadas en la Naturaleza
(SbN)**

PAÍS	NOMBRE	INSTITUCIÓN
	Karen Podvin	UICN
Perú (Sector Público)	Melina Tamara	SERNAP
Perú (Industria)	Boris Ochoa	Atuk
Perú (Academia y centros de investigación)	Vivien Bonnesoeur José Cuadros Beatriz Fuentealba Durand Loyola Escamillo	CONDESAN CONDESAN INAIGEM WCS
Chile (Sector Público)	Constanza Troppa Karin Molt	CONAF Ministerio de Medio Ambiente
Chile (Industria)	Diego Tabilo Marcela Bocchetto Rodrigo Moya Rodrigo Pizarro	Consultor Anglo American AMSA Cota 21
Chile (Academia y centros de investigación)	Claudia Papic Carlos Olavarría Alejandra Sther Elisabeth Lictevout Annie Dufey	Corporación Fondo del Agua CEAZA Universidad de Concepcion Hidrogeóloga Espacio Público

**Expertos participantes Grupo 3:
Electromovilidad para una minería
sin emisiones**

PAÍS	NOMBRE	INSTITUCIÓN
Perú (Sector Público)	Mariano Castro Eric Concepción	Ministerio del Ambiente Ministerio del Ambiente
Perú (Industria)	Julia Torrealba Daniel Camac	Cerro Verde Engie y Asociación Hidrógeno
Perú (Academia y centros de investigación)	Eduardo Lorent de Molla Luis Rivera Executive VP	Gold Fields
Chile (Sector Público)	Gabriel Prudencio Ricardo Becker Marcelo Fernández	Ministerio de Energía Ministerio de Minería Ministerio del Medio Ambiente
Chile (Industria)	Andrés Alonso Ignacio Pérez Sebastián Greco Felipe Toro	AMSA Anglo American AMSA
Chile (Academia y centros de investigación)	Willy Kracht Mikko Philate Diego Lizana Claudio Maggi Carlos Finat Hans Kulenkampff	Universidad de Chile VTT Grupo experto en electromovilidad Ecodesarrollo Open Beaucheff ACERA AG H2Chile

**Expertos participantes Grupo 4:
Economía circular en la minería
primaria**

PAÍS	NOMBRE	INSTITUCIÓN
	Carlos Sucre	BID
Colombia (Industria)	Ana María Villegas Andrés López Mauricio Zenteno	Minera Quebradona Anglo Gold Ashanti
Colombia (Academia y centros de investigación)	Gloria Restrepo Silvia Vargas	Universidad de Antioquía
Perú (Sector Público)	Teresa Macayo Marín	Ministerio de Energía y Minas
Perú (Industria)	Cayo García Joseph Espejo Fabiola Sifuentes Miguel Incháustegui	Hubday Antamina Candente Copper Inc
Perú (Academia y centros de investigación)	Pamela Antonioli de Rutté Henry Polanco	Hub de Innovación Minera U.Nacional San Agustín de Arequipa
Chile (Sector Público)	Jorge Cantalops Rubén González Sebastián Herrera Guillermo González	COCHILCO Ministerio de Medio Ambiente Ministerio de Minería Ministerio de Medio Ambiente
Chile (Industria)	Gustavo Muñoz Julio Morales Lorena Ramírez Cleve Lightfoot Milton Rosales Diego Pavez Carlos Rebolledo Jorge Sanhueza Nancy Pérez	Bailac Komatsu BHP BHP Teck Collahuasi Ecometales Codelco Codelco
Chile (Academia y centros de investigación)	Doug Atkien Heidy Jofré Patricio Aguilera Alejandra Molina	SMI Corporación Alta Ley CNP MINNOVEX

**Expertos participantes Grupo 5:
Clubes de carbono para la compensación de emisiones**

PAÍS	NOMBRE	INSTITUCIÓN
Colombia (Academia y centros de investigación)	Susana Vélez Haller Francisco Ocampo	Verra
Colombia (Sector Público)	Adriana Gutiérrez Harold Maya Lina María Castano	Ministerio de Medio Ambiente Ministerio de minería Ministerio de Energía
Perú (Sector Público)	Francisco Ocampo	
Perú (Industria)	Gabriel Pinto Raúl Bastidas Larry Oruro	Sierra Metals Engie RTM
Perú (Academia y centros de investigación)	Vanessa Macher	CENTRUM
Chile (Industria)	Annie Dufey Jorge Sanhueza Marcela Bocchetto Jorge Cáceres Ángelo Sartori	Karungen Codelco Anglo American SOFOFA Verra

