

FACULTAD DE
INGENIERÍA Y CIENCIAS

UAI
UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ

Hoja de Ruta asociada al Instituto de Tecnológicas Limpias incorporando portafolio de proyectos vinculados

Dante Ignacio Castro Céspedes

dancastro@alumnos.uai.cl

13 de diciembre de 2023

1. Resumen Ejecutivo

Se realiza hoja de ruta del Instituto de Tecnologías Limpias (ITL) con la colaboración de las principales empresas mineras del país (tales como Codelco, BHP y Antofagasta Minerals), socios del área de la energía (representantes como Colbún y ENEL) y mundo tecnológico (con las principales universidades del país junto a otros centros tecnológicos internacionales), en un taller de trabajo donde se colaboró para identificar las actuales metas, desafíos y líneas de investigación y desarrollo (I+D) para afrontar las brechas tecnológicas presentes en la industria minera para afrontar la tarea de la carbono-neutralidad a 2050.

El documento da un contexto a nivel nacional en las materias relevantes presentadas por el mundo minero-energético, dando a conocer cuáles son las necesidades concretas de la industria y hacia donde mundo académico/tecnológico está y debe apuntar sus esfuerzos de desarrollo para las áreas que se encasillan en los siguientes 4 núcleos.

- 1. Energía y combustibles solares. / 2. Recurso hídrico y pasivos mineros. / 3. Procesos mineros sustentables. / 4. Electromovilidad, baterías y cadena de valor.*

Donde el desarrollo de tecnologías asociadas al ITL tiene el potencial de contribuir en un 100% con la meta intermedia de reducción de gases de efecto invernadero planteada por la ECLP de 6 millones de toneladas de CO₂ equivalente en la minería de Chile.

Respecto al consolidado de documentos recibidos por el ITL, se genera una base de datos a partir de 195 documentos de diferentes instituciones permitiendo acceder a esta información por medio de un único documento, trayendo consigo la fácil accesibilidad, estadísticas y disminución de tiempo de acceso a proyectos, desde una demanda que generada por socios del ecosistema.

1.1 Abstract

A roadmap for the Institute of Clean Technologies (ITL) is being developed in collaboration with the country's leading mining companies (such as Codelco, BHP, and Antofagasta Minerals), partners in the energy sector (representatives like Colbún and ENEL), and the technological world (involving major universities in the country along with other international technological centers). This collaborative effort took place during a workshop where participants worked together to identify current goals, challenges, and research and development priorities. The aim is to address technological gaps in the mining industry in order to achieve carbon neutrality by 2050.

The document provides a national context for the relevant issues presented by the mining-energy sector, revealing the specific needs of the industry. It also indicates the direction in which the academic and technological sectors are and should be directing their development efforts. These efforts are categorized into the following four core areas:

1. Solar energy and fuels.
2. Water resources and mining liabilities.
3. Sustainable mining processes.
4. Electromobility, batteries, and value chain.

The development of technologies associated with the ITL has the potential to contribute 100% to the greenhouse gas reduction target set by the ECLP, aiming to reduce 6 million tons of CO₂ equivalent in Chile's mining sector.

Regarding the consolidation of documents received by the ITL, a database is created from 195 documents from various institutions, allowing easy access to information through a single document. This brings about easy accessibility and reduces the time required to access projects.

Tabla de contenido

1. Resumen Ejecutivo.....	2
1.1 Abstract	3
2. Áreas de ingeniería en que se desarrollará el proyecto	6
3. Contexto.....	6
4. Definición de la necesidad.....	6
5. Objetivos.....	7
5.1 Objetivo General	7
5.2 Objetivos específicos	7
6. Estado del arte	7
6.1 Categorización de emisiones de gases de efecto invernadero	7
• 6.1.1 Alcance 1	7
• 6.1.2 Alcance 2:	8
• 6.1.2 Alcances 3:	8
6.2 Macroprocesos.....	8
6.3 Emisiones de GEI en la minería de Chile	9
7. Posibles soluciones	13
7.1 Ponderación de criterios.....	14
8. Metodologías	15
8.1 Metodología objetivo específico 1	15
8.2 Metodología objetivo específico 2	16
8.3 Metodología objetivo específico 3	17
8.4 Metodología objetivo específico 4	18
9. Medidas de desempeño	18
10. Planificación del trabajo.....	20
11. Plan de Implementación.....	20
1.1 Análisis de riesgo.....	23

12.	<i>Evaluación económica</i>	24
13.	<i>Desarrollo</i>	24
13.1	Portafolio de proyecto	24
13.2	Desarrollo de estimaciones de emisiones hasta el año 2030 para la minería chilena .	25
13.3	Cálculo de reducción de emisiones	28
13.4	Desarrollo hoja de ruta	31
14.	<i>Resultados</i>	32
14.1	Portafolio.	32
14.2	Estimación de reducción de emisiones	32
14.3	Análisis	33
14.4	Hoja de ruta	34
15.	<i>Conclusiones</i>	36
16.	<i>Bibliografía</i>	37

2. Áreas de ingeniería en que se desarrollará el proyecto

Las áreas de ingeniería en que se desarrollará el proyecto son las siguientes:

- a) Impacto ambiental, sostenibilidad, desarrollo territorial, procesos productivos
- b) Innovación en recursos críticos: Agua, electricidad, combustibles solares.

3. Contexto

El cambio climático es, sin lugar a duda, uno de los desafíos más urgentes para la humanidad en la actualidad, y se ha llegado a consenso de que se requiere una acción decidida para afrontarlo. En respuesta a esta crisis global, la comunidad internacional ha dado un paso significativo al adoptar el Acuerdo de París, que establece el ambicioso objetivo de alcanzar la neutralidad de emisiones de carbono a la atmósfera para el año 2050, donde la Minería y específicamente la industria del cobre juega un rol fundamental al estar presente en la demanda de los elementos críticos, donde se espera que la solicitud de este mineral se duplique para mediados de siglo [1].

