



“Estudio de emisiones de la cadena de suministro de la minería en Chile con el objetivo de obtener información que permita avanzar en reducir emisiones de la cadena de suministros de insumos y servicios de la minería”

Informe Final

Proyecto Eficiencia Energética en Minería

Enero 2023





Edición:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn • Alemania

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn • Alemania

Nombre del proyecto:

Eficiencia energética en la
minería, materias primas y
clima

Marchant Pereira 150
7500654 Providencia
Santiago • Chile

T +56 22 30 68 600
I www.giz.de

Responsable:

Rodrigo Vásquez

En coordinación:

Ministerio de Energía de Chile
Alameda 1449, Pisos 13 y 14,
Edificio Santiago Downtown II
Santiago de Chile

T +56 22 367 3000
I www.minenergia.cl

Fotografías e imágenes:

Ecodesarrollo, JHG, Coloma
Consultores (imagen 2,
página 1)

Título:

Estudio de emisiones de la cadena de suministro de la minería en Chile con el objetivo de obtener información que permita avanzar en reducir emisiones de la cadena de suministros de insumos y servicios de la minería.

Registro de Propiedad Intelectual Inscripción: ISBN: 978-956-8066-48-2.

Primera edición digital: Enero 2023.

Título: Estudio de emisiones de la cadena de suministro de la minería en Chile con el objetivo de obtener información que permita avanzar en reducir emisiones de la cadena de suministros de insumos y servicios de la minería)

Autor(es): GIZ, Ecodesarrollo, JHG.

Revisión: GIZ, Javier Hueichapán.

Edición: GIZ.

Santiago de Chile, 2023.

51 páginas.

Autor(es):

Diego Lizana, Alejandro Avello, Ecodesarrollo,
Raúl Guzmán, Carlos Micolich. JHG.



Aclaración:

Esta publicación ha sido preparada por encargo del proyecto “Eficiencia energética en la minería materias primas y clima” implementado por el Ministerio de Energía y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania. El proyecto se financia a través de la Iniciativa internacional sobre el clima (IKI) del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania - BMU. Sin perjuicio de ello, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GIZ. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GIZ.

Santiago de Chile, Enero 2023



Resumen Ejecutivo

La Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional, GIZ, en el marco del proyecto “Eficiencia energética en la minería, materias primas y clima” busca profundizar el conocimiento en la cadena de suministros de la minería en materia de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), aportando con una herramienta simple y adaptable a los principales insumos y servicios adquiridos actualmente por el sector minero.

El principal cambio de la herramienta con ejercicios anteriores planteados por la industria está en la mirada desde dónde se desarrolla, poniendo como eje central al proveedor y los productos que ellos comercializan al sector minero, con énfasis en productos que impactan mayormente en la Huella de Carbono de la minería chilena.

Es importante que los proveedores y prestadores de servicios de la minería chilena, comprendan los beneficios y ventajas competitivas que existen, al avanzar en la descarbonización de sus procesos, sobre todo teniendo en cuenta los compromisos crecientes de la industria minera en reducir sus emisiones asociadas a la cadena de suministro (Alcance 3). En este sentido, el estudio realizado y todos los documentos que lo conforman, pretenden servir de apoyo para aquellos proveedores que comercializan sus productos y servicios para la industria minera.

A nivel de Estado del Arte en materia de descarbonización de la cadena de suministro en faenas mineras, se identifica que el desarrollado a la fecha se encuentra en una etapa temprana, probablemente a la espera de la definición de acciones de cuantificación de emisiones de Alcance 3 de las Compañías Mineras, como también compromisos formales a nivel nacional e internacional que vayan definiendo durante los próximos años.

Para el desarrollo de la herramienta de cuantificación de emisiones de productos o servicios, se consideraron los principales insumos y servicios que impactan en el Alcance 3 de la Huella de una Compañía Minera de Cobre, litio, potasio y yodo en Chile (bajo regla de Pareto), siendo estos: Neumáticos, Producción de Explosivos, Producción de combustibles, Ácido sulfúrico, Bolas de Molienda, Cal, Carbonato de sodio, Transporte terrestre y marítimo de insumos, Transporte terrestre y aéreo de trabajadores, y Transporte terrestre y marítimo de productos (Concentrado y cátodos de cobre, Carbonato e Hidróxido de litio, Cloruro de potasio, Sulfato de potasio y Yodo), sin embargo, se reconoce la necesidad de que todo proveedor de insumos o servicios avance en la línea de cuantificar su impacto.

En este ámbito, los documentos y herramientas desarrolladas permitirán a todo proveedor conocer conceptos clave y comprender las metodologías de cálculo recomendadas para avanzar en materia de cuantificación de emisiones de sus productos o servicios, como también realizar una Autoevaluación cualitativa para entender el estado de su organización en materia de gestión de Gases de Efecto Invernadero.

Con la finalidad de avanzar en la búsqueda de soluciones que reduzcan las emisiones de Gases de Efecto Invernadero de los proveedores, se analizaron distintas medidas de reducción posibles de ser implementadas por las empresas, seleccionándose tres medidas que se estima podrían tener mayor impacto: Autogeneración de energía eléctrica en base a Energía Renovable, Uso de Calderas eléctricas con energía eléctrica generada vía Energía Renovable y Uso de buses eléctricos para transporte de personal. En base a estas iniciativas se desarrolló una “Herramienta de Cuantificación

de Costo de Abatimiento”, la cual permite obtener una primera evaluación de las medidas aplicada a la empresa proveedora que la utiliza.

Dentro de las recomendaciones principales que se desprenden del estudio destaca la necesidad de que los proveedores estrechen vínculos con sus clientes mineros, de esta forma poder aunar esfuerzos para trabajar de manera sostenida y efectiva en las condiciones necesarias para avanzar en la implementación de tecnologías más limpias. Es importante tener una visión integral del proceso, si los proveedores logran reducir sus emisiones de GEI en sus productos y servicios, esto repercute directamente y de forma positiva en el Alcance 3 de la minería chilena. Por ende, la recomendación final es que se debe buscar sinergia entre proveedores y empresas mineras para avanzar en la descarbonización de la industria.

Además, se recomienda disponer de un método claro y consistente para evaluar y verificar las emisiones de gases de efecto invernadero de los productos a lo largo de su ciclo de vida. Esto permite resultados más estandarizados y comparables entre proveedores que comercialicen un mismo producto.

Los proveedores que avancen tempranamente en la cuantificación de sus emisiones tanto corporativas (considerando medición de Alcance 1, 2 y 3 de la Huella de Carbono) como de sus productos y servicios, tendrán un factor diferenciador importante en una industria que avanza a paso firme en la reducción de sus emisiones de GEI.

Por último, es importante avanzar en la Identificación de oportunidades de reducción en todas las fases del ciclo de vida de un producto. En este ámbito, el rol del sector minero es clave para traccionar a sus proveedores hacia una industria baja en emisiones de Gases de Efecto Invernadero, generando planes de reducción amplios y colaborativos.



Índice de contenidos

1.	Introducción	1
2.	Estado del arte: Descarbonización de la cadena de suministro.....	2
2.1.	Conceptos importantes	2
2.1.1.	Gases de efecto invernadero	2
2.1.2.	Alcances.....	2
2.1.3.	Huella de Carbono.....	3
2.1.4.	Diferencia entre Huella de Organización y de Producto	4
2.2.	Metodologías de cálculo de emisiones según objetivo de medición.....	4
2.2.1.	GHG Protocol Alcance 3.	5
2.2.2.	ISO 14.064	8
2.2.3.	Principales metodologías para el cálculo de Huella de Productos.....	10
2.3.	Estadísticas de empresas mineras que calculan el Alcance 3	12
2.3.1.	Metodologías de cálculo	12
2.3.2.	Límites de inventario.....	13
2.3.3.	Reporte de emisiones de Alcance 3	14
2.3.4.	Metas y compromisos de reducción de emisiones de Alcance 3.....	15
3.	Emisiones de la cadena de suministro en la minería en Chile	16
3.1.	Minería del cobre	17
3.2.	Minería no metálica	19
3.3.	Factores de emisión	22
4.	Desarrollo de Herramienta de Autodiagnóstico para proveedores de la minería del Cobre, Litio, Potasio y Yodo y Guía Complementaria	24
5.	Medidas para reducción de Huella de CO ₂ e en la cadena de suministro de la minería	24
5.1.	Propuesta de medidas que los proveedores podrían implementar para reducir su HdC	24
5.2.	Listado priorizado de medidas de abatimiento de emisiones.	26
5.3.	Oportunidades de mejoras seleccionadas para reducción de emisiones de proveedores del sector minería	30
5.4.	Indicador Costo Beneficio (USD/emisiones abatidas).....	32
5.5.	Herramienta para la determinación del costo de abatimiento de las medidas seleccionadas y Guía complementaria para su uso	32
5.6.	Plan de implementación de medidas prioritarias.	37
6.	Conclusiones y Recomendaciones	40
7.	Referencias.....	43



Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación para determinar las emisiones de un insumo en un período de tiempo.	16
Ecuación 2. Fórmula para el calcular el costo de abatimiento.	32

Índice de figuras

Figura 1. Descripción general de los alcances y las emisiones de GHG Protocol en la cadena de valor.....	3
Figura 2. Etapas del ciclo de vida de un producto. Elaboración propia.	4
Figura 3. Descripción general de los pasos en la contabilidad y reporte de Alcance 3 según el Estándar de GHG Protocol.	5
Figura 4. Actividades aguas arriba y aguas abajo de un Producto A.....	7
Figura 5. Relación entre normas de GEI de la familia ISO 14.060.	9
Figura 6. Descripción general de los pasos en la contabilidad e informes de productos según el Estándar de GHG Protocol.	11
Figura 7. Relación entre Estándar Corporativo, de Alcance 3 y de Producto para una empresa que fabrica un producto A.	11
Figura 8. Ejemplo de Cadena de Suministro de un producto desde la perspectiva del proveedor. Fuente: Elaboración propia.	17
Figura 9. Límite de batería de insumos y servicios del cobre. Fuente: Elaboración propia en base a (BID, 2022).	18
Figura 10. Límite de batería de insumos y servicios del litio. Fuente: Elaboración propia.	20
Figura 11. Límite de batería de insumos y servicios del potasio. Fuente: Elaboración propia.	20
Figura 12. Límite de batería de insumos y servicios del yodo. Fuente: Elaboración propia.	21
Figura 13. Interfaz Excel de la herramienta que calcula el Costo de abatimiento de proyectos.....	33
Figura 14. Interfaz de la herramienta donde se ingresan costos unitarios de fuentes energéticas.	33
Figura 15. Interfaz donde se ingresan antecedentes para evaluar la medida de autogeneración en base a ER.	34
Figura 16. Interfaz donde se ingresan antecedentes para evaluar la medida de uso de Calderas eléctricas.	34
Figura 17. Interfaz donde se ingresan antecedentes para evaluar la medida de uso de buses eléctricos.	35
Figura 18. Interfaz de la herramienta donde se presentan los resultados generales.....	36

Índice de gráficos

Gráfico 1. Emisiones de GEI por alcance en las empresas mineras a) Anglo American, b) BHP, c) Collahuasi y d) SQM.	14
Gráfico 2. Ejemplo de Curva de Costo de Abatimiento que entrega la herramienta de las medidas seleccionadas.	37



Índice de tablas

Tabla 1. Descripción de categorías aguas arriba del Alcance 3 según Estándar Corporativo de la Cadena de Valor.	7
Tabla 2. Descripción de categorías aguas abajo del Alcance 3 según Estándar Corporativo de la Cadena de Valor.	8
Tabla 3. Comparación en la forma de reportar las emisiones de GEI entre GHG Protocol e ISO 14.064.	10
Tabla 4. Benchmarking de empresas mineras que reportan las emisiones de Alcance 3 con la metodología de GHG Protocol.	12
Tabla 5. Límites de inventario de empresas mineras identificadas para el cálculo de Emisiones de Alcance 3 (EA3).	13
Tabla 6. Metas publicadas de Alcance 3 de empresas mineras.	15
Tabla 7. Proveedores de insumos y servicios seleccionados para la minería del cobre.	18
Tabla 8. Proveedores de insumos y servicios seleccionados para la minería no metálica (litio, potasio y yodo).	21
Tabla 9. Factores de emisión de los insumos principales en emisiones de Alcance 3 para la minería en Chile.	22
Tabla 10. Factores de emisión de los servicios principales en emisiones de Alcance 3 para la minería en Chile.	23
Tabla 11. Listado de medidas de reducción de Huella de CO_2e en proveedores.	25
Tabla 12. Escala de puntajes y ponderación para evaluación cualitativa de las medidas de reducción de emisiones.	27
Tabla 13. Evaluación cualitativa de las medidas de reducción de emisiones.	28
Tabla 14. Priorización de las medidas de reducciones de emisiones de CO_2e propuestas.	30



1. Introducción

La Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional, GIZ, en el marco del proyecto “Eficiencia energética en la minería, materias primas y clima” ha ejecutado el Estudio de emisiones de la Red de eficiencia energética y reducción de emisiones en minería en Chile, en el cual se han considerado emisiones directas producidas por quema de combustibles en las faenas y procesos mineros, así como las emisiones indirectas generadas por la electricidad consumida y comprada.

En paralelo, instituciones como COCHILCO¹, Ministerio de Energía², Ministerio de Medio Ambiente³⁴ han estado publicando estudios y políticas que tienen relación con las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y el rol que juega el sector para apoyar la lucha contra el Cambio Climático.

A su vez, el sector minero, representado por el Consejo Minero⁵ y SONAMI⁶ han hecho esfuerzos por mejorar la información y exponer la importancia del tema de las emisiones de Alcance 3 de la Huella de Carbono de la Minería, específicamente en la Cadena de Suministro.

Esfuerzos individuales como es el caso de Minera Collahuasi o Codelco, respecto a tener una calculadora de emisiones para evaluar a sus proveedores, también van en la línea de mejorar la información existente y empezar a mover a la industria hacia una zona aún poco explorada.

El año 2021, el Banco Iberoamericano de Desarrollo (BID) a través de una alianza entre Corporación de Alta Ley y las consultoras Ecodesarrollo, Karunhen y el Clúster Minero Andino con apoyo de la Asociación de Proveedores Industriales de la Minería (Aprimin), desarrollaron una calculadora de Huella de Carbono de Alcance 3 para la minería del Cobre y un completo análisis sobre el estado del tema a nivel de empresas mineras y medidas orientativas para que las empresas proveedoras puedan reducir sus emisiones y apoyar la lucha contra el Cambio Climático.⁷

Con este marco de referencia, GIZ busca profundizar en la cadena de suministros de la minería, aportando con una herramienta simple de usar y adaptable a cada compañía minera o proveedora que permita avanzar en el conocimiento de las emisiones de insumos o servicios adquiridos actualmente por el sector minero.

El principal cambio de la herramienta con ejercicios anteriores planteados por la industria está en la mirada desde dónde se desarrolla, poniendo como eje central al proveedor y los productos que ellos comercializan al sector minero, con énfasis en productos que impactan mayormente en la Huella de Carbono de la minería chilena.