[6.2] ANEXOS 2: METODOLOGÍA DE TRABAJO

Metodología utilizada – Grupo 1: Infraestructura hídrica compartida en Chile y Perú

La metodología utilizada se centró en cuatro pasos clave: 1. Entendiendo el contexto actual; 2. Desarrollar una visión para el concepto e identificar los riesgos, barreras y oportunidades asociadas con la visión; 3. Desarrollar habilitadores clave para apoyar el avance hacia la visión; y 4. Organizar los facilitadores clave a través de plazos y prioridades para su desarrollo e implementación

Para generar resultados valiosos en cada uno de los pasos, se requirió el aporte de un conjunto diverso de expertos con conocimientos en temas como gestión de recursos hídricos, políticas públicas, minería y gestión de proyectos. Para acceder a este conocimiento, se formó un grupo de expertos en representación del sector público y la industria. Este grupo participó en una serie de cuatro talleres que se llevaron a cabo para completar cada uno de los pasos descritos anteriormente,

Taller 1: Entendiendo el contexto actual

Objetivo: Entender el contexto hídrico actual, la disponibilidad de recursos e infraestructura y el nivel de cooperación entre sectores.

Para lograr este objetivo, los participantes del taller se dividieron en dos grupos, un grupo con experiencia en Perú y otro con experiencia en Chile. Se pidió a los dos grupos que proporcionaran puntos clave basados en su experiencia en cada país para dos temas: el contexto actual del agua y las relaciones entre sectores, cooperación y oportunidades. Los grupos discutieron preguntas específicas y realizaron comentarios utilizando la plataforma digital, Jamboard.

Para el primer tema, a los participantes se les hicieron las siguientes preguntas:

- ¿Cómo describiría la situación hídrica actual en las zonas mineras de Chile/Perú?
- ¿Cuál es la disponibilidad de recursos hídricos e infraestructura en cada zona?

- ¿Cuál es la dinámica de demanda en cada zona?
- Para el segundo tema, a los participantes se les hicieron las siguientes preguntas.
- ¿Cómo está el sector gestionando sus recursos de agua actualmente?
- ¿Cuál es el nivel de interacción entre sectores en términos de gestión de recursos hídricos?
- ¿Cómo están interactuando en casos positivos?
- ¿Qué oportunidades existen para colaborar entre usuarios de agua?

Taller 2: Desarrollar una visión para el concepto e identificar los riesgos, barreras y oportunidades asociadas con la visión

Objetivo: Definir la visión para el concepto e identificar las posibles barreras, riesgos y oportunidades

Para definir la visión, primero se presentó a los participantes una descripción general de los resultados del primer taller que detallaba el contexto actual tanto en Chile como en Perú, luego, los participantes se dividieron en dos grupos con el objetivo de identificar los aspectos clave que consideraban importantes para una visión del uso de infraestructura compartida en el año 2035.

Los grupos utilizaron la plataforma digital Mural para dibujar primero una impresión de su visión usando iconos, elementos de conexión y texto. Luego usaron notas adhesivas para presentar los aspectos clave usando la frase inicial "al año 2035 queremos ver...". Los grupos también identificaron indicadores que podrían usarse para evaluar el logro de la visión. Después del taller, se construyó un párrafo que sintetizaba los puntos principales de cada grupo y se entregó a los participantes para su retroalimentación.

La segunda actividad se centró en la identificación de riesgos, barreras y oportunidades económicas, sociales y ambientales asociadas a la visión propuesta. En la plataforma Mural se instalaron tres tablas para que los grupos adjuntaran notas adhesivas con los puntos considerados.

Taller 3: Desarrollar habilitadores claves para apoyar el avance hacia la visión

Objetivo: Construir escenarios basados en las barreras, riesgos y oportunidades e identificar los habilitadores para lograr la visión.