Siguiendo esta misma línea de pensamiento, se encuentra en formación el Instituto Chileno de Tecnologías Limpias (ITL) en Antofagasta, impulsado por Corfo, y con la conformación de la Asociación para el Desarrollo del Instituto de Tecnologías Limpias (ASDIT) consorcio liderado por la Corporación Alta Ley, las principales empresas mineras que operan en la región de Antofagasta, las principales empresas generadoras de energías del país, centros tecnológicos internacionales y las principales universidades de Chile, en la que de igual manera se encuentra la Universidad Adolfo Ibáñez. Este Instituto es el instrumento tecnológico orientado hacia una minería baja en emisiones más importante que se haya desarrollado en nuestro país y que busca fomentar la minería verde, la energía solar y avanzar en el desarrollo de hidrógeno verde junto a otros combustibles solares mediante la implementación de plataformas tecnológicas alineadas con el propósito estratégico de que la minería sea carbono neutral al año 2050.

Donde los asociados a este instituto han proporcionado su información referente a sus proyectos, capacidades instaladas y capacidades de equipo por medio de 195 documentos sin analizar ni vincular con el desafío de la descarbonización.

4. Definición de la necesidad

El ITL, se encuentra con la problemática de falta de recopilación de información y la falta de análisis de esta para afrontar el desafío de la descarbonización de la industria minera con la vinculación del mundo industrial y académico. Esto, con el fin de poder tener y mostrar ante requerimientos de empresas un punto de partida y llegada donde plasmar y proyectar la

información de las tecnologías necesarias en el ecosistema de innovación de la industria para su potencial desarrollo, como también, la contribución de esta iniciativa en la brecha de mitigación nacional establecida por la *ECLP 2021* [2].

5. Objetivos

5.1 Objetivo General

Generar documentación para la empresa y minería a mediano y largo plazo con alto impacto en términos de emisiones que genera el sector minero, asociado al Instituto de Tecnologías Limpias que contemple un portafolio tecnológico disponible alineado con metas nacionales de mitigación de GEI.

5.2 Objetivos específicos

1. Recopilar y analizar “one-pages” de proyectos recibidos por ITL.
2. Cuantificar la reducción de CO_{2eq} de la muestra significativa del total de proyectos al año 2030.
3. Analizar el potencial aporte de reducción de CO_{2eq} de la muestra significativa de proyectos que desarrollará el ITL según metas a nivel nacional.
4. Crear Hoja de Ruta para mostrar y planificar la información.

6. Estado del arte

Se investigan temas de Impacto ambiental, sostenibilidad e Innovación en recursos críticos en la minería, relacionado con investigaciones referentes a cálculos de emisiones y documentos de los temas anteriormente mencionados.

6.1 Categorización de emisiones de gases de efecto invernadero

Las emisiones generadas a partir de cualquier proceso productivo son clasificadas según su alcance 1, 2 y 3 a partir de las definiciones propuestas por GHG Protocol, las cuales son tomadas como referencia a nivel mundial para la medición y categorización de las emisiones, estas se detallan a continuación.

- **6.1.1 Alcance 1:** son emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) directas que provienen de fuentes que son propiedad o son controladas por la empresa [3]. Relacionadas directamente con el consumo energético de combustibles para el caso de la minería.

- 6.1.2 Alcance 2: son emisiones GEI indirectas asociadas a la producción de energía que es utilizada en las dependencias de la empresa [3]. Relacionadas directamente con el consumo energético de la energía eléctrica para el caso de la minería.
- 6.1.2 Alcances 3: emisiones de GEI indirectas que no están controladas por la empresa y que se asocian a la cadena de valor de la empresa [3]. Relacionadas directamente con proveedores para el caso de la minería.

6.2 Macroprocesos

A continuación, se detallan los Macroprocesos de la minería a base de las definiciones de Cochilco, que se ocuparan en el presente documento.

Mina Rajo	Se entiende por <i>Mina Rajo</i> como el conjunto de procesos unitarios necesarios para la extracción del mineral (mena) desde una faena minera a rajo abierto para su posterior procesamiento y recuperación del mineral. Algunos de los principales procesos son: perforación y tronadura, transporte, carguío, chancado primario, entre otros. (Considera hasta el proceso unitario de Chancado Primario)
Mina Subterránea	Se entiende por <i>Mina Subterránea</i> como el conjunto de procesos unitarios necesarios para la extracción de mineral desde una faena minera subterránea, utilizando cualquier método de explotación subterráneo, para su posterior procesamiento y recuperación del mineral. Algunos de los principales procesos considerados son: perforación y tronadura, transporte, carguío, chancado primario, entre otros.
Concentradora	Considera todos los procesos unitarios, posteriores al chancado primario, involucrados en la producción de concentrado de cobre. Los principales procesos considerados son: Plantas Chancado, Molienda Tradicional, Molienda S.A.G., Concentración (Flotación), Filtrado, entre otros.
LX/SX/EW	Considera los procesos unitarios hidrometalúrgicos involucrados en la producción de cátodos electrobtenidos. Los principales procesos involucrados son: Aglomeración, Lixiviación ROM, Lixiviación HEAP, Extracción por Solventes y Electrobtenición.
Fundición	Considera todos los procesos unitarios involucrados en la producción de cobre blister a partir de concentrados de cobre. Los principales procesos considerados son: Secado, Fusión (hornos), Conversión, Pirorefinación (refino y moldeo), entre otros.
Refinería	Corresponde al proceso físico de electrólisis con el cual se obtienen cátodos de cobre de alta pureza.
Servicios	Corresponde a aquellas actividades que no se encuentran involucradas en los procesos productivos unitarios de la cadena de valor principal, pero que son necesarias para el desarrollo de la minería y poseen consumo energético de importancia como lo son: consumo energético en talleres, en campamentos, impulsión y desalación de agua, entre otros.