¹ [Emisiones de gases de efecto invernadero directos e indirectos en la minería del cobre al año 2019.](#)

² [Minería 2050. Política Nacional Minera Marzo 2020 – Ministerio de Minería de Chile.](#)

³ [Informe del Inventario Nacional de Chile 2020. Inventario de gases de efecto invernadero y otros contaminantes climáticos 1990-2018.](#)

⁴ [4to Informe Bienal de actualización de Chile sobre Cambio Climático.](#)

⁵ [Cifras Actualizadas de la Minería – Abril 2022 – Consejo Minero.](#)

⁶ [Memoria Anual 2020-2021 – Sociedad Nacional de Minería.](#)

⁷ [Guía sobre Emisiones en la Cadena de Suministros de la Minería – BID 2022.](#)

2. Estado del arte: Descarbonización de la cadena de suministro

En la parte inicial de esta sección se presentan conceptos clave que los distintos proveedores de la minería deben comprender para medir y gestionar sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y Huella de Carbono (HdC).

Luego, se indican las metodologías más utilizadas a nivel mundial para la cuantificación de las emisiones asociadas a la cadena de suministro de una organización considerando el enfoque corporativo ⁸(Alcance 3).

Finalmente, se expone en base a reportes y estadísticas publicadas de empresas mineras (nacional e internacional), la metodología que éstas ocupan para la contabilización y reporte de emisiones de Alcance 3, sus límites de inventario, relación de emisiones por alcance y compromisos de descarbonización asociados a la cadena de suministro.

2.1. Conceptos importantes

2.1.1. Gases de efecto invernadero

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son aquellas que provienen de las actividades o procesos habituales del ser humano. Se denominan GEI ya que contribuyen, en distintos grados, al efecto invernadero, es decir son capaces de atrapar el calor en la atmósfera. El listado de estos gases de acuerdo con el Protocolo de Kioto⁹ es: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos ($HFCs$), perfluorocarbonos ($PFCs$), hexafluoruro de azufre (SF_6) y trifluoruro de nitrógeno (NF_3).

2.1.2. Alcances

GHG Protocol, introduce el concepto de alcance, con el propósito de delinear las fuentes de emisiones directas e indirectas y ayudar al reporte y contabilidad de GEI. Las emisiones generadas pueden ser clasificadas en tres, según los límites de la organización (WBCSD & WRI, 2004)¹⁰:

- **Alcance 1:** Emisiones de GEI directas que ocurren de fuentes que son de propiedad o controladas por la empresa (ej. combustión de calderas, vehículos, etc.).
- **Alcance 2:** Emisiones de GEI indirectas asociadas a la generación de energía adquirida y consumida por la empresa.
- **Alcance 3:** Emisiones de GEI indirectas que son consecuencia de las actividades de la empresa, pero que ocurren en fuentes que no son propiedad ni están controladas por la empresa (cadena de valor).

⁸ [Huella de carbono Ministerio del Medio Ambiente](#)

⁹ [Protocolo de Kioto UNFCCC](#)

¹⁰ [A Corporate Accounting and Reporting Standard](#)

La **Figura 1** describe la interacción y actividades involucradas en cada uno de los alcances de acuerdo con la metodología de GHG Protocol (WBCSD & WRI, 2011a) Haga clic o pulse aquí para escribir texto.¹¹.

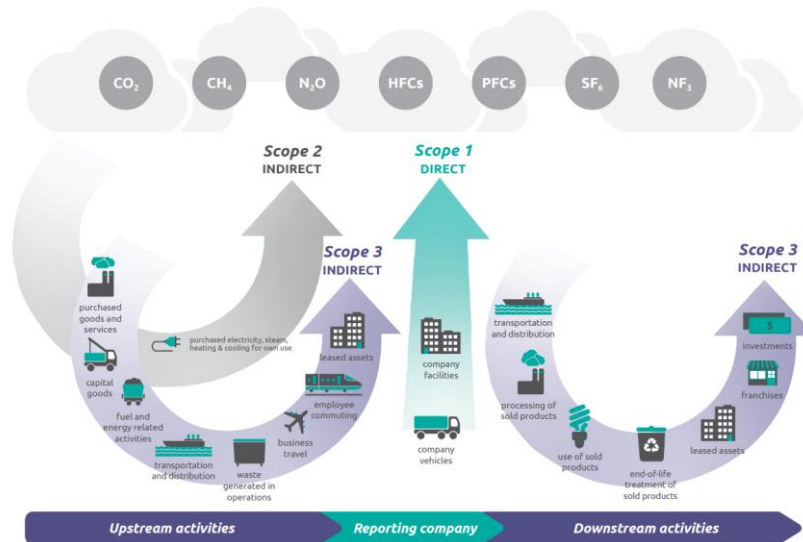


Figura 1. Descripción general de los alcances y las emisiones de GHG Protocol en la cadena de valor.

2.1.3. Huella de Carbono

La Huella de Carbono es un indicador que tiene el objetivo de medir la cantidad de GEI emitidos directa o indirectamente a la atmósfera al realizar una acción determinada, se puede calcular a todo individuo, organización, evento o producto. Su unidad de medida es el dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}). Este concepto y metodología (con ajustes de criterio según organización) puede ser aplicado a cualquier organización, independiente del rubro, por lo que, para efecto del presente estudio, aplica tanto para las compañías mineras como para proveedores de insumos o servicios.

La **Figura 2** muestra las actividades que se requieren analizar para determinar la Huella de Carbono que tiene la fabricación de un determinado producto o la prestación de un servicio en concreto. Las actividades consideran todas las etapas del ciclo de vida, es decir desde la entrada de materias primas hasta la gestión de los desechos resultantes.

¹¹ [Corporate Value Chain \(Scope 3\) Accounting and Reporting Standard](#)



Figura 2. Etapas del ciclo de vida de un producto. Elaboración propia.

2.1.4. Diferencia entre Huella de Organización y de Producto

La principal diferencia entre la huella Organizacional y de Producto está dada por los límites definidos en su cálculo, mientras para la primera se considera lo que ocurre dentro de ella, para la segunda es necesario considerar el ciclo de vida.

El ciclo de vida de un producto comienza con la extracción de las materias primas necesarias para la fabricación de dicho producto y termina cuando ese producto finaliza su vida útil y es desechado por el usuario final. Entre la fabricación y su disposición final ocurren las demás etapas: transporte, fabricación, venta y uso.

Otra diferencia entre ambas Huellas está en el alcance temporal. Cuando trabajamos con la Huella de Carbono de la empresa, el cálculo se hace a partir de los datos recopilados durante un año (habitualmente un año calendario), mientras que para la huella de producto el cálculo se hace en base a lo que se llama "unidad funcional", la cual puede ser una unidad de producto (Ej. una caja de jugo) o una cantidad de éste (1 tonelada de papel) Haga clic o pulse aquí para escribir texto. (Enviall.es, 2017)¹².

Para efecto de este estudio, esta diferencia es importante, puesto que uno de los objetivos es que las empresas proveedoras de la minería puedan avanzar en conocer las emisiones de Gases de Efecto Invernadero de sus productos, los cuales son comercializados a las empresas mineras. En un futuro cercano, el ideal sería que cada producto o servicio comercializado pueda indicar las emisiones de CO_{2e} que significó su fabricación o desarrollo.

2.2. Metodologías de cálculo de emisiones según objetivo de medición

Existen diversas metodologías de cálculo de emisiones dependiendo del objetivo que se persigue, para efecto del cálculo de emisiones Organizacionales las principales normativas aplicadas corresponden al Estándar Corporativo de Cuantificación y Reporte de Emisiones de GHG Protocol, la cual tiene un complemento específico asociado a la cuantificación del Alcance 3, es importante

¹² [Análisis de ciclo de vida](#)

destacar que estos estándares son aplicables a todo tipo de industrias y empresas, puesto que busca entregar datos referentes a la organización y las emisiones que genera en su día a día.

Por otro lado, tenemos las metodologías asociadas a determinar el Ciclo de Vida (o parte de éste) de los productos, las cuales permiten entender con mayor claridad las emisiones generadas durante todo el proceso de fabricación de un producto, su transporte y uso, incluso hasta su disposición final (para el caso de este estudio se buscó cubrir hasta el uso de los productos comercializados por los proveedores de minería).

A continuación, se explican brevemente las principales metodologías utilizadas por las Compañías Mineras para el cálculo de emisiones de Alcance 3 y los avances en la materia respecto al tema y las metodologías asociadas al cálculo de emisiones de productos, las cuales sirvieron para entender y desarrollar una herramienta de cálculo de emisiones de productos y servicios que comercializan las empresas proveedoras de la minería.

2.2.1. GHG Protocol Alcance 3.

La iniciativa del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero es una alianza de múltiples partes interesadas de empresas, organizaciones no gubernamentales (ONGs), gobiernos y otras entidades, convocada por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por sus siglas en inglés), una ONG medioambiental con sede en EE. UU. y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD, por sus siglas en inglés). El principal objetivo de esta iniciativa es el desarrollo de estándares, guías y herramientas de contabilidad e informes de gases de efecto invernadero (GEI) que sean aceptados internacionalmente y que ayuden a las empresas a preparar un inventario de emisiones (WBCSD & WRI, 2004)¹³.

El Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte de la Cadena de Valor (Alcance 3) es el complemento del Estándar Corporativo de Cuantificación y Reporte de Emisiones de GHG Protocol (Alcance 1 y Alcance 2) que incluye las emisiones indirectas resultantes de las actividades de la cadena de suministro de una empresa.

Actualmente, los estándares, guías y herramientas que dispone GHG Protocol son las más utilizadas por las empresas para la contabilidad de sus emisiones de GEI (Alcance 1, 2 y 3) y también la base para la publicación de otras metodologías de reporte, como la ISO 14.064.

La **Figura 3** indica los pasos que una empresa debe seguir para desarrollar un inventario de Alcance 3 y también los capítulos en dónde se describe cada una de las etapas en el Estándar de GHG Protocol (WBCSD & WRI, 2011a)¹⁴.

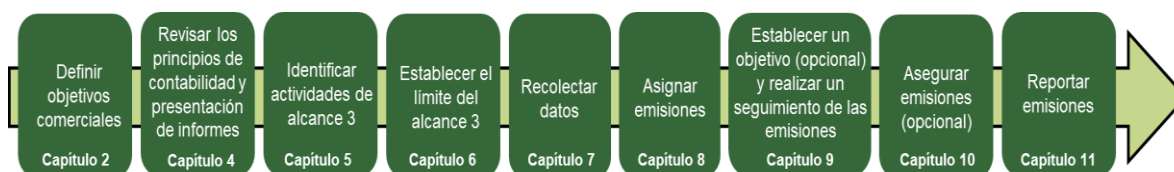


Figura 3. Descripción general de los pasos en la contabilidad y reporte de Alcance 3 según el Estándar de GHG Protocol.

¹³ [A Corporate Accounting and Reporting Standard](#)

¹⁴ [Corporate Value Chain \(Scope 3\) Accounting and Reporting Standard](#)

Uno de los pasos principales es identificar las actividades de Alcance 3, para ello es imprescindible definir previamente el límite de inventario de la empresa que reporta, el cual se constituye del límite organizacional y operacional (WBCSD & WRI, 2004)¹⁵.

El **límite organizacional** busca seleccionar un enfoque para consolidar sus emisiones de GEI, es decir, definir claramente qué aspectos se incluirán en la medición de emisiones. Este proceso es más complejo para empresas grandes y ubicadas en distintos lugares y/o con diferentes filiales, con regímenes de sociedades o franquicias. Las empresas deben utilizar un enfoque de consolidación consistente en los inventarios de Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3. La selección de un enfoque de consolidación afecta a qué actividades en la cadena de valor de la empresa se clasifican como emisiones directas (Alcance 1) y como emisiones indirectas (Alcance 2 y 3). Existen tres opciones de límites organizacionales:

- **Participación de capital:** Una empresa contabiliza las emisiones de GEI de las operaciones de acuerdo con su participación en el capital social en la operación.
- **Control financiero:** Una empresa representa el 100% de las emisiones de GEI sobre las que tiene control financiero. No contabiliza las emisiones de GEI de las operaciones en las que tiene participación, pero no tiene control financiero.
- **Control operacional:** Bajo el enfoque de control operativo, una empresa representa el 100% de las emisiones de GEI sobre las que tiene control operativo. No contabiliza las emisiones de GEI de las operaciones en las que tiene participación, pero no tiene control operativo.

El **límite operacional o de batería** define el alcance de las emisiones directas e indirectas para operaciones que caen dentro del límite organizacional establecido de la empresa. En otras palabras, implica identificar las actividades asociadas a sus operaciones y clasificarlas en emisiones directas (Alcance 1) o indirectas (Alcance 2 y 3) y seleccionar cuáles serán las que incluya en el análisis de sus emisiones de GEI. Este límite es determinado por la propia organización en base a las recomendaciones de la Guía, usualmente la calidad y cantidad de información disponible por parte de la organización es determinante para su definición.

Una vez que se define el límite de inventario de la empresa que reporta, es posible comprender las actividades que producen emisiones de Alcance 3, las cuáles según el Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte de la Cadena de Valor, se deben reportar en 15 categorías, en dónde las primeras 8 involucran actividades aguas arriba de una organización y las categorías restantes, implican actividades aguas abajo. Los términos aguas arriba y aguas abajo, están asociados a las etapas del ciclo de vida de un producto, como se observa en la **Figura 4**. En particular, el concepto aguas arriba comprende las actividades de preprocesamiento de un producto, mientras que el término aguas abajo, hace alusión a las etapas posteriores del procesamiento (distribución, uso y fin de vida) (Green Solutions, n.d.)¹⁶.

¹⁵ [A Corporate Accounting and Reporting Standard](#)

¹⁶ [Gestión de Huella de Carbono de Producto](#)



Figura 4. Actividades aguas arriba y aguas abajo de un Producto A.

En la **Tabla 1** se detallan las categorías que implican actividades aguas arriba según el Estándar de Alcance 3 de GHG Protocol.

Tabla 1. Descripción de categorías aguas arriba del Alcance 3 según Estándar Corporativo de la Cadena de Valor.

Categoría	Descripción
1. Adquisición de bienes y servicios	Emisiones de la extracción, producción y transporte de bienes y servicios comprados o adquiridos por la compañía en el año de reporte, no contabilizadas en las categorías 2 y 8.
2. Bienes capitales	Emisiones de la extracción, producción y transporte de bienes de capital comprados o adquiridos por la empresa informante en el año de reporte.
3. Actividades relacionadas a energía y combustible (excluidas en alcance 1 o 2)	Emisiones de la extracción, producción y transporte de combustibles y energía comprados o adquiridos por la empresa informante en el año de reporte (excluidas en alcance 1 o 2). Incluye combustibles consumidos en generación de energía y pérdidas de Transporte y Distribución.
4. Transporte y distribución aguas arriba	Emisiones del transporte y distribución de productos y servicios comprados por la empresa en el año de reporte (en vehículos e instalaciones que no son propiedad ni están controlados por ella).
5. Desechos generados en operaciones	Emisiones de la eliminación y tratamiento de residuos generados en las operaciones de la empresa en el año de reporte (en instalaciones que no son propiedad de la empresa ni están controladas por ella).
6. Viajes de negocios	Emisiones del transporte de empleados para actividades relacionadas con el negocio durante el año de reporte (en vehículos que no son propiedad de la empresa informante ni son operados por ella).
7. Desplazamiento de trabajadores/as	Emisiones del transporte de empleados entre sus hogares y sus lugares de trabajo durante el año de reporte (en vehículos que no son propiedad de la empresa informante ni son operados por ella).
8. Activos arrendados aguas arriba	Emisiones de la operación de activos arrendados por la empresa que reporta (arrendatario) en el año de reporte y no contabilizados en el alcance 1 y 2.

Fuente: Elaboración propia con información de GHG Protocol.

Por otro lado, las categorías que involucran actividades aguas abajo de una organización se indican en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Descripción de categorías aguas abajo del Alcance 3 según Estándar Corporativo de la Cadena de Valor.