Para desarrollar los habilitadores claves, se construyó un diagrama que muestra las barreras, riesgos y oportunidades más relevantes del segundo taller como un camino entre el contexto actual y la visión propuesta. Los participantes de los talleres se dividieron en dos grupos y su tarea era identificar al menos un habilitador clave para cada barrera, riesgo y oportunidad que consideraran que podría emplearse para superar los riesgos y las barreras y aprovechar las oportunidades. Se sugirieron cinco categorías de habilitadores claves: política pública y regulación, financiamiento, gobernanza y colaboraciones, proyectos y estudios y acciones de la industria minera.

Taller 4: Organizar los habilitadores claves a través de plazos y prioridades para su desarrollo e implementación

Objetivo: Validar el concepto y generar una hoja de ruta para continuar impulsando el concepto

Para validar el concepto de infraestructura de suministro de agua compartida, se presentó el concepto incluyendo antecedentes, beneficios económicos, sociales y ambientales, las barreras y riesgos asociados. Luego se proporcionó una breve encuesta a los participantes del taller para conocer su percepción con respecto a la necesidad del concepto, su prioridad, su viabilidad y su interés en continuar apoyando el concepto.

Las siguientes preguntas se realizaron a través de la función de 'encuesta' de la plataforma Zoom:

- ¿Qué tan de acuerdo estás con la necesidad de implementación del concepto?
- ¿Qué tan prioritario es este concepto para la industria minera?
- ¿Qué tan factible considera el concepto en términos de implementación a gran escala?
- ¿Tienes interés en seguir una iniciativa para impulsar este concepto?

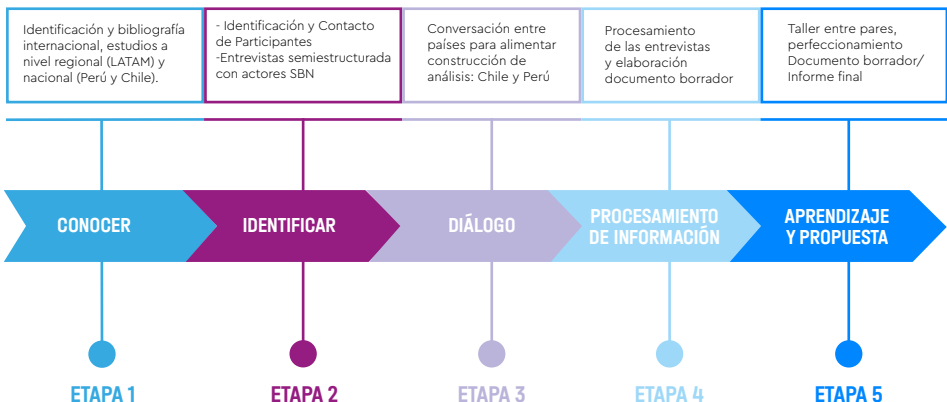
La segunda actividad se centró en desarrollar la hoja de ruta del concepto mediante la organización de los habilitadores clave desarrollados en el tercer taller a lo largo del tiempo y señalando la prioridad.

Se construyó una matriz en la plataforma digital, Mural, para permitir a los participantes del taller ubicar cada uno de los facilitadores clave en un marco de tiempo de corto, mediano o largo plazo y mostrar su prioridad.

Metodología utilizada – Grupo 2: Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)

Dada la naturaleza sistémica e integrada de la biodiversidad junto con las sociedades y sus actividades productivas, el entendimiento de las SbN debe incluir diversos elementos, considerando políticas públicas, instrumentos económicos, relación con comunidades, entre otros. Por ello realizamos un trabajo por etapas en donde revisamos y pusimos en común la literatura seminal sobre SbN, evaluando el desarrollo que ha tenido el concepto por parte de organizaciones como UICN, identificando lineamientos clave, oportunidades, falencias, y otras. Para ello se realizó análisis documental, el que fue complementado con entrevistas a actores clave de Chile y Perú, para finalmente recibir retroalimentación a documento borrador en un Taller de expertos ampliado, realizado vía zoom.

Figura 9: Pasos y elementos del proceso metodológico para el análisis de Soluciones Basadas en Naturaleza en el marco de la minería en la zona Andina de Chile y Perú.