Tabla 1: Definiciones de Macroprocesos en minería chilena

Fuente: Cochilco [4]

6.3 Emisiones de GEI en la minería de Chile

A continuación, se presentan los GEI registrados hasta el año 2022 a partir del registro realizado por Cochilco.



Ilustración 1: Emisiones EA1 y EA2 de Chile 2011 a 2020

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Cochilco [5]

A destacar que en el año 2018 existió una baja de alrededor de 3 millones de toneladas de CO₂ equivalente debido a que en el año en cuestión surgió el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), el cual proviene del Sistema Interconectado Central (SIC) y el Sistema Interconectado Norte Grande (SING), siendo este último el utilizado en mayor parte por las compañías mineras chilenas en los años anteriores y la cual era a la vez el sistema más intensivo en el uso de energía por combustibles fósiles, pasando así de 0,773 tCO₂ eq/MWh en 2017 a 0,418 tCO₂ eq/MWh en 2018 con SEN, donde en gran medida esta disminución se debe a la generación de energía eléctrica proveniente de energías renovables y gracias a las metas de la Política Energética 2050 se espera que el factor de emisión continúe disminuyendo y con ello las emisiones de alcance 2 de la industria minera [6].

Respecto a las emisiones de alcance 1 estas se mantienen en crecimiento gradual a lo largo de los años presentados, representando un 19% del total de las emisiones total de alcance 1, 2 y 3 para el 2020 como se pudo ver de manera detallada en el siguiente gráfico.

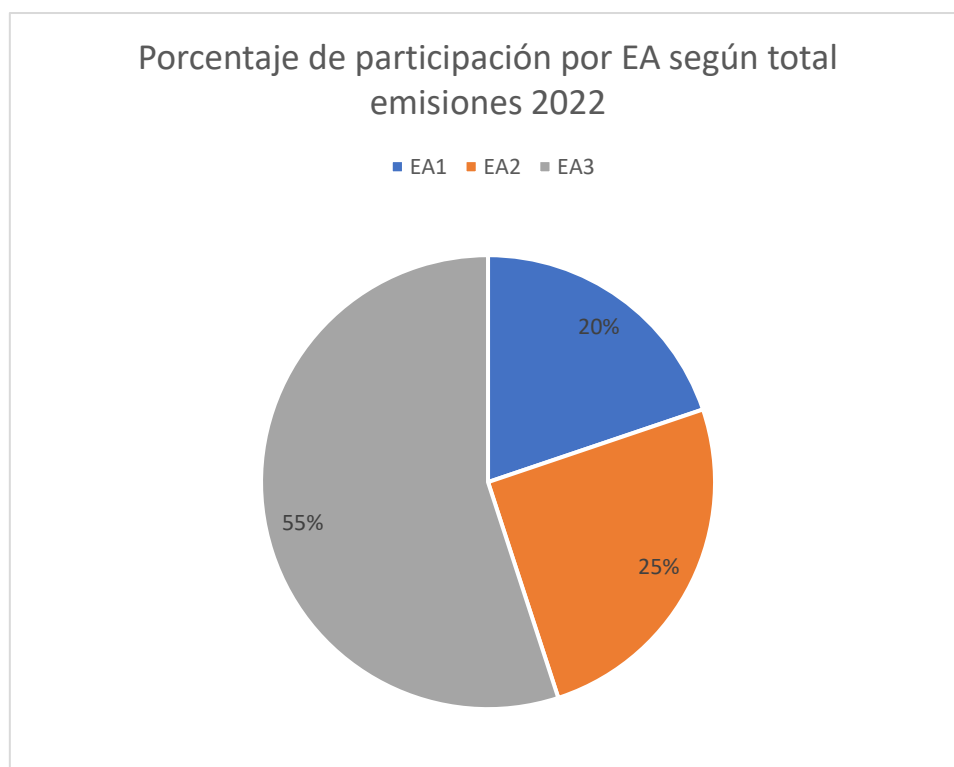


Ilustración 2: Porcentaje de participación según alcance de emisión

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Cochilco [5] para EA1 y 2 e información de Hinicio para el cálculo de EA3 [6].

Con emisiones totales de 32,98 Mt de CO_{2eq.} donde las emisiones de alcance 3 se posiciona con la mayor proporción de contribución a los gases de efecto invernadero con el 50% del total de estos, que al desglosarlos por macroprocesos la mayor contribución la aporta la operación en mina-planta con 59% de participación, luego el proceso de FURE con 35% del total de EA3 [7]. Se procede a caracterizar la participación histórica del total de alcances 1 y 2 por macroproceso.