Categoría	Descripción
9. Transporte y distribución aguas abajo	Emisiones del transporte y distribución de productos vendidos por la empresa en el año del reporte al consumidor final, incluida la venta minorista y el almacenamiento (en vehículos e instalaciones que no son propiedad ni están controlados por la empresa informante).
10. Procesamiento de productos comercializados	Emisiones del procesamiento de productos intermedios vendidos en el año de reporte por empresas aguas abajo (ej.: manufactura).
11. Uso de productos comercializados	Emisiones del uso final de los bienes y servicios vendidos por la empresa en el año de reporte.
12. Disposición final de los productos	Emisiones de la eliminación y tratamiento de residuos de productos vendidos por la empresa al final de su vida útil.
13. Activos arrendados aguas abajo	Emisiones de la operación de activos propiedad de la empresa que reporta (arrendador) y arrendados a otras entidades en el año de reporte, no incluidos en el alcance 1 y 2.
14. Franquicias	Emisiones de la operación de franquicias en el año de reporte, no incluidas en el alcance 1 y 2.
15. Inversiones	Emisiones de la operación de inversiones en el año de reporte, no incluidas en el alcance 1 y 2.

Fuente: Elaboración propia con información de GHG Protocol.

Es importante mencionar que la empresa que reporta sus emisiones de Alcance 3 lo debe hacer según las Categorías descritas en la **Tabla 1** y **Tabla 2** que le aplican o que es capaz de medir (por información existente al momento de la cuantificación). Es decir, puede no reportar todas las categorías descritas, sin embargo, es su obligación justificar la exclusión de ellas. Por lo general, las organizaciones van mejorando su reportabilidad en la medida que mejora la calidad de información producto de la madurez de la medición en el tiempo.

2.2.2. ISO 14.064

La norma ISO 14.064 es un estándar desarrollado por la Organización Internacional de Normalización que establece las bases para acreditar y garantizar los cálculos realizados para el reporte de los GEI de las organizaciones y que se utiliza como metodología para calcular la huella de carbono. Su objetivo principal es otorgar credibilidad y transparencia a los informes de emisión de gases de efecto invernadero de una organización. Su primera edición fue publicada en 2006, sin embargo, en la actualidad la versión del 2019 es la única vigente desde enero de 2022.

La norma se divide en tres partes ISO 14.064-1, ISO 14.064-2 e ISO 14064-3. Además, se relaciona con las normas ISO 14.065, ISO 14.066 e ISO 14.067. Donde las primeras dos se centran en requisitos y competencias de equipos de validación, y la última, define principios para la

cuantificación de la huella de carbono de los productos (HCP). La **Figura 5** indica la relación que existe entre las normas de la familia ISO 14.064 (ISO, 2019)¹⁷.

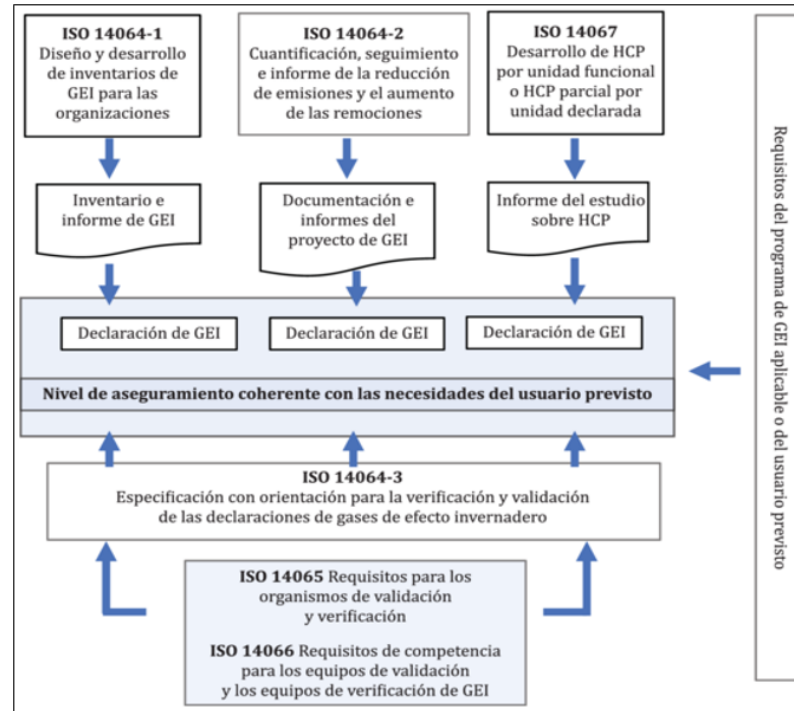


Figura 5. Relación entre normas de GEI de la familia ISO 14.060.

Es importante tener en cuenta que los aspectos clave para realizar un inventario de gases de efecto invernadero según la norma ISO 14.064 son generalmente consistentes con, y en la mayoría de los casos se derivan de, aquellos identificados por el Estándar de contabilidad e informes corporativos de GHG Protocol. Es relevante comprender que son documentos complementarios, es decir, las normas ISO identifican que hacer y el Protocolo de GEI explica cómo hacerlo.

En la **Tabla 3** se puede observar que las metodologías de GHG Protocol e ISO 14.064-1 reportan de forma general las mismas fuentes de emisiones, la diferencia principal es la forma en que clasifican y reportan los GEI, ya que en el caso de la metodología ISO las emisiones indirectas de la cadena de valor se reportan en cuatro categorías.

¹⁷ [ISO 14064-2:2019](#)

Tabla 3. Comparación en la forma de reportar las emisiones de GEI entre GHG Protocol e ISO 14.064.

Categorías ISO 14.064-1:2019	Categorías GHG Protocol	Ejemplo de fuentes
Transporte de personas y bienes	Categoría 1/ Categoría 2	Extracción y transporte de bienes
	Categoría 3	Emisiones aguas arriba de la fabricación y distribución de combustible (WTT)
	Categoría 6	Viajes de negocios
	Categoría 7	Viajes del personal
	Categoría 9	Transporte de mercancías
Productos utilizados por la organización	Categoría 3	Pérdidas de electricidad en la transmisión y distribución
	Categoría 5	Materiales y residuos
	Categoría 4	Servicios generales utilizados
	Categoría 8	Activos arrendados aguas arriba
Uso de los productos de la organización	Categoría 10	Procesamiento de productos intermedios
	Categoría 11	Emisiones totales esperadas durante la vida útil del producto vendido
	Categoría 12	Emisiones de la etapa de fin de vida
	Categoría 13	Activos arrendados aguas abajo
	Categoría 14	Franquicias aguas abajo
	Categoría 15	Emisiones de inversiones
Otras fuentes	.	Emisiones o absorciones que no pueden registrarse en ninguna otra categoría

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3. Principales metodologías para el cálculo de Huella de Productos

Las metodologías más utilizadas para el cálculo de la huella de productos están basadas en los análisis de ciclo de vida (ACV), siendo una de las más utilizadas el Estándar de Producto de GHG Protocol, PAS 2050 e ISO 14.067. Consisten básicamente en recopilar toda la información sobre los consumos de materia y energía en cada una de las etapas por las que va pasando un determinado producto (**Figura 2**) y convertirla a emisiones a través de un factor de emisión (CO_2e por unidad de actividad). De las metodologías mencionadas, se profundiza brevemente a continuación en el “Estándar de Contabilidad e Informes del Ciclo de Vida de Producto” de GHG Protocol (Estándar de Producto) y su relación con el Estándar Corporativo y el Estándar de Alcance 3.

El **Estándar de Producto** proporciona requisitos y orientación para que las empresas y otras organizaciones cuantifiquen e informen públicamente un inventario de emisiones y remociones de GEI asociadas con un producto específico. Su objetivo es respaldar el seguimiento del rendimiento del inventario de GEI de un producto y las reducciones de emisiones a lo largo del tiempo (WBCSD & WRI, 2011b). En la **Figura 6** se indican los pasos a seguir según el Estándar de Producto y también los capítulos en donde se describe cada una de las etapas para llevar a cabo este proceso de cuantificación.

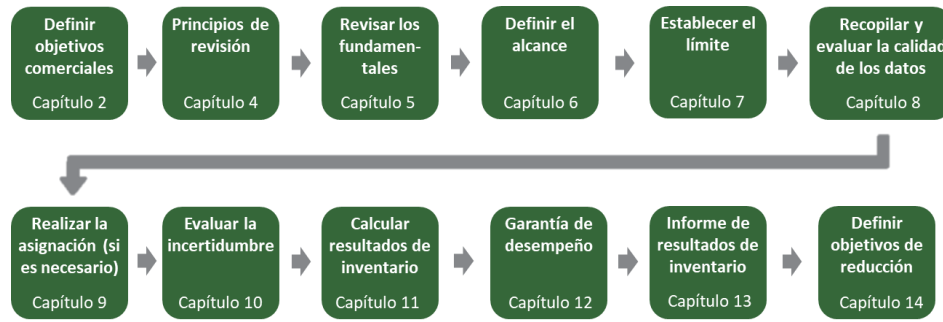


Figura 6. Descripción general de los pasos en la contabilidad e informes de productos según el Estándar de GHG Protocol.

El **Estándar de Alcance 3 del Protocolo de GEI** y el **Estándar de producto del Protocolo de GEI** adoptan un enfoque de cadena de valor o ciclo de vida para la contabilidad de GEI y se desarrollaron simultáneamente. Por una parte, el Estándar de Alcance 3 da cuenta de las emisiones de la cadena de valor a nivel corporativo, mientras que el Estándar de Producto da cuenta de las emisiones del ciclo de vida a nivel de producto individual. Además, el **Estándar Corporativo del Protocolo de GEI** se centra en emisiones de Alcance 1 y Alcance 2 a nivel corporativo. Juntos, los tres estándares, destacados en negrita, brindan un enfoque integral para la medición y gestión de GEI de la cadena de valor.

El Estándar de Alcance 3 permite que una empresa identifique las mayores oportunidades de reducción de GEI en toda la cadena de valor corporativa, mientras que el Estándar de Producto permite que una empresa apunte a productos individuales con el mayor potencial de reducción. El Estándar de Alcance 3 ayuda a una empresa a identificar oportunidades de reducción de GEI, realizar un seguimiento del desempeño e involucrar a los proveedores a nivel corporativo, mientras que el Estándar de Producto ayuda a una empresa a cumplir los mismos objetivos a nivel de producto. La **Figura 7** ilustra la relación entre el Estándar Corporativo, el Estándar de Producto y el Estándar de Alcance 3. En este ejemplo simplificado, una empresa fabrica un producto (Producto A). El ejemplo muestra cómo los alcances de las emisiones a nivel corporativo se corresponden con las etapas del ciclo de vida a nivel de producto (WBCSD & WRI, 2011b)¹⁸.

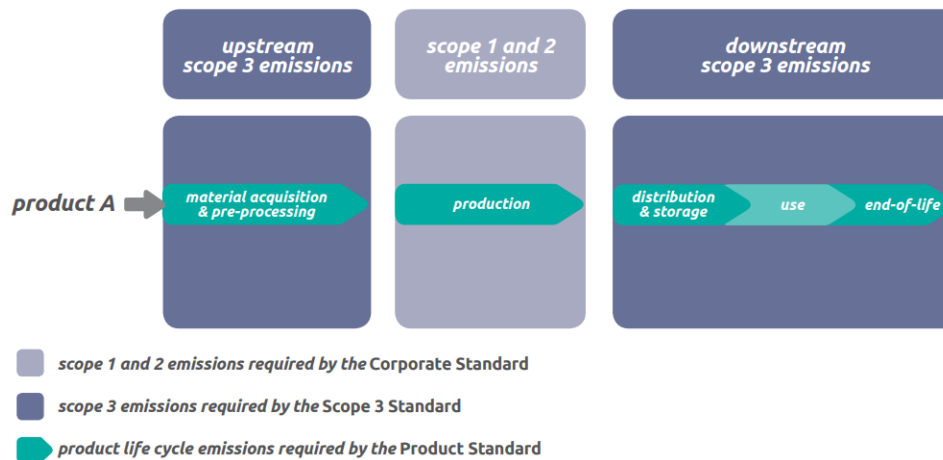


Figura 7. Relación entre Estándar Corporativo, de Alcance 3 y de Producto para una empresa que fabrica un producto A.

¹⁸ [Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard GHG Protocol](#)

2.3. Estadísticas de empresas mineras que calculan el Alcance 3

2.3.1. Metodologías de cálculo

Como parte de este estudio se realizó un benchmarking de las metodologías utilizadas por compañías mineras a nivel mundial. Los resultados evidencian una preferencia por utilizar la metodología de GHG Protocol para el cálculo de emisiones de Alcance 3 (Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte de la Cadena de Valor), lo cual se encuentra alineado con la preferencia internacional de otro tipo de industrias. Las empresas u operaciones mineras que utilizan esta metodología son: Anglo American (Anglo American, 2021)¹⁹, Barrick (Barrick, 2022)²⁰, BHP (BHP, 2021)²¹, Collahuasi (Collahuasi, 2020)²², Rio Tinto (Rio Tinto, 2021)²³, Vale (Vale, 2021)²⁴, FMG (Fortescue Metals Group, 2022)²⁵, SQM (SQM, 2022)²⁶ y Albemarle (Albemarle, 2021a)²⁷.

En la **Tabla 4** se indica el detalle de las categorías calculadas y reportadas públicamente por algunas empresas mineras en base a la metodología de GHG Protocol.

Tabla 4. Benchmarking de empresas mineras que reportan las emisiones de Alcance 3 con la metodología de GHG Protocol.

Categoría Alcance 3 GHG Protocol		Anglo American	BHP	Collahuasi	Rio Tinto	Vale	SQM
1	Adquisición de bienes y servicios	√	√	√	√	√	√
2	Bienes capitales	√			√	√	
3	Actividades relacionadas a energía y combustible excluidas de alcance 1 y 2	√	√	√	√	√	
4	Transporte y distribución aguas arriba	√	√	√	√	√	√
5	Desechos generados en las operaciones	√		√	√		
6	Viajes de negocios	√	√	√	√	√	
7	Desplazamiento de trabajadores	√	√		√	√	√
8	Activos arrendados aguas arriba						
9	Transporte y distribución aguas abajo	√	√	√	√	√	√
10	Procesamiento de productos comercializados	√	√	√	√	√	
11	Uso de productos comercializados	√	√			√	
12	Disposición final de productos comercializados						
13	Bienes arrendados aguas abajo						
14	Franquicias	√					
15	Inversiones	√	√				

Fuente: Elaboración propia.

¹⁹ [Anglo American FY2020 Scope 3 Methodology](#)

²⁰ [Barrick Sustainability Report 2021](#)

²¹ [Scope 1, 2 and 3 GHG emissions calculation methodology 2021](#)

²² [Huella de Carbono Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM - Año 2019](#)

²³ [Scope 1, 2 and 3 Emissions Calculation Methodology 2021](#)

²⁴ VALE SA - CDP Climate Change Questionnaire 2021

²⁵ [Fortescue FY21 Scope 3 emissions calculation methodology](#)

²⁶ [Reporte de Sostenibilidad 2021](#)

²⁷ [Albemarle Corp. CDP Climate Change Questionnaire 2021](#)

Cabe mencionar que Albemarle, empresa productora de litio en Chile, anuncia en su Reporte de Sostenibilidad 2021, que comenzará a evaluar las emisiones de Alcance 3 y las perfeccionará en los próximos años. De momento la empresa ha identificado 12 categorías relevantes de Alcance 3 (Albemarle, 2021b)²⁸.