Se identificaron aquellos valores principales de biodiversidad en Perú y Chile en el territorio donde incide mayoritariamente la minería Andina, focalizados en ecosistemas que puedan ser críticos y servir de refugios de agua y carbono. Esto con miras a que evaluar su potencial para el desarrollo SbN en el marco de la transformación de la actividad hacia una minería sensata¹ en la región. Para profundizar en el estado del arte de las SbN en ambos países, se realizó un análisis cualitativo, guiado por entrevistas a actores clave previamente definidos y que luego fue engrosado con aportes de los propios especialistas. Se identificó un universo de actores con experiencia en SbN, tanto en Chile como en Perú, que pertenecieran al mundo privado, academia y sociedad civil. Las entrevistas fueron realizadas en forma virtual, entre octubre y noviembre de 2021, éstas fueron semiestructuradas, con preguntas abiertas en base a un cuestionario previamente definido, posibles de responder en unos 30 a 45 minutos, y fueron grabadas para su posterior análisis. En las entrevistas de expertas/os profundizaron sobre el conocimiento y desafíos de las SbN en la región, su experiencia con la práctica de las SbN en contextos locales, con énfasis en el rol que la minería tiene sobre la conservación de la biodiversidad en los territorios que ocupa, y el que puede tener en la potencial aplicación de SbN.

El análisis de entrevistas se centró en reconocer temas recurrentes y materias que sobresalen, así como sus relaciones. Para ello se utilizó el software Atlas.ti que permite agrupar temáticas y jerarquizar prioridades. Las entrevistas permitieron identificar factores que directa e indirectamente están asociadas a las SbN, sus fortalezas, brechas y contexto en el que se inserta diseño e implementación. Este análisis fue complementado con estudio bibliográfico. En base a frecuencia de menciones se establecieron relaciones por temas los que fueron codificados con nombres específicos. Definimos códigos *a priori* como: Minería; SbN y Agua; SbN y Áreas Protegidas (AP), en materias relevantes a los objetivos y que fueron identificadas en las entrevistas. Se comparó frecuencia de menciones de materias relevantes entre Chile y Perú.

Los códigos permiten agrupar los contenidos de las entrevistas en temas o palabras clave para identificar prioridades o importancia del tema. Ello permite comparar la importancia que se da por cada grupo de entrevistados para cada tema, en este caso, de Perú y Chile.

Luego de análisis se elaboró un borrador de informe el cual fue enviado a los entrevistados/as, para su lectura, previo al taller realizado el 11 de enero del 2022, y cuyo análisis se expone en

¹ *sensu* Gudynas E. La construcción de otros futuros y las alternativas al extractivismo.

la sección de resultados. Este taller permitió abrir un espacio de conversación integrado y recoger la opinión de todos los especialistas de Chile y Perú con miras a mejorar nuestro análisis inicial.

Metodología utilizada – Grupo 3: Electromovilidad para una minería sin emisiones

Se creó una comunidad de expertos conocedores de la minería en la región Andina con representación de diferentes sectores involucrados, industrial, gubernamental y el social a través de centros de investigación. Junto con ellos se diseñó una serie de cuatro talleres que abordaron los principales desafíos para descarbonizar el sector y cómo hacerles frente. Los talleres fueron liderados por el Centro Mario Molina (CMM) y por el Centro de Estudios del Cobre y la Minería (CESCO). Los líderes realizaron un trabajo de investigación previo a los talleres con la finalidad de guiar la discusión hacia resultados concretos. Para ello se construyó una dinámica de grupo participativa, en el cuál se presenta un sondeo de ideas sobre las cuales se tienen interacciones directas de cada participante experto.

La serie de talleres parte identificando el desafío más inmediato, que es reducir las emisiones de combustión de Alcance 1 de la minería. Primeramente, se identificó la fuente de emisiones de escape más importante dentro de las operaciones mineras, los camiones mineros (CAEX). En segundo lugar, se caracterizó el nivel del desafío, en este caso, la cantidad de equipos operando en la región y su potencial para que estos sean reconvertidos o reemplazados por CAEX cero emisiones, a la vez que se identificaron aquellas alternativas tecnológicas al diésel. Por último, con ayuda de los expertos se mapearon a aquellas iniciativas que tuvieran relación a la descarbonización del sector, con la finalidad de promover sinergias que comparten este mismo objetivo. Se señala que, durante el proceso, se realizó una investigación sobre oferta actual de equipos mineros, la disponibilidad comercial de equipos cero emisiones, y las hojas de ruta tecnológicas de mediano y largo plazo de los proveedores para operar con otras fuentes de energía más limpias.