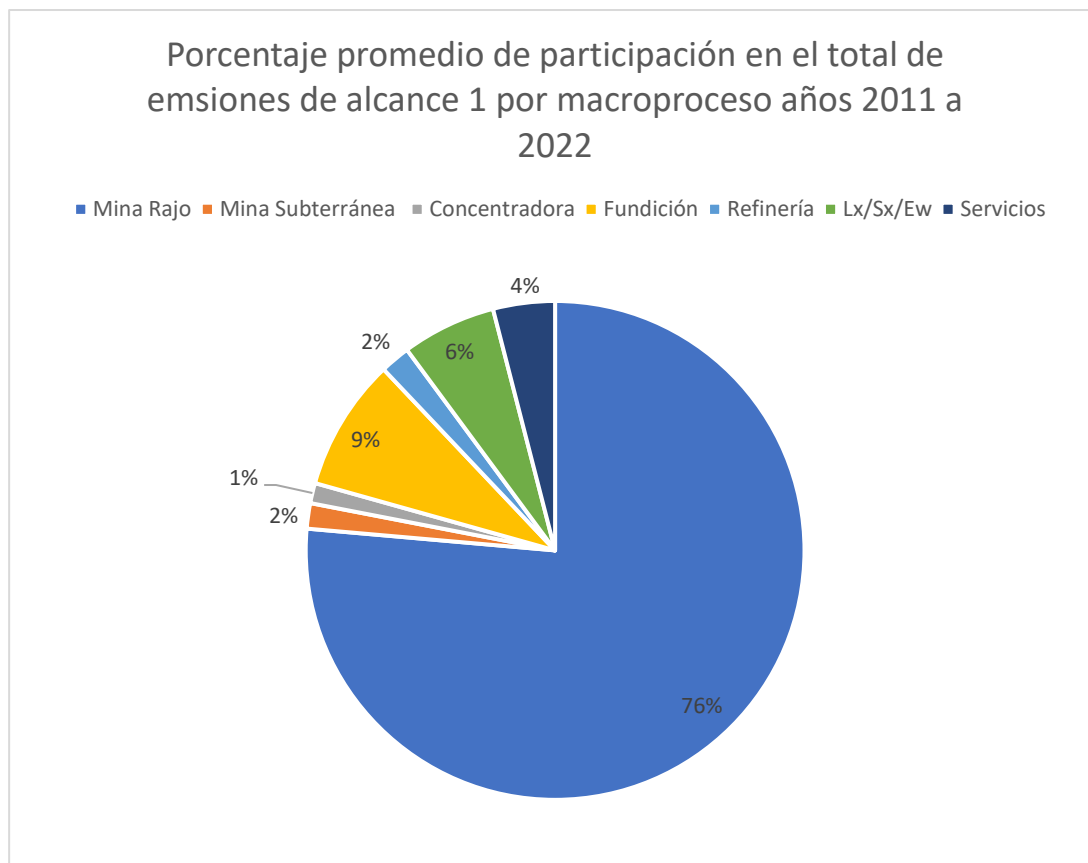


Ilustración 3: Porcentaje promedio de participación en el total de emisiones de alcance 1 por macroproceso años 2011 a 2022

Fuente: elaboración propia a partir de información de Cochilco [5]

El alto porcentaje de participación de emisiones de mina rajo abierto se debe al consumo de energía por uso de combustibles fósiles, destacando el diésel como el más utilizado en la minería de Chile con un 91% del consumo total de combustibles [8] y en mina rajo es donde más se requiere este insumo principalmente por los camiones de alto tonelaje (CAEX).

A continuación, se procede a mostrar la caracterización de porcentaje de participación histórica del total de emisiones de alcance 2 por macroproceso.

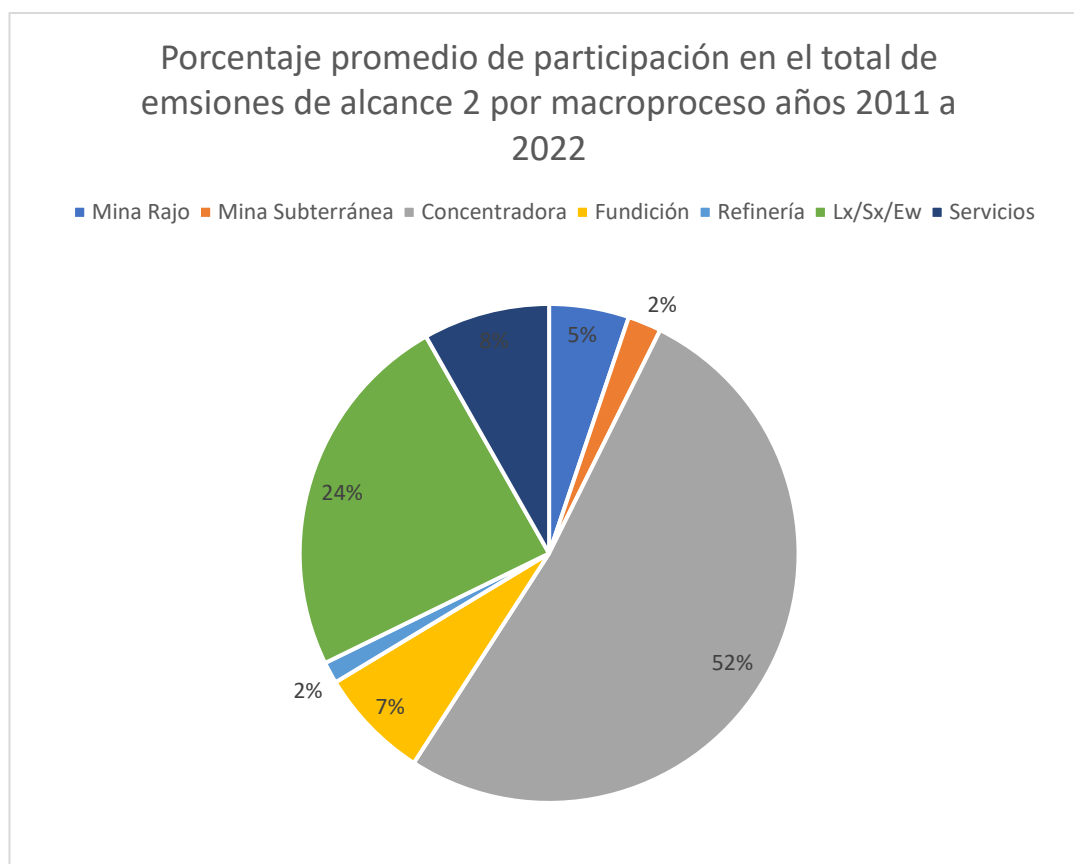


Ilustración 4: Porcentaje promedio de participación en el total de emisiones de alcance 2 por macroproceso años 2011 a 2022

Fuente: elaboración propia a partir de información de Cochilco [5].