2.3.2. Límites de inventario

En la **Tabla 5** se presentan los límites organizacionales y operacionales de las empresas mineras estudiadas en el Benchmarking. Es decir, se indica su enfoque para consolidar las emisiones de GEI y las etapas que consideran dentro del proceso operacional para calcular las Emisiones de Alcance 3 (EA3).

Tabla 5. Límites de inventario de empresas mineras identificadas para el cálculo de Emisiones de Alcance 3 (EA3).

Empresa	Límite organizacional	Límite operacional
Anglo American	Control operativo	EA3 para cada segmento de la cadena de valor del cobre, desde la extracción y refinación del Concentrado de Cobre, hasta las etapas de producción de ánodos, producción de cátodos y el laminado de láminas de cobre.
BHP	Control operativo	EA3 para cada segmento de la cadena de valor del cobre, desde la extracción del mineral para crear cátodos de cobre, hasta la fabricación posterior hasta el producto final (se asume alambre de cobre).
Collahuasi	Control operativo	EA3 incluyen emisiones desde la exploración minera hasta el desembarque del producto en el puerto de destino o las instalaciones del comprador (enfoque cradle to gate).
Rio tinto	Participación de capital	EA3 incluyen el procesamiento de nuestras ventas netas de concentrado de cobre en cobre refinado. No incluyen emisiones del procesamiento del cobre refinado en diferentes productos de uso final.

Fuente: Elaboración propia.

²⁸ [2021 Sustainability Report](#)

2.3.3. Reporte de emisiones de Alcance 3

En el **Gráfico 1** se comparan las emisiones totales de GEI (2020) reportadas públicamente por tipo de alcance entre las empresas mineras de Anglo American²⁹, BHP³⁰, Collahuasi³¹ (Collahuasi, 2022) y SQM³²(SQM, 2022). Cabe destacar que no se indica la producción de mineral, por lo cual estos datos no son indicador de eficiencia ni de otro tipo de indicador, solo busca entregar una comparativas de tamaño porcentual de huella de carbono por tipo de alcance.

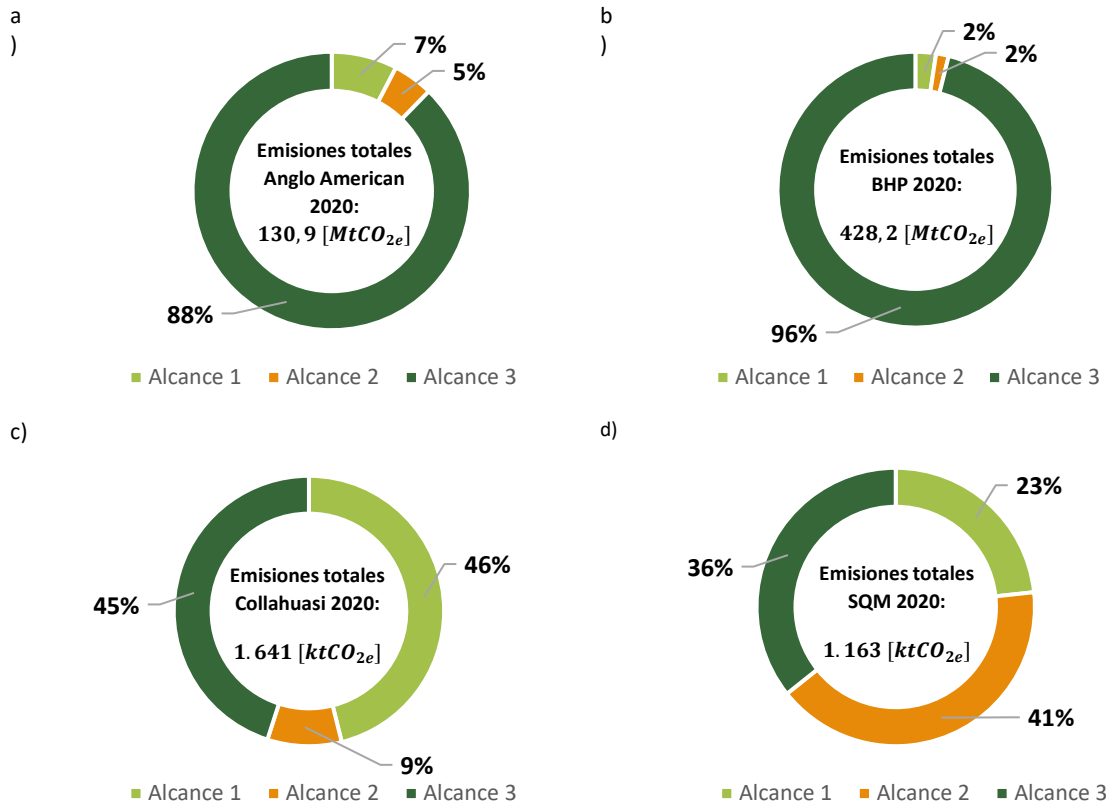


Gráfico 1. Emisiones de GEI por alcance en las empresas mineras a) Anglo American, b) BHP, c) Collahuasi y d) SQM.

Fuente: Elaboración propia con información publicada por las empresas.

Se observa una mayor cantidad de emisiones totales de GEI en Anglo American y BHP, lo que se debe a diversos factores, entre ellos: la cantidad de faenas mineras que operan, los tipos de minerales que procesan (cobre, hierro, platino, carbón y otros) y las categorías de Alcance 3 que consideran parte de sus emisiones. Anglo American y BHP, en particular, reportan 115 MtCO_{2e} y 412 MtCO_{2e} de emisiones de Alcance 3 respectivamente, lo que equivale al 88% y 96% de sus emisiones totales. La mayoría de las emisiones de Alcance 3 de BHP son del procesamiento de su mineral de hierro, asociada a la categoría 10 según GHG Protocol.

²⁹ [Sustainability Data \(2013-2021\)](#)

³⁰ [BHP ESG Standards and Databook 2022](#)

³¹ [Reporte de Sustentabilidad 2021](#)

³² [Reporte de Sostenibilidad 2021](#)

Por otro lado, Collahuasi reporta 658 $ktCO_2e$ de emisiones de Alcance 3 y SQM 415 $ktCO_2e$, equivalentes al 45% y 36% de sus emisiones totales respectivas. Estos valores son más bajos ya que corresponden a emisiones de una mina específica, como es el caso de Collahuasi, o de un conjunto de faenas, como el caso de SQM, pero que extraen y producen productos específicos (litio, yodo y potasio) a partir de procesos similares. Esta situación contrasta, con la situación de Anglo American y BHP, que extraen y procesan diversos tipos de productos en diferentes minas ubicadas alrededor del mundo.

2.3.4. Metas y compromisos de reducción de emisiones de Alcance 3

Si bien algunas compañías mineras internacionales cuentan con metas de reducción de Alcance 3 a nivel global, el anuncio publicado el 5 de octubre de 2021, a través del Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM) es el más importante a nivel de sector minero:

“Hoy, asumimos el compromiso colectivo, en calidad de miembros del Consejo Internacional de Minería y Metales, (ICMM), de lograr cero emisiones netas de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de Alcance 1 y 2 para el año 2050 o antes, alineando nuestros objetivos con los del Acuerdo de París” (ICMM, 2021)³³.

Respecto al Alcance 3 declaran: **“Acelerar la acción respecto de las emisiones de GEI de Alcance 3:** Reconocemos que las emisiones de Alcance 3 son fundamentales para minimizar nuestro impacto global y estableceremos metas de reducción para éstas, a más tardar para fines del 2023 o lo antes posible después de esta fecha. Si bien todas las acciones sobre este tipo de emisiones dependen de esfuerzos aunados entre productores, proveedores y clientes, algunas materias primas presentan mayores barreras tecnológicas y de colaboración que otras. Asumiremos el liderazgo para superar estos desafíos y promoveremos alianzas que permitan establecer objetivos y reducciones de emisiones creíbles a lo largo de distintas cadenas de valor.”

En la **Tabla 6** se indican los compromisos publicados por empresas mineras respecto a las emisiones de Alcance 3.

Tabla 6. Metas publicadas de Alcance 3 de empresas mineras.

Empresa	Metas de Alcance.3
Anglo American	- 2040: Reducir su huella de Alcance 3 en un 50% respecto al 2020. - 2040: Carbono neutralidad en el transporte marítimo controlado.
BHP	- 2050: Cero emisiones operativas de GEI de proveedores directos. - 2050: Cero emisiones netas para las emisiones de GEI de todos los envíos de productos.
Rio tinto	- 2050: Ambición de alcanzar cero emisiones netas del envío de productos. - 2025: Ambición de reducir un 40% en la intensidad de las emisiones del envío, cinco años antes de la fecha límite de la OMI.
Teck (Teck, n.d.) ³⁴	- 2050: Ambición de lograr cero emisiones netas de GEI para 2050. - 2030: Reducir las emisiones de envío de productos en un 40%.

Fuente: Elaboración propia con información publicada por las empresas en sus reportes de sustentabilidad.

³³ [Compromiso de Cambio Climático ICMM](#)

³⁴ [Sustainability Approach and Goals](#)

Es importante destacar que, si bien existen metas o compromiso de fijarlas, aún no se ha logrado aunar esfuerzos para trabajar de manera sostenida y efectiva directamente con los proveedores para reducir sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero. En este ámbito, el desafío de articular y desarrollar planes de reducción en la producción de insumos y prestación de servicios es importante. En este contexto el presente estudio busca entregar mayor conocimiento a los proveedores a cerca de la importancia de reducir sus emisiones y una herramienta para empezar a cuantificarlas.

3. Emisiones de la cadena de suministro en la minería en Chile

Desde la perspectiva de una compañía minera que está calculando su Huella de Carbono (HdC) de Alcance 3, su interés es poder contar con las emisiones asociadas a la utilización de cierta cantidad de un insumo, las cuales se calculan en base a la **Ecuación 1**.

$$\text{Emisiones del insumo [tCO}_2\text{e]} = \text{Cantidad del insumo utilizado} \times \text{Factor de Emisión del insumo}$$

Ecuación 1. Ecuación para determinar las emisiones de un insumo en un período de tiempo.

En la actualidad, el Factor de Emisión de los diversos insumos, las compañías mineras lo obtienen en su gran mayoría desde Bases de Datos internacionales tales como Ecoinvent³⁵, Defra³⁶ o Gabi³⁷ y cuyo valor es el resultado de estudios que por lo general consideran las emisiones asociadas a la materia prima requerida, el transporte hasta el lugar donde se produce el insumo más las emisiones producto de la fabricación del insumo (incluye en esta etapa el consumo de energía requerido para su fabricación).

En cambio, desde la perspectiva de un proveedor, que es el foco del presente Estudio, se debe comprender que la cadena de suministro de un determinado producto podría separarse en varios eslabones intermedios como indica la **Figura 8** Figura 8. Bajo esta lógica un determinado proveedor, podría trabajar en uno o más eslabones de la cadena de suministro de un producto.

³⁵ [Sitio web Ecoinvent](#)

³⁶ [Sitio web Defra](#)

³⁷ [Sitio web Sphera](#)



Figura 8. Ejemplo de Cadena de Suministro de un producto desde la perspectiva del proveedor. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo siempre como foco la cadena de suministro desde la perspectiva del proveedor, en la siguiente sección se presentan los límites operacionales para la minería del cobre y no metálica, lo que permite definir las etapas de procesamiento sobre las cuales se identifican insumos y/o servicios que producen emisiones de Alcance 3 para las empresas mineras (Alcance 1 y 2 para los proveedores). Es relevante mencionar, que los límites del presente estudio se establecen en base a las características operacionales de la minería chilena y que además se indican sólo los principales insumos y/o servicios que generan la mayor cantidad de emisiones de Alcance 3, en base a la regla 80/20.

3.1. Minería del cobre

Las etapas que se encuentran dentro del límite operacional para la minería del cobre incluyen la extracción de mineral desde un rajo o mina subterránea, carguío y transporte, procesamiento en la planta, ya sea vía hidrometalúrgica para óxidos o bien vía pirometalurgia para sulfuros, y finalmente el envío del concentrado y/o cátodos de cobre a su destino final. Lo descrito anteriormente se muestra en la **Figura 9** Figura 9, dónde además se indican los principales insumos y/o servicios identificados con emisiones de Alcance 3, los cuales son: Neumáticos, Producción de combustibles, Producción de explosivos, Bolas de molienda, Cal, Ácido sulfúrico, Transporte de insumos, Transporte de trabajadores y Transporte de productos.

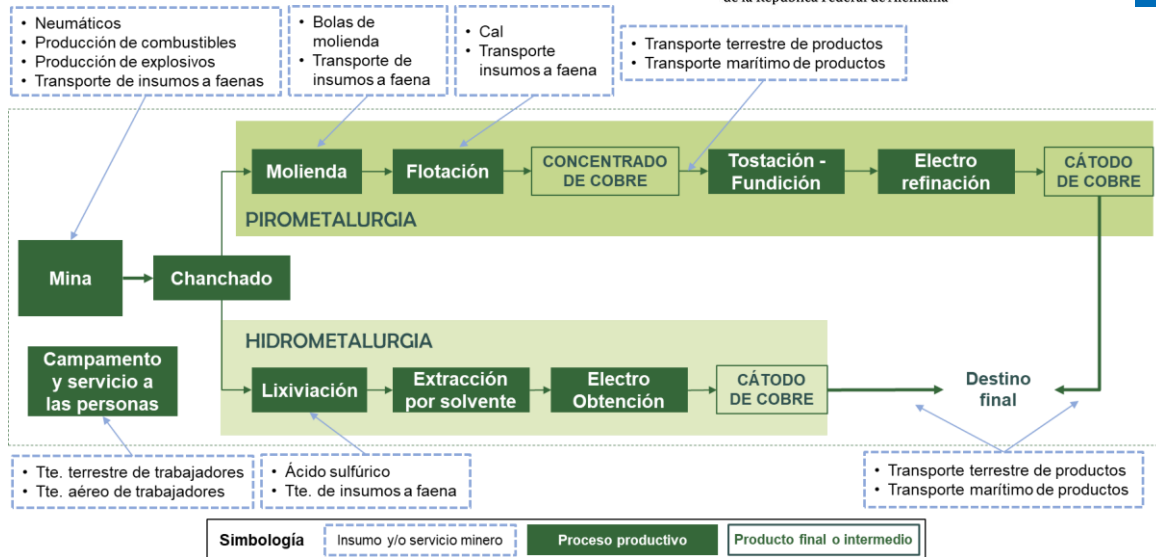


Figura 9. Límite de batería de insumos y servicios del cobre. Fuente: Elaboración propia en base a (BID, 2022)³⁸.

En la selección de insumos y servicios, además de la cantidad de emisiones de Alcance 3 aportadas a la minería, se toma en consideración los insumos que son críticos en cuanto a abastecimiento para un proyecto u operación minera. La criticidad está en función del riesgo de desabastecimiento, la alta dependencia de las importaciones, mercados con características de oligopolio, como también el peso relativo del insumo en la estructura de costos de una operación o proyecto. Dentro de este grupo se encuentra la Cal, Bolas de Molienda, Neumáticos y el Ácido sulfúrico como insumo de carácter estratégico (Cochilco, 2021)³⁹Haga clic o pulse aquí para escribir texto.. En la **Tabla 7**Tabla 7 se enumeran los proveedores de insumos y servicios seleccionados para la minería del cobre, en base a lo indicado anteriormente en el límite de batería.

Tabla 7. Proveedores de insumos y servicios seleccionados para la minería del cobre.