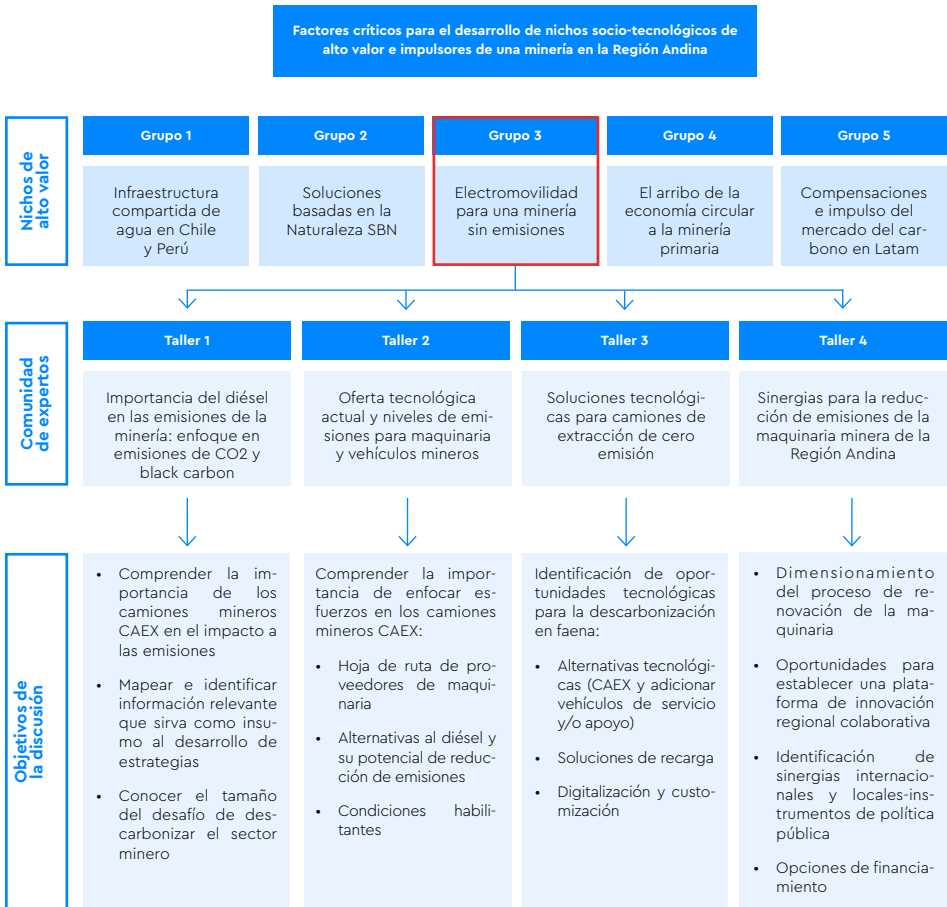


Figura 10: Pasos y elementos del proceso metodológico para el análisis de Electromovilidad.

Metodología utilizada – Grupo 4: Economía circular en la minería primaria

El estudio consideró tres fuentes de información para su realización:

- **Estado del Artes:** Esta etapa consistió en la revisión de informes y bases de datos de organismos nacionales e internacionales en el ámbito minería, minería del cobre, sostenibilidad y EC. Junto con lo anterior, se realizó una revisión selectiva de literatura científica indexada en la base de datos de Web of Science (WoS).

Toda esta información permitió contextualizar de la conversación respecto del arribo de la EC. a la minería del cobre primaria de la zona Andina, como también entregar evidencia para cada uno de los puntos que cubre el presente informe.