Se evidencia que la mayor participación en EA2 es por parte del proceso de la concentradora, debido al gran gasto energético que se genera por maquinaria de conminución de material, seguido por LX/SX/EW.

Dado los datos y definiciones que amerita el proyecto, se presentan fuentes en las que se enfrentan al problema de falta de análisis de información respecto al cambio climático.

1. Descarbonización e Hidrógeno Verde en la minería chilena: estado del arte y principales desafíos. (2022). En Cochilco (N° 2022-A-10681) [9].
 - Informe técnico que explora la descarbonización de la minería chilena a partir de iniciativas realizadas por empresa mineras, en donde se realizan proyecciones a partir de la Taza de Crecimiento Anual Compuesto, herramienta que permite establecer un factor de crecimiento para estimaciones.
2. Guía sobre emisiones en la cadena de suministro de la minería: Línea base sectorial y propuestas para la acción. (2022). En Corporación Alta Ley (RG-T3553). Banco

Interamericano de Desarrollo (BID) 1300 New York Avenue, N.W. - Washington, D.C. 20577, USA [7].

- Guía en la cual a partir de datos calculados existentes categoriza emisiones de alcance 3.
3. ESTRATEGIA CLIMÁTICA DE LARGO PLAZO DE CHILE CAMINO A LA CARBONO NEUTRALIDAD Y RESILIENCIA A MÁS TARDAR AL 2050. (2021). En Ministerio del medio ambiente [2].
- Hoja de ruta que asigna presupuesto de emisiones a diferentes sectores industriales proponiendo metas estratégicas de corto, mediano y largo plazo para llegar a la carbono-neutralidad.
4. 4 RoadMaps presentados por la Corporación Alta Ley.
- En los cuales desde mesas de trabajo se definen metas, brechas y soluciones para llegar a titulares referentes a temas necesario para el desarrollo y sostenibilidad de la minería chilena.

Entre otros documentos que a partir de la meta deseada se genera un estudio aguas abajo para afrontarlo en el tiempo.

7. Posibles soluciones

Existen diferentes textos informativos en los cuales es posible transmitir la información sobre el Instituto de Tecnologías Limpias. A continuación, se muestran las posibles.

Informe técnico: Ampliamente reconocido y valorado a nivel global. Se destaca por su precisión y minuciosidad en la presentación de datos e información acerca de la problemática tratada. Su estructura estándar facilita su lectura y permite una comparación efectiva con otros informes similares. Sin embargo, su rigidez estructural puede hacer que se vuelva obsoleto con rapidez, especialmente ante los rápidos cambios tecnológicos e industriales. Esto resulta como una limitación si la adaptabilidad y flexibilidad son prioridades para la organización.

Revista Científica: Estas publicaciones gozan de reconocimiento mundial en el ámbito académico e investigativo. Actualizadas constantemente, presentan los últimos avances, lo que permite a los lectores citar y consultar información relevante para futuras investigaciones. Serían ideales para presentar nuevos desarrollos tecnológicos en el ITL, pero existen limitaciones debido a acuerdos de confidencialidad con instituciones participantes. Además, el formato tradicional de una revista científica no suele incluir visiones o estimaciones a largo plazo.

Estudio de Caso Tecnológico: Este enfoque se utiliza para ilustrar el impacto o la aplicación de una solución en un contexto específico. Se caracteriza por su flexibilidad metodológica,

permitiendo la incorporación de diversos métodos de recopilación de datos, como entrevistas o mesas de diálogo. Ofrece una visión clara de cómo una solución se adapta y funciona en un contexto particular.

Hoja de ruta (RoadMap): Esta herramienta permite trazar y planificar objetivos, metas y las etapas para alcanzarlos. Facilita la priorización de tareas basada en estrategias a largo plazo y es lo suficientemente flexible como para adaptarse a cambios imprevistos, sin perder ni dejar de lado la visión y objetivos generales del proyecto.

7.1 Ponderación de criterios

A continuación, se muestra la tabla resumen con las ponderaciones correspondientes para cada criterio.

Criterio	Ponderación
Nivel de precisión y profundidad de datos y resultados	45%
Nivel de adaptación futuro	45%
Experiencia en el tipo de documentación	10%

Tabla 2: Ponderación de criterios

Donde la escala de cumplimiento es de 1 a 5 para cada criterio siendo 5 el mayor grado de cumplimiento y 1 el menor.

Documento	Criterio			Total
	Nivel de precisión y profundidad de datos e investigación	Nivel de adaptación futuro	Experiencia en el tipo de documentación	
Informe técnico	5	1	4	3,1
Revista científica	5	2	1	3,25
Estudio de caso tecnológico	4	4	1	3,7
Hoja de Ruta	4	5	5	4,55

Tabla 3: Evaluación de criterios

Destaca que el que obtiene mayor valor es la hoja de ruta seguido por el informe técnico, donde este último pierde valor al tener un nivel de adaptación a futuro bajo para un proyecto que continua en formación. Por tanto, se considera el RoadMap como la mejor solución para abordar la necesidad de la empresa.

8. Metodologías

8.1 Metodología objetivo específico 1

Se sistematiza la información recibida de todos los proyectos con la herramienta Excel, según secciones relevantes mencionadas por los emisores de los documentos de proyectos, junto a solicitudes del equipo, para obtener una base de datos en un único documento, las categorías son:

- Institución que presenta proyecto.
- Nombre de proyecto.
- Duración.
- Área técnica principal: dentro de este apartado se encuentran almacenamiento energético, capital humano, electromovilidad, energía solar, hidrógeno verde, minería sostenible y recurso hídrico.
- Otros tags: donde se mencionan sub-áreas a las que hace referencia en el proyecto.
- Objetivo.
- Socios estratégicos del proyecto.
- Aporte económico pecuniario, valorado y aporte desde el ITL.