N°	Proveedores de insumos y servicios
1	Proveedores de neumáticos
2	Proveedores de explosivos
3	Proveedores de combustibles
4	Proveedores de ácido sulfúrico
5	Proveedores de bolas de molienda
6	Proveedores de cal
7	Servicios de transporte terrestre de insumos
8	Servicios de transporte marítimo de insumos
9	Servicios de transporte terrestre de trabajadores
10	Servicios de transporte aéreo de trabajadores
11	Servicios de transporte terrestre de productos (Concentrado y/o cátodos de cobre)
12	Servicios de transporte marítimo de productos (Concentrado y/o cátodos de cobre)

Fuente: Elaboración propia.

³⁸ [Guía sobre emisiones en la cadena de suministro de la minería](#)

³⁹ [Análisis del mercado de insumos críticos en la minería del cobre 2021](#)

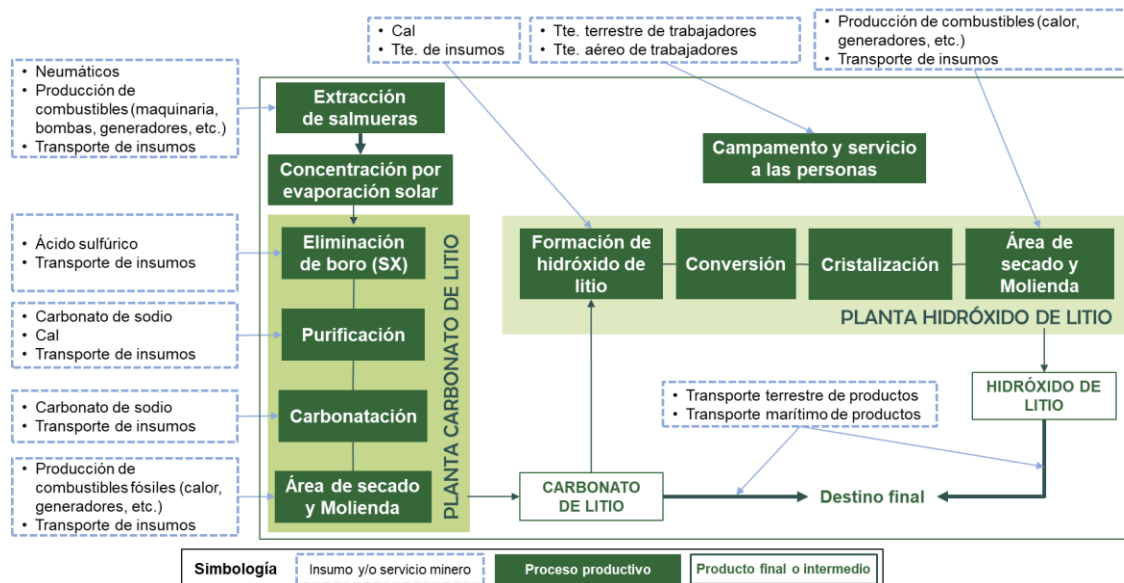
3.2. Minería no metálica

El estudio de la cadena de suministro de insumos y servicios se centra en la minería no metálica en Chile para los productos de litio, potasio y yodo.

Las principales fuentes para obtener litio son desde salmueras en salares y también de forma mineral en depósitos de roca. Para efectos de este proyecto, se considera la extracción desde salmueras, ya que es la fuente disponible en Chile.

Para extraer el litio, la salmuera se bombea desde profundidades de 1,5 a 150 metros bajo la superficie, a través de un sistema de tuberías hacia estanques de evaporación. La radiación solar produce la cristalización secuencial de diferentes sales presentes en un periodo aproximado de 16 meses (SQM, 2021)⁴⁰Haga clic o pulse aquí para escribir texto.. Posteriormente, la salmuera concentrada de litio es enviada por medio de camiones a la planta de carbonato de litio, donde pasa por etapas de extracción por solvente para remover el boro, purificación para eliminar las impurezas de magnesio y calcio, carbonatación para precipitar el carbonato de litio y finalmente áreas de secado, envasado y micronizado (Paillacán, 2021)⁴¹Haga clic o pulse aquí para escribir texto.. La producción de hidróxido de litio comienza utilizando carbonato de litio con pureza 99% e hidróxido de calcio, seguidas de etapas de conversión, cristalización y secado, envasado y micronizado (Yañez, 2006)⁴².

En la **Figura 10** se muestra el límite de batería del litio, el cual se centra en el proceso descrito anteriormente. Considera desde la extracción de salmueras hasta el empaquetamiento y envío al destino final de los productos de carbonato e hidróxido de litio. Además, se observan las etapas para el procesamiento de estos productos y los insumos y servicios principales en relación con emisiones de Alcance 3.



⁴⁰ [Sustainability of lithium production in Chile](#)

⁴¹ [Análisis de procesos de plantas químicas con modelos de redes aleatorias y de espacio estado](#)

⁴² [Gestión del conocimiento en SQM Salar](#)

Figura 10. Límite de batería de insumos y servicios del litio. Fuente: Elaboración propia.

La producción de cloruro y sulfato de potasio comparte origen con los productos de litio, ya que provienen desde salmueras. Los flujos que contienen estos elementos son separados a través de la cristalización de las sales en los distintos estanques de evaporación. Luego las sales de potasio son cosechadas mecánicamente y transportadas en camiones a las respectivas plantas para su acopio y procesamiento (SQM, 2013)⁴³Haga clic o pulse aquí para escribir texto..

En la **Figura 11** se indica el límite de batería del potasio, el cual va desde la extracción de salmueras hasta el envío a su destino final de los productos de cloruro y sulfato de potasio. Además, en la figura se detalla su proceso productivo y los principales insumos y servicios en relación con las emisiones de Alcance 3.

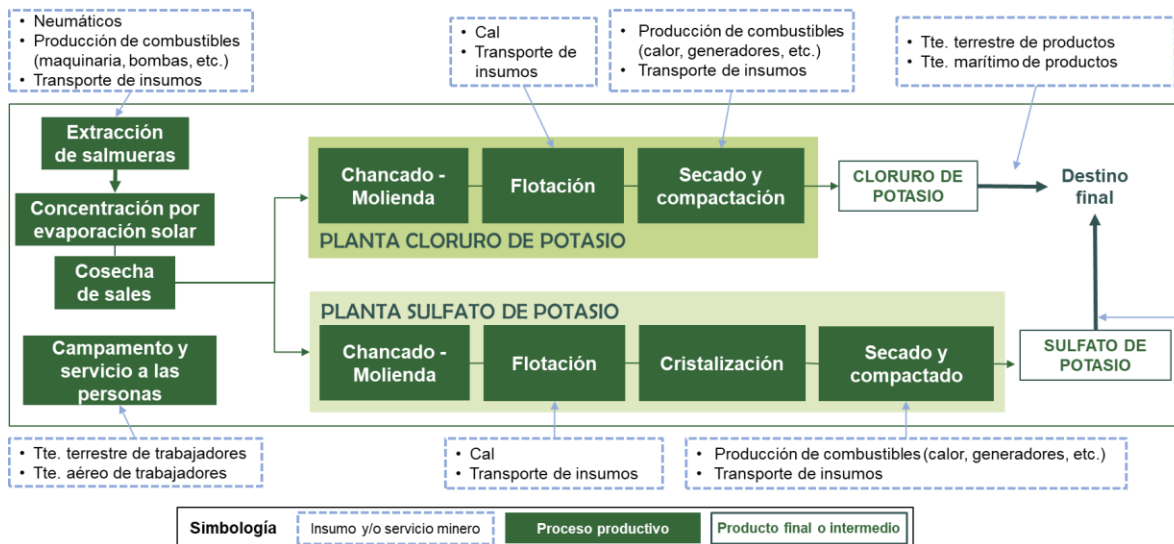


Figura 11. Límite de batería de insumos y servicios del potasio. Fuente: Elaboración propia.

La producción de yodo inicia con la extracción de caliche mediante el uso de explosivos desde áreas de mina, el mineral es cargado y transportado en camiones para luego formar pilas de lixiviación. Las pilas se riegan con agua y salmuera, generando una solución que es enviada mediante cañerías a la planta de yoduro, en donde mediante diversos insumos, se obtiene una solución concentrada de yoduro que es posteriormente utilizada en la planta de yodo y prilado para producir yodo (SQM, n.d.)⁴⁴ Haga clic o pulse aquí para escribir texto..

En la **Figura 12** se indica el límite de batería del yodo, el cual va desde la extracción de caliche hasta el envío de yodo a su destino final. También, en la figura se detalla su proceso productivo y los principales insumos y servicios en emisiones de Alcance 3.

⁴³ [Informe de fiscalización ambiental Faena Nueva Victoria SQM](#)

⁴⁴ [Informe de la EIA de la Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto Modificación Planta SOP](#)



Figura 12. Límite de batería de insumos y servicios del yodo. Fuente: Elaboración propia.

En la

Tabla 8 se enumeran los proveedores de insumos y servicios para la minería no metálica (litio, potasio y yodo), en base a lo indicado previamente en los respectivos límites de batería.

Tabla 8. Proveedores de insumos y servicios seleccionados para la minería no metálica (litio, potasio y yodo).

N°	Insumo / Servicio/ Producto
1	Proveedores de neumáticos
2	Proveedores de explosivos
3	Proveedores de combustibles
4	Proveedores de ácido sulfúrico
5	Proveedores de carbonato de sodio
6	Proveedores de cal
7	Servicios de transporte terrestre de insumos
8	Servicios de transporte marítimo de insumos
9	Servicios de transporte terrestre de trabajadores
10	Servicios de transporte aéreo de trabajadores
11	Servicios de transporte terrestre de productos (Carbonato de litio, Hidróxido de litio, Cloruro de potasio, Sulfato de potasio y/o Yodo)
12	Servicios de transporte marítimo de productos (Carbonato de litio, Hidróxido de litio, Cloruro de potasio, Sulfato de potasio y/o Yodo)

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Factores de emisión

Una vez definidos los insumos y servicios principales en cuanto a emisiones de Alcance 3 para la minería del cobre y no metálica (litio, potasio y yodo), se seleccionan los factores de emisión desde bases de datos reconocidas y con respaldo internacional. Los factores de emisión son valores que permiten transformar los datos de actividad de un proveedor en emisiones de dióxido de carbono equivalente.

En la

Tabla 9 se informan los factores de emisión para los principales insumos asociados a la minería de Chile. Estos factores permiten que los proveedores, a través de la Herramienta desarrollada en este Estudio, ingresen la cantidad de producto que producen para una determinada empresa minera y de esta forma cuantificar las emisiones de alcance 1 y alcance 2 asociadas a esa venta. Es decir, los factores consideran emisiones del proveedor desde la extracción de materias primas requeridas en su producto, hasta la fabricación (**Figura 2**).

Tabla 9. Factores de emisión de los insumos principales en emisiones de Alcance 3 para la minería en Chile.

N°	Proveedor de insumos	Ud.	Factor de emisión [kgCO ₂ e/Ud.]	Fuente
1	Neumáticos	t	3.336	DEFRA 2022
2	Producción de explosivos	kg	2,631	Ecoinvent v2.2
3	Producción de combustibles (Diésel)	l	0,629	DEFRA 2022
	Producción de combustibles (Gasolina)	l	0,613	DEFRA 2022
4	Ácido sulfúrico	kg	0,124	Ecoinvent v2.2
5	Bolas de molienda	t	3.588	Ecoinvent v2.2
		t	3.683	DEFRA 2022
6	Cal	kg	0,764	Ecoinvent v2.2
7	Carbonato de sodio	t	138	IPCC 2006

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, los factores de emisión relacionados a los servicios de transporte, ya sea para el traslado de insumos, trabajadores o productos mineros, se presentan en la

Tabla 10, cuyos valores dependerán del tipo de vehículo utilizado para el desarrollo de sus actividades.

Tabla 10. Factores de emisión de los servicios principales en emisiones de Alcance 3 para la minería en Chile.

N°	Proveedor de servicios	Tipo de transporte	Ud.	FE [kgCO ₂ e/Ud.]	Fuente
8	Transporte terrestre de insumos	Camión 3,5-20t	tkm ⁴⁵	0,280	Ecoinvent v2.2
		Camión 20-28t	tkm	0,195	Ecoinvent v2.2
		Camión >28t	tkm	0,137	Ecoinvent v2.2
		Camión 3,5-7,5t	tkm	0,562	DEFRA 2022
		Camión 7,5-17t	tkm	0,387	DEFRA 2022
		Camión >17t	tkm	0,186	DEFRA 2022
		Tren	tkm	0,014	Ecoinvent v2.2
			tkm	0,028	DEFRA 2022
tkm	0,036		EPA 2022		
9	Transporte marítimo de insumos	Buque de carga	tkm	0,011	Ecoinvent v2.2
		Buque cisterna	tkm	0,006	Ecoinvent v2.2
		Buque cisterna de petróleo	tkm	0,005	DEFRA 2022
		Buque cisterna de productos	tkm	0,009	DEFRA 2022
		Buque cisterna de productos químicos	tkm	0,010	DEFRA 2022
		Buque de carga - granelero	tkm	0,004	DEFRA 2022
		Buque de carga - general	tkm	0,013	DEFRA 2022
		Buque de carga - portacontenedores	tkm	0,016	DEFRA 2022
10	Transporte terrestre de trabajadores	Bus	pkm ⁴⁶	0,104	Ecoinvent v2.2
			pkm	0,097	DEFRA 2022
			pkm	0,092	EPA 2022
		Vehículo de pasajeros diésel	pkm	0,170	Ecoinvent v2.2
		Vehículo de pasajeros gasolina	pkm	0,201	Ecoinvent v2.2
11		Transporte aéreo de trabajadores	pkm	0,126	Ecoinvent v2.2

⁴⁵ tkm: tonelada por kilómetro.

⁴⁶ pkm: pasajero por kilómetro.

	Transporte aéreo de trabajadores	Transporte aéreo de trabajadores	pkm	0,246	DEFRA 2022
		Transporte aéreo de trabajadores	pkm	0,209	EPA 2022
12	Transporte terrestre de productos	Camión >28t	tkm	0,137	Ecoinvent v2.2
		Camión >17t	tkm	0,186	DEFRA 2022
		Tren	tkm	0,014	Ecoinvent v2.2
			tkm	0,028	DEFRA 2022
			tkm	0,036	EPA 2022
13	Transporte marítimo de productos	Buque de carga	tkm	0,011	Ecoinvent v2.2
		Buque de carga - granelero	tkm	0,004	DEFRA 2022
		Buque de carga - portacontenedores	tkm	0,016	DEFRA 2022

Fuente: Elaboración propia.

4. Desarrollo de Herramienta de Autodiagnóstico para proveedores de la minería del Cobre, Litio, Potasio y Yodo y Guía Complementaria

La información recopilada en los Capítulos 2 y 3 del presente Reporte sirvió como base para el desarrollo de una herramienta de Autoevaluación de uso privado, donde los proveedores de la minería, con énfasis en minería del Cobre, Litio, Potasio y Yodo, podrán tener una primera mirada del estado de su organización en materia de Gestión de Gases de Efecto Invernadero, utilizando la componente Cualitativa de la herramienta y posteriormente analizar cuantitativamente las emisiones de Insumos o Servicios considerados como principales (bajo análisis de Pareto) en el impacto de emisiones de Alcance 3 de una compañía minera, desde el punto de vista del proveedor.

Es importante destacar que si algún proveedor, cuyos productos suministra a la minería, pero no aparecen en el listado de insumos considerados por la herramienta, podrá de todas formas utilizar la componente Cualitativa de la herramienta y los Servicios de Transporte considerados en la componente Cuantitativa.