- **Talleres multiactor:** Estos fueron el eje central del proceso y consistió en la invitación a referentes en minería del cobre, sostenibilidad y EC. de empresas, gobierno, academia de Chile, Perú y Colombia, más representantes de organismos internacionales. A continuación, se puede observar la participación por países y sectores:

PAÍS	CANTIDAD	SECTOR	CANTIDAD
Chile	15	Industria	17
Perú	7	Gobierno	3
Colombia	3	Academia	4
Organismo internacional	1	Organismo internacional	1
Total	25	Total	25

Tabla 13: Participación en talleres en por países y sectores

Se realizaron un total de cuatro talleres:

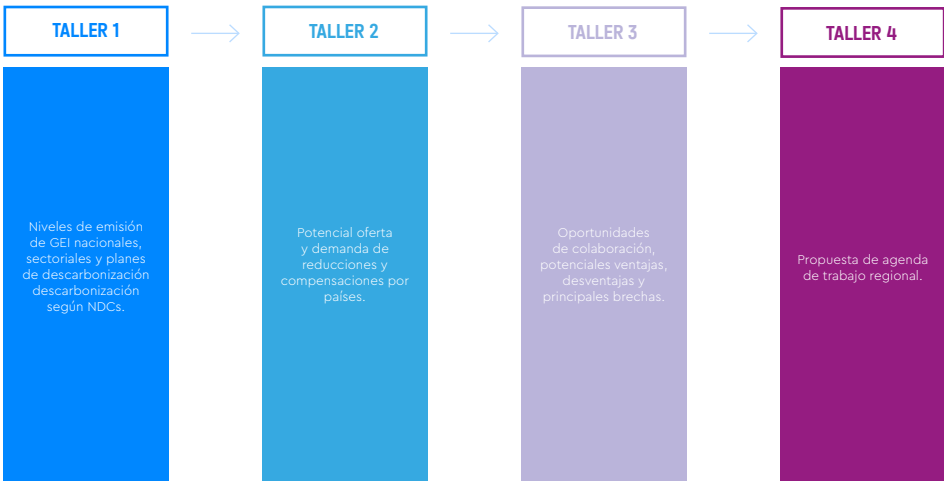
- Taller 1: Identificación de desafíos
- Taller 2: Identificación de tecnologías y soluciones
- Taller 3: Identificación de tecnologías y barreras
- Taller 4: Síntesis, acuerdos y recomendaciones

Para facilitar el proceso de conversación entre los y las participantes, se utilizó el programa online MIRO (www.miro.com) en el cual se diseñaron una serie de matrices que permitieron guiar la conversación. A continuación, se puede ver una figura de muestra que corresponde al taller N°2: "Identificando barreras para impulsar la circularidad de la minería primaria en la zona Andina":

Metodología utilizada – Grupo 5: Clubes de carbono para la compensación de emisiones

Se desarrollaron los siguientes 4 talleres de discusión y trabajo:

Figura 11: Pasos y elementos del proceso metodológico para el análisis de Clubes de carbono.



Cada taller se estructuró de la siguiente forma

TALLER 1

- Marco teórico;
- Metodología de trabajo;
- Contexto general de las emisiones de GEI en los países de la región Andina (Colombia, Chile y Perú).
- Compromisos de reducción de emisiones y medidas propuestas;
- Discusión sobre el contexto, caracterización y validación de los supuestos;
- Comentarios de los participantes.

TALLER 2

- Revisión de contexto general;
- Ajustes de estimaciones de demanda potencial de reducciones;
- Mayores brechas y barreras tecnológicas para sensibilización de compromisos;
- Oferta potencial de reducciones y compensaciones;
- Discusión sobre caracterización y validación de los supuestos;
- Comentarios de los participantes.

TALLER 3

- Exploración de los principales beneficios, barreras y desafíos para el uso de compensaciones de CO₂ a nivel regional;
- Análisis de complementariedades sectoriales y temporales;
- Identificación de brechas y desafíos del contexto normativo;
- Discusión sobre supuestos, pros y contras;
- Comentarios de los participantes.

TALLER 4

- Propuesta de convergencia a desafíos previamente identificados;
- Agenda de trabajo para reducción las brechas;
- Mecanismos de colaboración;
- Prioridades, directrices de acción, instalación de capacidades y recomendaciones para una agenda estratégica;
- Comentarios de los participantes.

SOBRE GESCO

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.