- TRL actual de la tecnología.

8.2 Metodología objetivo específico 2

Se obtiene una muestra relevante del portafolio de proyectos relacionada con minería y sus macroprocesos (se trabaja con macroprocesos que afecten o sumen en el 80% del total de las emisiones de cada alcance), agrupando la información de los proyectos dependiendo en que palanca de la cadena de valor afecte, esta clasificación esta alineada con el documento Pathway to Net Zero de ICA por lo que estos drivers o palancas son las siguientes.

- ◆ Electricidad descarbonizada.
- ◆ Combustibles alternativos.
- ◆ Electrificación de equipos.
- ◆ Ganancia de eficiencia.

Con la clasificación mencionada, se realiza la multiplicación de la tasa de participación de emisiones totales del macroproceso de acuerdo con el subproceso de estudio, con la cantidad total de emisiones de CO_{2eq} del macroproceso del año 2030 y con la tasa de penetración de tecnologías que mitiguen las emisiones de CO_{2eq}.

Se muestra la ecuación del cálculo de mitigación.

$$Mt = P_{ij}\% \cdot E_{if} \cdot D_{ijf}\%$$

Ecuación 1

Donde:

Mt: Mitigación CO_{2 eq}.

P_{ij}%: Porcentaje de participación en las emisiones totales del macroproceso de acuerdo con el subproceso *i* relacionado al año deseado de estudio *j*.

E_{if}: Emisión de GEI en el macroproceso *i* para el año *f* [CO_{2 eq}].

D_{ijf}%: Porcentaje de penetración del driver *j* en el subproceso *i* al año *f*.

El último es calculado de acuerdo con la siguiente ponderación de criterios, 40% a partir de la información recopilada de proyectos del ITL, 40% en base a literatura relacionada a la tecnología y sus proyecciones en el mercado, junto con un 20% acorde a la opinión de expertos sobre sostenibilidad y trazabilidad.

La estimación de reducción de gases de efecto invernadero de alcance 3 queda excluido del desarrollo debido a su complejidad, tiempo atribuido a esta tarea.

8.3 Metodología objetivo específico 3

Para el desarrollo del presente objetivo se deben acordar límites y líneas base con el cual trabajar, con el fin de poder posicionar un punto de partida y de comparación para las estimaciones de mitigación de CO_{2eq} , por lo que se realiza una proyección de emisiones hasta el año 2030 como la línea base, a partir de la Taza de Crecimiento Anual Compuesto de CO_{2eq} para cada macroproceso, proyectando esta sucesivamente hasta el año de estudio.

El procedimiento es similar para alcance de emisiones 1 y 2, donde se diferencia al tomar los datos correspondientes a cada una de estas emisiones.

Las ecuaciones por utilizar para el cálculo se presentan a continuación,

$$Em_j = \sum_j \sum_i CC_{i(j-1)} \cdot (1 + fc_i)$$

Ecuación 2

Donde:

Em_j : Emisiones de Carbono del año j . [CO_{2eq}].

$CC_{i(j-1)}$: CO_{2eq} consumido en el año anterior ($j - 1$) del macroproceso i [CO_{2eq}].

fc_i : Factor de Crecimiento anual de emisiones de CO_{2eq} para el macroproceso i [%].

El fc se obtiene a partir de datos de los anuarios de COCHILCO desde el año 2011 al 2020, según la Taza de Crecimiento Anual Compuesto o CAGR por sus siglas en ingles.

$$V_n = V_0(1 + fc)^n$$

Ecuación 3

$$fc = \sqrt[n]{\left(\frac{V_n}{V_0}\right)} - 1$$

Ecuación 4

Donde:

V_0 : es el Valor al año de base de partida de la progresión.

V_n : el valor al año hasta el cual se desea hacer el análisis.

n : el periodo.

fc : factor de crecimiento.

EA3

Las mediciones y proyecciones son entregadas por Corporación Alta Ley a base de estudios realizados por la empresa Hincio.

Con la información obtenida hasta este punto, se procesa a evaluar el aporte medido dentro de las métricas nacionales por medio de comparaciones aritméticas, junto a la comparativa de la proyección base de GEI versus la situación con el potencial aporte de mitigación del ITL.

8.4 Metodología objetivo específico 4

Crear Hoja de Ruta para mostrar y planificar la información: Generar formato a partir de buenas prácticas atribuidas a la experiencia de la Corporación Alta Ley, las cuales son primer lugar un levantamiento de brechas, posteriormente un correlato de las soluciones a estas, seguido de una priorización de proyectos y/o estrategias que resulten en metas cuantificables en el documento.

Finalmente se presenta la estimación de reducción de emisiones mencionada anteriormente.

9. Medidas de desempeño

Objetivo específico 1 se ocupará:

- **Reducción de documentación:** Reducir los 195 documentos recibidos de proyectos en un 99%.

Objetivo específico 2 se ocupará:

- **Confiabilidad:** Los resultados de la Evaluación de la información deben reflejar la realidad de lo exigido para la información requerida y con las fuentes seleccionadas. Esto va a permitir sólo usar proyectos que contengan información referente a las palancas relacionadas a la medición de la reducción de CO₂e.

$$Pr\% = \frac{TPr - Prf - Pnr}{Ptr} * 100$$

Donde:

Pr %: porcentaje de proyectos referentes a las palancas a analizar.

Tpr: total de proyectos referentes a las palancas [uds].

Prf: Proyectos referentes faltantes [uds].