Para mejor comprensión de la Herramienta de Autoevaluación, se desarrolló la “*Guía complementaria Herramienta Autodiagnóstico*”.

La Herramienta de Autoevaluación (Calculadora) y la Guía corresponden a archivos que acompañan al presente reporte.

5. Medidas para reducción de Huella de CO₂e en la cadena de suministro de la minería

5.1. Propuesta de medidas que los proveedores podrían implementar para reducir su HdC

Para esta etapa, se realizó un análisis con el fin de Identificar, en base a información pública y expertiz del consultor, una serie de medidas de abatimiento de emisiones que se puedan implementar por parte de los proveedores de la cadena de suministros de la minería, considerando como límite de batería los insumos y servicios principales en emisiones de Alcance 3 seleccionados en la **Tabla 7** y

Tabla 8 para la minería del cobre y minería no metálica respectivamente.

La

Tabla 11 presenta el listado de medidas para reducción de Huella de CO₂e resultante de este análisis.

Tabla 11. Listado de medidas de reducción de Huella de CO₂e en proveedores.

N°	Temática de reducción de emisiones	Descripción Iniciativa	Insumo/servicio(s) al que aplicaría
1	Electromovilidad	Uso de Buses eléctricos	Tte. terrestre de trabajadores
2	Electromovilidad	Uso de vehículos livianos eléctricos	Tte. terrestre de trabajadores Tte. terrestre de insumos menores
3	Electromovilidad	Uso de Vehículos de carga eléctricos	Tte. terrestre de insumos Tte. terrestre de productos
4	Hidrogeno Verde	Uso de Celdas de combustible en medios de transporte (Buses de Larga autonomía, camiones pesados en ruta)	Tte. terrestre de trabajadores Tte. terrestre de insumos Tte. terrestre de productos

5	Hidrogeno Verde	Uso como combustible en Calderas, Hornos, Secadores	Fabricación de insumos (Neumáticos; Explosivos, Combustible, Ácido Sulfúrico, Bolas de Molienda)
6	Hidrogeno Verde	Inyección en redes de suministro de Gas	Fabricación de insumos (Neumáticos; Explosivos, Combustible, Ácido Sulfúrico, Bolas de Molienda)
7	Hidrogeno Verde	Producción de Amoniaco Verde para uso en producción de explosivos	Fabricación de explosivos
8	Uso de Energía Renovable	Autogeneración o contratación de suministro de energía eléctrica en base a ER	Fabricación de insumos (Neumáticos; Explosivos, Combustible, Ácido Sulfúrico, Bolas de Molienda, Cal)
9	Uso de Energía Renovable	Uso de ER para aplicaciones de requerimiento de calor industrial	Fabricación de insumos (Neumáticos; Explosivos, Combustible, Ácido Sulfúrico, Bolas de Molienda)
10	Electrificación	Uso de Calderas eléctricas, con energía eléctrica generada vía ER	Fabricación de insumos (Neumáticos; Explosivos, Combustible, Ácido Sulfúrico, Bolas de Molienda, Cal)
11	Optimización Transporte	Privilegiar Transporte marítimo en Barcos certificados como "Buques Verdes"	Tte. marítimo de insumos Tte. marítimo de productos
12	Optimización Transporte	Acercamiento de los puntos de suministro: Privilegiar la compra de insumos desde fabricas y/o punto de distribución más cercanos a los puntos de consumo del insumo.	Neumáticos; Explosivos, Combustible, Ácido Sulfúrico, Bolas de Molienda, Cal
13	Optimización Transporte	Reducción distancia transporte de trabajadores: Fomentar la residencia del personal de la empresa en ciudades/localidades cercanas a la empresa	Tte. terrestre de trabajadores Tte. aéreo de trabajadores
14	Optimización Transporte	Privilegiar Transporte aéreo en aviones/aerolíneas que implementen medidas de reducción de su huella de carbono (P/E: uso de biojet, e-jet, implementación de planes de compensación de emisiones)	Tte. aéreo de trabajadores
15	Economía Circular	Uso de insumos elaborados en base a reciclaje por economía circular, con tasa de emisión más bajas respecto a elaboración de productos nuevos	Neumáticos, Combustible, Bolas de Molienda.

16	Solución Basada en la Naturaleza (SbN)	Implementación de soluciones basadas en la naturaleza	Compensación de emisiones
----	--	---	---------------------------

Fuente: Elaboración propia.

5.2. Listado priorizado de medidas de abatimiento de emisiones.

Como etapa de continuidad a la identificación de medidas de abatimiento de emisiones aplicables a proveedores de la cadena de suministro de la minería, se realizó un análisis de priorización de las medidas identificadas en la tabla anterior en base a criterios cualitativos basados en información pública disponible y expertiz del asesor.

Las variables de evaluación cualitativa usadas para elaborar el análisis de priorización; y la escala de evaluación utilizada fue la siguiente:

- I. Impacto en el Proceso / Servicio del Proveedor generada por la medida de reducción de emisiones
 - a. ALTO: La medida genera un Alto Impacto a nivel organizacional en la empresa del proveedor de servicio / fabricante del insumo; ya que implica una modificación en su línea de proceso principal.
 - b. MEDIO: La medida genera Impacto de nivel reputacional y a nivel de costos de la empresa del proveedor de servicio / fabricante del insumo; pero no implica una modificación del proceso principal.
 - c. BAJO : La implementación de la medida no genera necesariamente un alto impacto en la organización del proveedor.

- II. Potencial de reducción de emisiones Alcance 3 en Minería generada por la medida de reducción de emisiones
 - a. ALTO: La medida genera reducción de emisiones de una categoría que representa más del 20% de las emisiones Alcance 3 típica de una operación minera.
 - b. MEDIO: La medida genera reducción de emisiones de una categoría que representa más del 10%, pero menos del 20% de las emisiones Alcance 3 típica de una operación minera.
 - c. BAJO: La medida genera reducción de emisiones de una categoría que representa menos del 10% de las emisiones Alcance 3 típica de una operación minera.

- III. Disponibilidad de la Tecnología sugerida por la medida de reducción de emisiones
 - a. ALTO: Tecnología disponible y aplicada en operaciones Mineras en la actualidad.
 - b. MEDIO: Existe tecnología, pero su desarrollo es incipiente a nivel nacional.

- c. BAJO: Tecnología / Servicio aún en etapa de desarrollo ó; la tecnología existe, pero requiere implementar fuertes cambios/inversiones sobre la situación base.

IV. Complejidad de implementación de la medida de reducción de emisiones

- a. BAJO: La medida es simple de implementar.
b. MEDIO: Requiere la implementación de habilitadores o estudios de factibilidad previos para poder avanzar a una etapa de implementación.
c. ALTO: Requiere varios estudios y tramitación de permisos para avanzar a una implementación; además de altos niveles de inversión respecto a la situación base.

La

Tabla 12 resume la escala de ponderación y puntaje asignado para la evaluación cualitativa de las medidas.

Tabla 12. Escala de puntajes y ponderación para evaluación cualitativa de las medidas de reducción de emisiones.

Variable	Impacto en el Proceso / Servicio del Proveedor	Potencial de reducción emisiones Alcance 3 en Minera	Disponibilidad Tecnológica	Complejidad de Implementación
Porcentaje asignado en la evaluación	25%	20%	20%	35%
Puntaje asignado a Categoría ALTO	3 puntos	3 puntos	3 puntos	1 punto
Puntaje asignado a Categoría MEDIO	2 puntos	2 puntos	2 puntos	2 puntos
Puntaje asignado a Categoría BAJO	1 punto	1 punto	1 punto	3 puntos

Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 13** se presenta el resultado de la evaluación cualitativa realizado de las medidas de reducción de emisiones de CO_2e identificadas.

Tabla 13. Evaluación cualitativa de las medidas de reducción de emisiones.

Medida de Reducción de emisiones de CO_2e	Impacto en el Proceso / Servicio del Proveedor	Potencial de reducción emisiones Alcance 3 en Minera	Disponibilidad Tecnológica	Complejidad de Implementación
Uso de Buses eléctricos	Alto	Bajo	Alta	Media
Uso de vehículos livianos eléctricos	Alto	Bajo	Alta	Media

Uso de Vehículos de carga eléctricos	Alto	Bajo	Media	Alta
Uso de Celdas de combustible de Hidrogeno en medios de transporte	Alto	Bajo	Baja	Alta
Uso Hidrogeno Verde como combustible en Calderas, Hornos, Secadores.	Medio	Alto	Baja	Media
Inyección de Hidrógeno Verde en redes de suministro de Gas	Medio	Alto	Baja	Media
Amoniaco Verde en producción de explosivos	Medio	Bajo	Baja	Alta
Autogeneración o contratación de suministro de energía eléctrica en base a ER	Medio	Alto	Alta	Media
Uso de ER para aplicaciones de requerimiento de calor industrial	Bajo	Alto	Alta	Media
Uso de Calderas eléctricas, con energía eléctrica generada vía ER	Medio	Alto	Media	Media
Privilegiar Transporte marítimo en Barcos certificados como "Buques Verdes"	Medio	Medio	Media	Media
Fábricas y/o puntos de distribución más cercanos a los puntos de consumo del insumo.	Medio	Bajo	Baja	Alta
Reducción distancia transporte trabajadores (fomento residencia cercana a la empresa)	Medio	Bajo	Baja	Alta
Privilegiar Transporte aéreo en aerolíneas que implementen planes de reducción de su huella de carbono	Medio	Bajo	Baja	Media
Uso de insumos elaborados en base a	Medio	Medio	Media	Media



reciclaje por economía circular				
Implementación de soluciones basadas en la naturaleza	Medio	Alto	Baja	Media

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, en base a los resultados de la evaluación cualitativa y la asignación de los puntajes obtenidos por cada medida a consecuencia de esta evaluación, se reordenan las medidas por puntaje obtenido de mayor a menor como criterio para priorización de las medidas propuestas.

En la



Tabla 14 se presenta el resultado del análisis de priorización de las medidas de reducciones de emisiones de CO_2e propuestas.

Tabla 14. Priorización de las medidas de reducciones de emisiones de CO₂e propuestas.

N° Priorización	Medida de Reducción de emisiones de CO ₂ e	Puntaje obtenido evaluación cualitativa
1	Autogeneración o contratos de suministro de energía eléctrica en base a ER	2,40
2	Uso de Calderas eléctricas, con energía eléctrica generada vía ER	2,40
3	Uso de Buses eléctricos para transporte de personal	2,25
4	Uso de vehículos livianos eléctricos	2,25
5	Uso de ER para calor industrial	2,15
6	Privilegiar Transporte marítimo en Barcos certificados como "Buques Verdes"	2,00
7	Uso de insumos elaborados en base a reciclaje por economía circular	2,00
8	Uso Hidrógeno como combustible en Calderas, Hornos, Secadores.	2,00
9	Inyección de Hidrógeno en redes de suministro de Gas	2,00
10	Implementación de soluciones basadas en la naturaleza	1,75
11	Uso de Vehículos de carga eléctricos	1,70
12	Privilegiar Transporte aéreo en aerolíneas que implementen medidas de reducción de su huella de carbono.	1,60
13	Uso de Celdas de combustible en medios de transporte (Buses de Larga autonomía, camiones pesados en ruta)	1,50
14	Producción de Amoniaco Verde para uso en producción de explosivos	1,25
15	Fábricas y/o puntos de distribución más cercanos a los puntos de consumo del insumo.	1,25
16	Reducción distancia transporte trabajadores (fomento residencia cercana a la empresa)	1,25

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en base al resultado del análisis de priorización, se seleccionan tres (3) oportunidades de reducción de emisiones para profundizar en la evaluación en los aspectos que se indicarán en la siguiente sección. Las tres medidas seleccionadas son:

1. Autogeneración o suscripción de contratos de suministro de energía eléctrica en base a ER.
2. Electrificación: Uso de Calderas eléctricas, con energía eléctrica generada vía ER.
3. Uso de Buses eléctricos para transporte de personal.

5.3.Oportunidades de mejoras seleccionadas para reducción de emisiones de proveedores del sector minería

En base a los resultados del análisis de priorización, se seleccionan tres medidas de reducción de emisiones en proveedores de productos/servicios a la minería para profundizar en su evaluación.

A continuación, la descripción de las oportunidades de mejoras seleccionadas.

- a) Autogeneración de energía eléctrica en base a ER: Para la evaluación de esta medida, se considera la implementación de una Planta de paneles fotovoltaico al interior de la fábrica de elaboración del producto suministrado a la minería, con el objetivo de sustituir como fuente energética la electricidad proveniente de la red eléctrica. Como alcance técnico, se considera la implementación de una Planta Fotovoltaica de rango 3 a 9 MW para calificación como PMGD (Pequeño Medio de Generación Distribuida). Este tipo de medida es aplicable en las fábricas de proveedores de insumos para la minería, como por ejemplo: Neumáticos; Explosivos, Combustible, Ácido Sulfúrico, Bolas de Molienda, Cal; permitiendo reducir sus emisiones correspondientes a Alcance 2 de la fábrica del proveedor.

- b) Uso de Calderas eléctricas, con energía eléctrica generada vía ER: Para la evaluación de esta medida, se considera la implementación de una caldera generadora de agua caliente/vapor que opera en base a energía eléctrica, en reemplazo de caldera de agua caliente/vapor convencional que opera en base a la combustión de un combustible fósil como por ejemplo: Diésel, Gas Licuado, Gas Natural o Fuel Oil 6. El reemplazo de la tecnología se debe complementar con la alimentación de la energía eléctrica para la caldera a partir de autogeneración eléctrica en base a ER, o la suscripción de un contrato de suministro de energía eléctrica proveniente de plantas de generación en base a ER. Este tipo de medida es aplicable en las fábricas de proveedores de insumos para la minería que cuentan con procesos térmicos en sus líneas de producción, como por ejemplo: Neumáticos; Explosivos, Combustible, Ácido Sulfúrico, etc. Dado que la generación de calor en base a energía eléctrica renovable no genera emisiones de CO_2e , la implementación de esta medida permite reducir las emisiones correspondientes a Alcance 1 de la fábrica del proveedor.

- c) Uso de Buses eléctricos para transporte de personal: Para la evaluación de esta medida, se considera la inversión en buses eléctricos en reemplazo de buses convencionales con motor Diésel, para ofrecer los servicios asociados al transporte de trabajadores desde residencias a faenas mineras. Para la implementación de esta medida, se considera además la instalación de estaciones eléctricas para recarga de la batería de los buses. Este tipo de medida es aplicable a empresas que ofrecen servicio de transporte de personal hacia/desde una faena minera. La implementación de esta medida permite reducir las emisiones correspondientes a Alcance 1 de la empresa de servicio, asociados al consumo de Diésel.

Para cada una de las 3 oportunidades de reducción de emisiones recientemente presentada, se realizaron las siguientes evaluaciones:

- Obtener un indicador de costo beneficio (USD/emisiones abatidas) por implementación de la mejora de reducción de emisiones.
- Generar gráfico de costo de abatimiento (USD/ tCO_2e , versus toneladas abatidas) de la medida propuesta.

- Realizar evaluaciones económicas simplificada de oportunidades seleccionadas.
- Propuesta de un plan de implementación de las medidas seleccionadas.