Pnr: proyectos no referentes [uds].

Este indicador debe tener un valor de al menos el 95%.

- **Participación de información:** Para cuantificar la reducción de emisión de CO₂eq, se deben hacer partícipe en 4 iteraciones las tres fuentes a evaluar para cada criterio (proyectos ITL, Literatura y expertos) para determinar el porcentaje de penetración de este.
- *Porcentaje de fuentes participantes* = $\frac{\text{Total de participantes} - \text{agentes faltantes}}{\text{Total de participantes}} * 100$

Se espera que este indicador sea de un 90% para aplicación

Objetivo 3 se ocupará:

- **Claridad y Comprensión:** En base de encuestas se determinará el nivel de claridad y comprensión de la información y análisis presente en el documento. Los encuestados deberán evaluar con nota del 1 al 10 la claridad y comprensión del documento, donde a mayor valor reflejara una mayor comprensión del documento.

$$Nota\ final = \frac{\sum notas}{total\ cantidad\ de\ notas}$$

Ecuación 5

Donde este indicador debe tener un valor de al menos de 8.

Objetivo 4 se ocupará:

- **Compleción de la Información:** Para determinar la hoja de ruta, se deben responder las siguientes interrogantes: ¿A dónde se quiere llegar?, ¿Qué brechas existen?, ¿De qué manera se llega a la meta?, ¿Quiénes son los interesados?, ¿De dónde se parte? Por lo que, tener las respuestas asociadas a las buenas prácticas de este documento permitirá determinar las actividades que se requieren para elaborar la hoja de ruta.

$$Porcentaje\ de\ preguntas\ respondidas = \frac{Total\ de\ preguntas - Preguntas\ sin\ responder}{Total\ de\ preguntas} * 100$$

Ecuación 6

Se espera que este indicador sea de un 100%.

Adicional al indicador la documentación y literatura ocupada para realizar la estimación de mitigación, como las proyecciones, deben ser de fuentes confiables, es decir que sea creada por un autores u organizaciones reconocidas y con experiencia en el área de interés.

10. Planificación del trabajo

Se procede a mostrar Carta Gantt de planificación de proyecto.

Evento / N° de semana	Agosto			Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre	
	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Revisión de bibliografía.																	
Catastro de proyectos tecnológicos.																	
Selección de proyectos a trabajar.																	
Clasificar tipo de alcance (1,2,3)																	
Diferenciar y clasificar proyectos según suministro que afecte a la cadena de valor minero.																	
Cálculo estimado de potencial impacto de mitigación de emisión de CO2e.																	
Modelo de evaluación.																	
Realización Taller estratégico.																	
Escritura de Hoja de Ruta.																	

Ilustración 5: Carta Gantt del proyecto

11. Plan de Implementación

El objetivo al ser un documento escrito, el plan de implementación se aborda para la creación de este, es por ello por lo que a partir de la planificación del trabajo nace el plan de implementación junto a la relación con la empresa para la generación de la hoja de ruta, esta relación consiste en la intervención de actores partícipes de la empresa en el documento, donde a continuación se procede a mostrar las etapas, herramientas y roles necesarios.

Los eventos / procesos de este plan son los siguientes.

Evento / Proceso
Revisión de bibliografía.
Catastro de proyectos tecnológicos.
Selección de proyectos a trabajar.
Clasificar tipo de driver.
Diferenciar y clasificar proyectos según suministro que afecte a la cadena de valor minero.
Cálculo estimado de potencial impacto de mitigación de emisión de CO2e.
Escritura de Hoja de Ruta.
Reunión con líder de trazabilidad.
Reunión con director ejecutivo.
Entrega de documento.

Tabla 4: procesos de implementación

Los roles que se presentan para cada una de las actividades anteriores son las siguientes.

Proceso	Pasante	Líder de Trazabilidad	Director Ejecutivo
Revisión de bibliografía.	E	I/C	R/C
Catastro de proyectos tecnológicos.	E	I/C	R/C
Selección de proyectos a trabajar.	E/R	I/C	I
Clasificar tipo de driver.	E/R	I/C	I
Diferenciar y clasificar proyectos según suministro que afecte a la cadena de valor minero.	E/R	I/C	I
Cálculo estimado de potencial impacto de mitigación de emisión de CO ₂ e.	E/R	I/C	I/C
Escritura de Hoja de Ruta.	E	I/C	R/I/C
Reunión con líder de trazabilidad.	E/R	I	I
Reunión con director ejecutivo.	E/R	I	I/C
Entrega de documento.	E/R	I	I

Tabla 5: Matriz RECI

Realizado en base a las directrices para realizar una Matriz de Asignación de Responsabilidades (RECI), la cual asigna las responsabilidades para la gestión de proyectos, que contempla la siguiente nomenclatura.

- Responsable (R)
- Ejecutor (E)
- Consultado (C)
- Informado (I)

Etapas 1

En este escenario se realiza principalmente tareas relacionadas a organización, clasificación y registro de información, labores necesarias para permitir el flujo de datos e información a las etapas subsecuentes de manera ágil. Se lleva a cabo en los primeros meses de la estancia en la empresa.

Evento / N° de semana	Etapas 1							
	Agosto			Septiembre				1
	2	3	4	1	2	3	4	
Revisión de bibliografía.								
Catastro de proyectos tecnológicos.								
Selección de proyectos a trabajar.								
Clasificar tipo de driver.								
Diferenciar y clasificar proyectos según suministro que afecte a la cadena de valor minero.								
Cálculo estimado de potencial impacto de mitigación de emisión de CO ₂ e.								
Escritura de Hoja de Ruta.								
Reunión con líder de trazabilidad.								
Reunión con director ejecutivo.								
Entrega de documento.								