5.4. Indicador Costo Beneficio (USD/emisiones abatidas).

El indicador seleccionado como indicador Costo-Beneficio de las medidas de abatimiento seleccionadas es el indicador “Costo de abatimiento”, el cual se define por la fórmula:

$$\text{Costo de abatimiento} \left[\frac{\text{USD}}{\text{tCO}_2\text{e}} \right] = \frac{\text{VAN}[\text{USD}]}{\text{Vida útil proyecto}[\text{año}] * \text{Emisiones anuales mitigadas} \left[\frac{\text{tCO}_2\text{e}}{\text{año}} \right]}$$

Ecuación 2. Fórmula para el calcular el costo de abatimiento.

Donde

- **VAN:** Corresponde al Valor Actual Neto resultante de realizar la evaluación económica de implementación del proyecto de reducción de emisiones seleccionado. Para la construcción del VAN de la medida, se requiere la construcción de un flujo de caja que incorpore el CAPEX y OPEX de la medida implementada.
- **Vida útil proyecto:** Corresponde al periodo de evaluación del proyecto. Para efectos de este reporte, se consideró un periodo de evaluación de 10 años para las tres medidas seleccionadas.
- **Emisiones anuales mitigadas:** Corresponde a emisiones de CO_2e anuales reducidas a consecuencia de la implementación de la medida.

Para la determinación del indicador de *Costo de Abatimiento* de cada medida, se desarrolló una herramienta en MS Excel ⁴⁷ que determina de forma automática el Indicador Costo Beneficio de las medidas seleccionadas, en función de variables particulares a la realidad de cada proveedor. A continuación, se describen las principales características de la herramienta desarrollada.

5.5. Herramienta para la determinación del costo de abatimiento de las medidas seleccionadas y Guía complementaria para su uso

Se desarrollo una Herramienta en MS Excel que permita determinar el costo de abatimiento de las medidas de reducción de emisiones seleccionadas, en base información que deben autocompletar los proveedores respecto a antecedentes técnicos del sistema requerido implementar y precios de los energéticos vigentes en sus procesos en la actualidad.

Esta herramienta, en base a la información de entrada aportada por el proveedor, fue diseñada para estimar de forma automática:

- El CAPEX por implementación de la medida seleccionada
- El OPEX resultante por implementación de la medida seleccionada

⁴⁷ Esta herramienta es parte del estudio y se encuentra disponible para descarga, uso libre y adaptación con fines particulares citando el origen.

- Los ingresos económicos que se obtienen por la implementación de la medida.
- Las emisiones de CO_2e abatidas por la implementación de la medida.
- El flujo de caja y la obtención del indicador económico VAN por implementación de la medida.
- el Costo de abatimiento de la medida.
- El gráfico de costo de abatimiento (USD/ tCO_2e , versus toneladas abatidas) de las medidas evaluadas.

En la **Figura 13** se presenta una imagen general de la interfaz de la herramienta, identificando en recuadros rojo la zona de ingreso de datos, sector de entrega de resultados y sector en que se grafican las curvas de abatimiento de las medidas evaluadas.



Figura 13. Interfaz Excel de la herramienta que calcula el Costo de abatimiento de proyectos.

A continuación, una descripción de los componentes que conforman la interfaz de la herramienta de determinación de costo de abatimiento de proyectos de reducción de emisiones.

I. Datos de entrada para uso de herramienta

- Consideraciones Generales:** En esta sección, el usuario debe ingresar datos relacionados a costos unitarios de las fuentes energéticas que se utilizan en la planta de fabricación del insumo para la minería o para la prestación del servicio de transporte de pasajeros. Complementariamente se pueden definir los parámetros económicos de tasa de descuento e Impuesto con que se realiza la evaluación económica del proyecto.

Consideraciones Generales	
Costo energético suministro eléctrico - Convencional [USD/MWh]	80,00
Costo energético suministro eléctrico - Renovable no Convencional [USD/MWh]	40,00
Costo Petróleo Diésel [USD/m ³]	930,00
Costo Gas Licuado [USD/ton]	630,00
Costo Gas Natural [USD/Nm ³]	0,53
Costo Fuel Oil 6 [USD/tm]	550,00
Tasa de Descuento	8,0%
Impuesto	35,0%

Figura 14. Interfaz de la herramienta donde se ingresan costos unitarios de fuentes energéticas.

En caso de que el usuario no modifique estos valores, la herramienta utilizará los valores por defecto precargados como dato de entrada.

- Autogeneración de energía eléctrica en base a ER:** En esta sección, el usuario que desea evaluar la medida de autogeneración de energía eléctrica en base a ER, debe ingresar antecedentes base que son requeridos para evaluar la medida de

implementación de paneles fotovoltaicos para sustitución de la fuente energética proveniente de la matriz eléctrica.

1. Autogeneración de energía eléctrica en base a ER	
Modo de suministro de energía eléctrica - Caso Base	Red
Modo de suministro de energía eléctrica - Caso Proyecto	Planta Fotovoltaica sin almacenamiento
Potencia neta requerida [MW] Entre 3 [MW] - 9 [MW]	5,0
Horas anuales de operación Entre 0 [h] - 8.760 [h]	5.500

Figura 15. Interfaz donde se ingresan antecedentes para evaluar la medida de autogeneración en base a ER.

Los datos requeridos ingresar son:

- **Modo de suministro de energía eléctrica - Caso Base:** En esta sección se indica la fuente de suministro de energía eléctrica usado en la actualidad. Se elige entre dos opciones; por la “Red” de distribución de energía eléctrica o por uso de “Grupos electrógenos”. La información se utiliza para determinar el costo anual base por suministro de energía eléctrica a la Planta.
- **Modo de suministro de energía eléctrica - Caso Proyecto:** En esta sección se indica que tipo de Planta Fotovoltaica se evaluara para implementación. Se elige entre dos opciones; “Planta Fotovoltaica con almacenamiento”, la cual incluye baterías para almacenamiento de energía en horas sol y posterior uso en horas sin sol; ó la opción de “Planta Fotovoltaica sin almacenamiento”. Esta información se utiliza para estimación del CAPEX y OPEX del proyecto.
- **Potencia neta requerida [MW]:** En esta sección se ingresa la potencia promedio esperada que aporte la Planta Fotovoltaica. El valor de ingreso debe estar entre 3 [MW] y 9 [MW] (Rango para PMGD). Esta información se utiliza para estimación del CAPEX y OPEX del proyecto.
- **Horas anuales de operación:** En esta sección se indican las horas anuales proyectadas de operación de la Planta Fotovoltaica. El valor de ingreso debe estar entre 0 y 8.760 horas/año. Como antecedente, una planta Fotovoltaica sin almacenamiento puede operar solo durante horas sol, mientras con un sistema con almacenamiento permite aumentar las horas de generación de la planta. Esta información se utiliza para determinación de CAPEX, ahorros en costo energético y emisiones de CO₂e abatidas.

Los criterios usados para la estimación de CAPEX y OPEX para la evaluación de esta medida se describen en la página 13 de la “Guía Complementaria Herramienta Costo de Abatimiento de Proyectos”

- c. **Uso de Calderas eléctricas, con energía eléctrica generada vía ER:** En esta sección, el usuario que desea evaluar la medida de reemplazo de calderas existentes a calderas eléctrica alimentadas a partir de energía eléctrica en base a ER, debe ingresar los siguientes antecedentes base para evaluar económicamente la implementación de esta medida:

2. Uso de Calderas eléctricas, con energía eléctrica generada vía ER	
Modo de suministro de combustible - Caso Base	Petroleo Diésel
Potencia neta requerida [MW] Entre 1,5 [MW] - 45 [MW]	5,0
Horas anuales de operación Entre 0 [h] - 8.760 [h]	7.000

Figura 16. Interfaz donde se ingresan antecedentes para evaluar la medida de uso de Calderas eléctricas.

- **Modo de suministro de combustible - Caso Base:** En esta sección de indica el combustible base usado en la actualidad por las Calderas. Se elige entre las opciones Diésel, Gas Licuado, Gas natural o Fuel Oil 6. La información ingresada se utiliza para determinación del costo energético base y cálculo de las emisiones mitigadas.
- **Potencia neta requerida [MW]:** En esta sección de indica la Potencia Térmica requerida suministrar por las Calderas Eléctricas. El valor de Potencia Térmica a ingresar debe estar en el rango entre 1,5 [MW] y 45 [MW]. La información ingresada se utiliza para determinación del CAPEX del Proyecto, OPEX y costo energético base.
- **Horas anuales de operación:** En esta sección de indica las horas anuales de operación de las Calderas Eléctricas. El valor a ingresar debe estar en el rango entre 0 y 8.760 horas. La información ingresada se utiliza para calculo consumo energético anual y las emisiones mitigadas.

Los criterios usados para la estimación de CAPEX y OPEX para la evaluación de esta medida se describen en la página 14 de la “Guía Complementaria Herramienta Costo de Abatimiento de Proyectos

- d. **Uso de Buses eléctricos para transporte de personal:** El usuario que desea evaluar la medida de uso de buses eléctricos en reemplazo de buses convencionales con motor Diésel para el transporte de trabajadores a faena minera, incorporando además la instalación de estaciones eléctricas para recarga de la batería de los buses , deberá ingresar los siguientes antecedentes base:

3. Uso de Buses eléctricos	
Cantidad de viaje anual por bus	1.200
N° Buses	10
Distancia viaje [km]	30
Cantidad de estaciones de carga	5
Ingresos por viaje [UDS/viaje]	600

Figura 17. Interfaz donde se ingresan antecedentes para evaluar la medida de uso de buses eléctricos.

- **Cantidad de viaje anual por bus:** En esta sección de indica la cantidad de viajes al año proyectado realizar por la flota de buses eléctricos a evaluar. Esta información se utiliza para el cálculo del consumo diésel que tendría una flota de buses convencional (caso base), el costo de energía eléctrica de la flota de buses eléctricos (caso proyectado) y las emisiones de CO₂e mitigadas.
- **N° Buses:** En esta sección de indica la cantidad de Buses eléctricos a ser adquiridos para el proyecto. Esta información se utiliza para Calculo del CAPEX, cálculo del consumo diésel (caso base), cálculo del costo de energía eléctrica (caso proyectado) y las emisiones de CO₂e mitigadas.
- **Distancia viaje [km]:** En esta sección de indica la distancia promedio que recorrerán los buses por viaje. Esta información se utiliza para el cálculo del consumo diésel (caso base), costo de energía eléctrica (caso proyectado) y las emisiones de CO₂e mitigadas.

- **Cantidad de estaciones de carga:** En esta sección se indica la cantidad de estaciones de recarga de baterías a implementar. Esta información se utiliza para el cálculo del CAPEX y OPEX por implementación de las estaciones de carga.
- **Ingresos por viaje:** En esta sección se indica el valor de venta proyectado por viaje del servicio de transporte de personal a la faena minera.

Es importante mencionar que, para la evaluación de esta medida, no se consideran variables geográficas o topológicas del trayecto a seguir por el bus. Los criterios usados para la estimación de CAPEX y OPEX para la evaluación de esta medida se describen en la página 15 de la “Guía Complementaria Herramienta Costo de Abatimiento de Proyectos”

II. Resultado Generales entregados por la herramienta

Una vez ingresado los datos de entrada anteriormente mencionados, la planilla calcula automáticamente los siguientes resultados:

- Potencia Requerida por la instalación
- Indicadores clave del Flujo de caja del proyecto: CAPEX, OPEX e Ingresos
- Indicadores Económicos y Costo de Abatimiento: VAN, Emisiones Mitigadas y Costo de abatimiento.

En la **Figura 18** se muestra cómo se presentan los resultados generales entregados por la herramienta.

N°	Iniciativa	Potencia [MW]	CAPEX [USD]	OPEX [USD/año]	Ingresos [USD/año]	VAN [USD]	Emisiones Mitigadas [tCO2e/año]	Costo de abatimiento [USD/tCO2e]
1	Autogeneración de energía eléctrica en base a ER	5	11.600.000	760.000	3.200.000	837.000	16.200	-5
2	Uso de Calderas eléctricas, con energía eléctrica generada vía ER	5	2.520.000	1.570.000	3.600.000	6.730.000	11.000	-61
3	Uso de Buses eléctricos	-	3.640.000	12.300	800.000	323.000	249	-130

Figura 18. Interfaz de la herramienta donde se presentan los resultados generales.

III. Curva de Costo de abatimiento

El gráfico denominado Curva de Costo de Abatimiento permite visualizar la comparación entre proyectos con respecto al nivel de rentabilidad y al potencial de reducción de emisiones. En la construcción del gráfico, se considera el orden de menor a mayor según el resultado de los costos de abatimiento de los proyectos.

En cada rectángulo mostrado del gráfico (o caso proyecto):

- El ancho representa la cantidad de emisiones mitigadas.
- La altura representa el costo de abatimiento

En el **Gráfico 2** se muestra un ejemplo de cómo se presentan los resultados obtenidos en base a la Curva de Costo de Abatimiento.

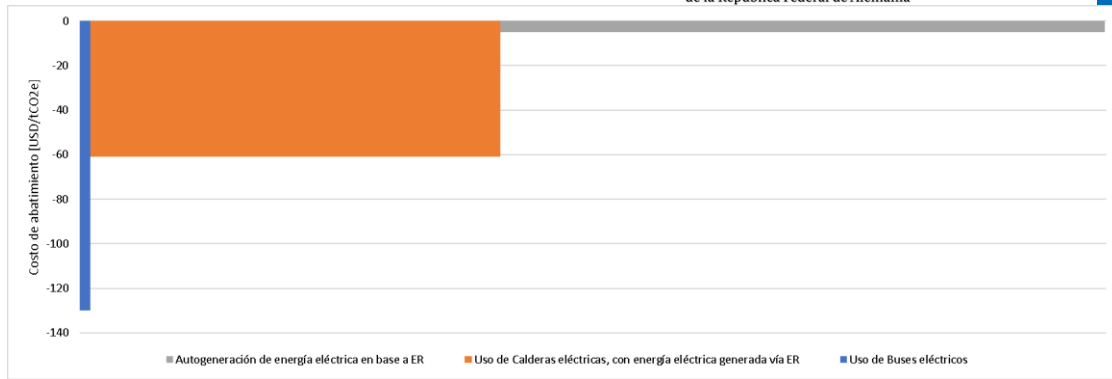


Gráfico 2. Ejemplo de Curva de Costo de Abatimiento que entrega la herramienta de las medidas seleccionadas.

El modo de uso de esta herramienta, así como la descripción de los criterios utilizados para la determinación del CAPEX, OPEX y evaluación económica de cada iniciativa, se explica en detalle en el documento “Guía complementaria herramienta de cuantificación costo de abatimiento de emisiones”.

Anexo al presente reporte se encuentra la “Guía complementaria herramienta de cuantificación costo de abatimiento de emisiones” la cual tiene por objetivo apoyar el uso de la herramienta.

5.6. Plan de implementación de medidas prioritarias.

A continuación, se presenta una propuesta de actividades de continuidad para implementación de las medidas de mitigación de emisiones de CO_2e seleccionadas.

I. Autogeneración de energía eléctrica en base a ER

En el caso de que a través del uso de herramienta de cuantificación de costo de abatimiento se identifica un escenario de interés para avanzar a la etapa de implementación de esta medida, se sugiere la ejecución de la siguiente secuencia de actividades:

- a. Gestionar la ejecución de un estudio de factibilidad del potencial de generación de energía en base a paneles fotovoltaicos evaluado en el sitio proyectado a implementar. Este estudio permitirá:
 - Analizar el perfil de consumo de energía eléctrica de la empresa.
 - Identificar zonas factibles de implementar la Planta Fotovoltaica y determinar el área disponible.
 - Estimación del potencial de generación anual de electricidad del sistema FV por análisis del perfil de radiación solar en la zona de emplazamiento de la Planta, considerando el área disponible para implementación.
 - Estimación de CAPEX y OPEX del sistema prediseñado.
 - Análisis del marco regulatorio aplicable al Sistema FV prediseñado y evaluación de interconexión del sistema FV a la red eléctrica.

- Evaluación de alternativas de financiamiento para implementación del sistema FV.
- b. En el caso de que el resultado de este estudio de factibilidad confirma la viabilidad técnica-económica para avanzar a la implementación del sistema, avanzar en la gestión de opción de financiamiento para la etapa de implementación.
- c. Realizar licitación para la implementación del sistema FV. Esto implica, elaboración de bases técnicas en base a la información consolidada del estudio de factibilidad, gestionar la cotización del sistema FV con empresas instaladoras con experiencia en la implementación de este tipo de sistemas, evaluación de ofertas, selección de oferta ganadora y firma de contrato.
- d. Ingeniería para construcción del sistema FV e implementación, ejecutado por empresa proveedora-instaladora seleccionada bajo la dirección del área de proyectos del mandante.
- e. Puesta en marcha del proyecto.
- f. Verificación de la promesa de reducción de emisiones de CO_2e del proyecto a través de la medición de la energía eléctrica generada por el Sistema FV.

Una guía de referencia que detalla las etapas para implementación de un Sistema FV es la “Guía para empresas e industrias de Sistemas Fotovoltaicos para el autoconsumo”, desarrollado por GIZ en coordinación con el Ministerio de Energía⁴⁸.

II. Uso de Calderas eléctricas, con energía eléctrica generada vía ER

En el caso de que a través del uso de herramienta de cuantificación de costo de abatimiento se identifica un escenario de interés para avanzar a la etapa de implementación de esta medida, se sugiere la ejecución de la siguiente secuencia de actividades:

- a. Gestionar la ejecución de un estudio a nivel de Ingeniería conceptual para determinación de cantidad de calderas eléctricas, potencias, alimentación eléctrica y redes de distribución de agua caliente o vapor requeridos intervenir para implementación de la medida. Incluye evaluación de factibilidad de conexión de la caldera eléctrica a S/E existentes o necesidad de implementar S/E nuevas.
- b. Con los resultados de la ingeniería conceptual, desarrollo de un estudio de Ingeniería Clase 5 para determinación de las partidas de Inversión y Opex resultantes, actualizando la evaluación económica del proyecto.
- c. En el caso de que el resultado de esta nueva evaluación económica resulte favorable para la inversión, desarrollar un estudio de Ingeniería básica de implementación del sistema para licitación de la ingeniería de detalles e implementación del sistema en modalidad EPC.
- d. Desarrollo de Protocolo para la medición y verificación de la reducción de emisiones de CO_2e por implementación del proyecto.

⁴⁸ Disponible en: <https://autoconsumo.minenergia.cl/?p=2894>

- e. Licitación de la implementación del sistema en modalidad EPC. Esto implica, elaboración de bases técnicas para, en base a la información elaborada en la Ingeniería Básica, gestionar la cotización por implementación del sistema con empresas EPC con experiencia en la implementación de este tipo de sistemas, evaluación de ofertas, selección de oferta ganadora y firma de contrato.
- f. Desarrollo de Ingeniería de detalles y construcción del proyecto, ejecutado por empresa EPC bajo dirección del área de proyectos del mandante.
- g. Puesta en marcha del proyecto.
- h. Verificación de la promesa de reducción de emisiones de CO_2e del proyecto utilizando protocolo definido en d.

III. Buses eléctricos para transporte de personal

En el caso de que a través del uso de herramienta de cuantificación de costo de abatimiento se identifica un escenario de interés para avanzar a la etapa de implementación de esta medida, se sugiere la ejecución de la siguiente secuencia de actividades⁴⁹:

- a. Gestionar el desarrollo de un estudio de análisis técnico de factibilidad de uso de buses eléctricos en la(s) ruta(s) proyectada(s) para transporte del personal. Este estudio permitirá definir:
 - Caracterización de la ruta a utilizar para el transporte del personal, incluyendo análisis de variables geográficas y topológicas del trayecto.
 - Caracterización de las frecuencias de viaje, horarios, duración, cantidad de personal a transportar, etc.
 - Elaboración de un modelo que evalúe la curva de tracción característica de la ruta a utilizar, evaluada para diferentes alternativas de modelos de buses eléctricos.
 - Evaluación de la curva de demanda de potencia de energía y regeneración del bus para el trayecto seleccionado y determinación del consumo energético del trayecto.
 - Desarrollar modelo de extrapolación de los resultados anteriores evaluados por bus, a la Flota de buses proyectada para determinar la Curva de Potencia Total de la flota en un día de operación.
 - Selección de tipo de baterías a considerar en base a los resultados de los análisis anteriores.
 - Definición de cantidad de estaciones de carga requeridas implementar.
 - Análisis de CAPEX y OPEX del sistema diseñado.
 - Análisis del marco regulatorio.

⁴⁹ Como complemento a esta información se recomienda revisar el documento: “Guía para la elaboración de una Hoja de Ruta para adoptar la electromovilidad en la minería chilena”, elaborado por GIZ en el marco del trabajo con la Red de Eficiencia Energética y Reducción de Emisiones. Disponible en: <https://4echile.cl/material-de-difusion/guia-para-la-elaboracion-de-una-hoja-de-ruta-para-adoptar-la-electromovilidad-en-la-mineria-chilena/>

- Evaluación de alternativas de financiamiento para la implementación.
- b. En el caso de que el resultado de este estudio de factibilidad confirma la viabilidad técnica-económica para avanzar a la implementación del sistema, gestionar el Financiamiento para la adquisición de la flota de buses y estaciones de carga.
- c. Elaboración de Especificaciones Técnicas para adquisición de flota de buses eléctricos y estaciones de carga.
- d. Licitación para compra de flota de buses eléctricos e implementación de estaciones de carga.
- e. Adquisición de la Flota de Buses.
- f. Desarrollo de planes de formación para el mantenimiento / operación de la flota de buses eléctricos
- i. Diseño e implementación de estaciones de carga, ejecutado por empresa asignada en la licitación, bajo dirección del área de proyectos del mandante.

6. Conclusiones y Recomendaciones

Es importante que los proveedores y prestadores de servicios de la minería chilena, comprendan los beneficios y ventajas competitivas que existen, al avanzar en la descarbonización de sus procesos, sobre todo teniendo en cuenta los compromisos crecientes de la industria minera en reducir sus emisiones asociadas a la cadena de suministro (Alcance 3). En este sentido, el presente estudio y los documentos que lo conforman, pretenden servir de apoyo para aquellos proveedores que comercializan sus productos y servicios para la industria minera.

En particular, a continuación, se presentan las principales conclusiones por parte del equipo consultor:

- A nivel de Estado del Arte en materia de descarbonización de la cadena de suministro en faenas mineras, se identifica que el desarrollado a la fecha se encuentra en una etapa temprana, probablemente a la espera de la definición de acciones de cuantificación de emisiones de Alcance 3 de las Compañías Mineras, como también compromisos formales nacionales e internacionales que vayan definiendo durante los próximos años. Estos compromisos obligarán a los proveedores a involucrarse y a las compañías minera a generar planes de reducción de emisiones en toda la cadena de suministro.
- Existen algunas empresas mineras, identificadas a través del benchmarking, que comprenden la importancia de cuantificar y gestionar las emisiones de GEI de la cadena de suministro, dando importantes pasos al definir límites, metodologías de cálculo y metas tempranas de reducción de Alcance 3.
Se espera que con su compromiso de avanzar hacia insumos y/o servicios con menos emisiones, les permitirá trabajar con proveedores estratégicos y beneficiarse en conjunto, por un lado, la empresa minera reduce su Alcance 3 y los proveedores reducen su Alcance 1 y Alcance 2.
- Las empresas proveedoras deben avanzar en el conocimiento de las distintas metodologías de cálculo de huella de carbono, tanto para determinar las emisiones de su Organización,

como de los Productos o servicios que comercializan. El contar con claridad respecto a las distintas metodologías y su aplicabilidad según el objetivo a medir, es fundamental para que el trabajo a desarrollar por parte de las empresas proveedoras permita incorporar dichos valores en la cuantificación de emisiones de las compañías mineras al momento de adquirir insumos o servicios de parte de estos.

- Si bien para efecto de este estudio se consideraron los principales insumos y servicios que impactan en el Alcance 3 de la Huella de una Compañía Minera de Cobre, litio, potasio y yodo en Chile (bajo regla de Pareto), siendo estos: Neumáticos, Producción de Explosivos, Producción de combustibles, Ácido sulfúrico, Bolas de Molienda, Cal, Carbonato de sodio, Transporte terrestre y marítimo de insumos, Transporte terrestre y aéreo de trabajadores, y Transporte terrestre y marítimo de productos (Concentrado y cátodos de cobre, Carbonato e Hidróxido de litio, Cloruro de potasio, Sulfato de potasio y Yodo), se aconseja que todo proveedor de insumos o servicios avance en la línea de cuantificar su impacto. Para ello, se recomienda analizar los documentos asociados a este Estudio, lo que le permitirá conocer conceptos clave y comprender la metodología de cálculo que existe en la Herramienta de Autoevaluación (Calculadora). Uno de los fines de este trabajo, es poner a disposición estos documentos al sector minero (proveedores, empresas y otros), para que puedan adaptarlos a sus necesidades, ya sea editándolos o bien como información complementaria, para alimentar algún otro proyecto en curso relacionado a la huella de carbono de la cadena de suministro.
- Luego de analizar distintas medidas de reducción de emisiones posibles de ser implementadas por las empresas proveedoras, se seleccionaron tres que, a criterio del Consultor y de acuerdo con criterios de priorización presentados, podrían tener mayor impacto: 1) Autogeneración de energía eléctrica en base a ER, 2) Uso de Calderas eléctricas, con energía eléctrica generada vía ER, y 3) Uso de buses eléctricos para transporte de personal. En base a estas iniciativas se desarrolló una “Herramienta de Cuantificación de Costo de Abatimiento”, la cual permite obtener una primera evaluación de las medidas aplicada a la empresa proveedora que la utiliza.

A continuación, se indican algunas recomendaciones dirigidas a los proveedores, que le podrían ayudar a avanzar de forma más efectiva en materia de descarbonización de sus actividades.

- Se recomienda establecer comunicación y trabajar en conjunto entre proveedores de la industria minera (ej: dentro de asociaciones de proveedores) ya sea que comercialicen el mismo producto u otros, y de esta forma avanzar en conjunto en:
 - Comprender las fuentes claves de emisión dentro del ciclo de vida de un producto, identificando las responsabilidades de los diferentes actores en cada etapa.
 - Disponer de un método claro y consistente para evaluar y verificar las emisiones de gases de efecto invernadero de los productos a lo largo de su ciclo de vida. Esto permite resultados más estandarizados y comparables entre proveedores que comercialicen un mismo producto, lo que otorga un punto de referencia para la cuantificación y reporte de emisiones de GEI y su reducción.
 - Identificar oportunidades de reducción priorizando su importancia relativa a través de todas las fases del ciclo de vida. Esto les puede permitir definir oportunidades de mejora comunes, y trabajar en conjunto para generar las condiciones habilitantes que permitan

probar e implementar tecnologías más limpias dentro de sus procesos y/o servicios. En este punto, el trabajo conjunto y coordinado con las compañías mineras podría agregar mayor valor a la industria completa.

- Se recomienda avanzar en calcular sus propios factores de emisión asociados a sus productos y/o servicios, con el fin de reducir la incertidumbre en sus cálculos de emisiones de GEI. Si bien los factores de emisión que provienen desde bases de datos internacionales son valores muy utilizados, siempre tienen consideraciones que pueden sobreestimar o subestimar las emisiones finales. Lo ideal es que cada proveedor sea capaz de conocer el factor de emisión y emisiones asociado a sus productos y/o servicios.
- Los proveedores que avancen tempranamente en la cuantificación de sus emisiones tanto corporativas (considerando medición de Alcance 1, 2 y 3 de la Huella de Carbono) como de sus productos y servicios, tendrán un factor diferenciador importante en una industria que avanza a paso firme en la reducción de sus emisiones de GEI.
- Por último, se recomienda a los proveedores estrechar los vínculos con sus clientes mineros, de esta forma poder aunar esfuerzos para trabajar de manera sostenida y efectiva en las condiciones necesarias para avanzar en la implementación de tecnologías más limpias. Es importante tener una visión integral del proceso, si los proveedores logran reducir sus emisiones de GEI en sus productos y servicios, esto repercute directamente y de forma positiva en el Alcance 3 de la minería chilena. Por ende, la recomendación final apunta a buscar sinergia entre proveedores y empresas mineras para avanzar en la descarbonización de la industria.

7. Referencias

- Albemarle. (2021a). *CDP Climate Change Questionnaire 2021*.
- Albemarle. (2021b). *Sustainability Report*.
- Anglo American. (2021). *Anglo American FY2020 Scope 3 Methodology*.
- Barrick. (2022). *Barrick Sustainability Report 2021*.
- BHP. (2021). *Scope 1, 2 and 3 GHG emissions calculation methodology 2021*.
- BID. (2022). *Guía sobre emisiones en la cadena de suministro de la minería*.
- Cochilco. (2021). *Análisis del mercado de insumos críticos en la minería del cobre (2020)*.
- Collahuasi. (2020). *Huella de Carbono Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM - Año 2019*.
- Collahuasi. (2022). *Reporte de Sustentabilidad 2021*.
- Enviall.es. (2017). *El análisis de ciclo de vida como herramienta de decisión y estrategia sostenible*.
<https://www.envirall.es/el-analisis-de-ciclo-de-vida-como-herramienta-de-decision-y-estrategia-sostenible/>
- Fortescue Metals Group. (2022). *Fortescue FY21 Scope 3 emissions calculation methodology*.
- Green Solutions. (n.d.). *Gestión de Huella de Carbono*. Retrieved January 17, 2023, from
<https://www.greensolutions.cl/huelladecarbono>
- ICMM. (2021). *Compromiso de Cambio Climático ICMM*. <https://www.icmm.com/es/gestion-ambiental/cambio-climatico/declaracion-del-icmm-sobre-cambio-climatico>
- ISO. (2019). *ISO 14064-2:2019, Gases de efecto invernadero — Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento en las remociones de gases de efecto invernadero*.
- Paillacán, E. (2021). *Análisis de procesos de plantas químicas con modelos de redes aleatorias y espacio estado*.
- Rio Tinto. (2021). *Rio Tinto Scope 1, 2 and 3 Emissions Calculation Methodology 2021*.
- SQM. (n.d.). *Informe Consolidado de la Evaluación de Impacto Ambiental de la Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto "Modificación Planta SOP."*
- SQM. (2013). *Informe de fiscalización ambiental Faena Nueva Victoria SQM*.
- SQM. (2021). *Sustainability of lithium production in Chile*.
- SQM. (2022). *Reporte de Sostenibilidad 2021*.

Teck. (n.d.). *Sustainability Approach and Goals*. Retrieved January 17, 2023, from <https://www.teck.com/sustainability/approach-to-responsibility/sustainability-approach-and-goals/>

Vale. (2021). *CDP Climate Change Questionnaire 2021*.

WBCSD & WRI. (2004). *A Corporate Accounting and Reporting Standard*.

WBCSD & WRI. (2011a). *Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard GHG Protocol Team*.

WBCSD & WRI. (2011b). *Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard GHG Protocol*.

Yañez, O. (2006). *Gestión del conocimiento en SQM Salar*.