Tabla 6: Etapas 1

Las herramientas necesarias para la realización de esta etapa son:

- Microsoft Excel como software principal para generar la base de datos de la información recibida.
- Correo electrónico Institucional como medio de comunicación por donde es recibida la información en bruto.

Etapa 2

En este escenario se realiza la mayor parte de la ejecución del proyecto relacionada con la obtención de datos de cálculos, investigación, estimaciones y escritura de la hoja de ruta necesarias para el cumplimiento de objetivos.

Evento / N° de semana	Etapa 2				
	Octubre			Noviembre	
	2	3	4	1	2
Revisión de bibliografía.					
Catastro de proyectos tecnológicos.					
Selección de proyectos a trabajar.					
Clasificar tipo de driver.					
Diferenciar y clasificar proyectos según suministro que afecte a la cadena de valor minero.					
Cálculo estimado de potencial impacto de mitigación de emisión de CO ₂ e.					
Escritura de Hoja de Ruta.					
Reunión con líder de trazabilidad.					
Reunión con director ejecutivo.					
Entrega de documento.					

Tabla 7: Etapa 2

Las herramientas necesarias para la realización de esta etapa son:

- Microsoft Excel como software principal para generar las estimaciones y cálculos necesarios.
- Microsoft Teams como el medio de reunión con los participantes necesarios.
- Microsoft Word como la herramienta seleccionada en donde se desarrolla la hoja de ruta.

Etapa 3

Es la última etapa donde ya culminado los cálculos e información necesaria se da cierre a la escritura del documento para ser entregado al director ejecutivo de ASDIT, donde la participación de él y del Líder de trazabilidad a lo largo de la etapa anterior y esta genera que la implementación haya sido de manera continua y estén al tanto de la información presente en la hoja de ruta, haciendo que para esta etapa esté relacionada directamente con revisiones finales para el cumplimiento de los objetivos. Se deja margen de una semana para eventuales atrasos e imprevistos.

Evento / N° de semana	Etapa 3			
	Noviembre		Diciembre	
	3	4	1	2
Revisión de bibliografía.				
Catastro de proyectos tecnológicos.				
Selección de proyectos a trabajar.				
Clasificar tipo de driver.				
Diferenciar y clasificar proyectos según suministro que afecte a la cadena de valor minero.				
Cálculo estimado de potencial impacto de mitigación de emisión de CO ₂ e.				
Escritura de Hoja de Ruta.				
Reunión con líder de trazabilidad.				
Reunión con director ejecutivo.				
Entrega de documento.				

Tabla 8: Etapa 3

Las herramientas necesarias para la realización de esta etapa son:

- Microsoft Word como la herramienta seleccionada en donde se desarrolla la hoja de ruta.
- Correo institucional de ASDIT para realizar la entrega del documento.

1.1 Análisis de riesgo

Respecto a la solución escogida anteriormente existen riesgos en el desarrollo e implementación de esta, las cuales se detallan a continuación con su respectivo análisis y medidas de mitigación.

Riesgo Identificado	Probabilidad	Impacto	Valor	Nivel de riesgo	Acción contra el riesgo
Pérdida de información recopilada.	0,3	1	0,3	Moderado	Respaldar documentación en la nube.
Falta en recopilación de información en la Hoja de ruta.	0,5	0,5-0,7	0,25-0,35	Moderado	Reuniones con el director ejecutivo de ASDIT al momento de contruir la hoja de ruta.
Falla en dimensionado de tasa de penetración de tecnologías.	0,7	0,4	0,28	Moderado	Se estipulan 3 fuentes de información para el dimensionado (información desde proyectos recibidos, bibliografía y opinion de expertos).

Tabla 9: Matriz de riesgo

Se realiza acorde a guía PMBOK, a destacar que solo existen riesgo de nivel moderado.

Donde para la perdida de información recopilada se toma la probabilidad de ser robado el computador en que se trabaja y el impacto se asume como el máximo al tener como entregables

documentos escritos (tanto el presente informe como la hoja de ruta para el ITL). Para el siguiente riesgo identificado se presenta una probabilidad del 50% al tener presente que se necesita una recopilación de múltiples áreas de sustentabilidad y minería con un impacto de 0,5 a 0,7 dependiendo del tipo y cantidad de información faltante. Finalmente, el riesgo identificado en el dimensionado de la tasa de penetración de tecnologías, su probabilidad es alta al tener una incertidumbre alta y que pueda diferir dependiendo de las diferentes fuentes, con un impacto moderado al ser una sección relevante del estudio, pero no el total de este.

12. Evaluación económica

Se presentan 2 costos en la realización de proyecto, primero el salario acorde a la pasantía y segundo los costos asociados a la realización de taller estratégico.

	Agosto	Septiembre	Agosto	Octubre	Noviembre
Sueldo practicante	266.963	300.000	300.000	300.000	300.000
Producciones Festichola Limitada				1.527.960	
ASADOS FOGO SPA				5.950.000	
Hotel Antofagasta S.A.				9.355.185	
VARAYAC E HIJOS SPA				240.000	
Otros				183.908	
Total	266.963	300.000	300.000	17.557.053	300.000

Tabla 10: Costos del proyecto

Por tanto, el costo de la realización del proyecto es de \$18.724.016 atribuido al presupuesto establecido por Corfo y la gobernanza del ITL para ello.

13. Desarrollo

Se detalla el proceso y los resultados de medidas, estimaciones y trabajos realizados para el proyecto.

13.1 Portafolio de proyecto

Se realiza la revisión de cada documento recibido y se realiza el traspaso uno a uno a la plataforma Microsoft Excel según las categorías mencionadas en la Metodología para el objetivo específico 1.

Posterior a la realización del catastro se obtienen estadísticas referentes a los proyectos recibidos.

13.2 Desarrollo de estimaciones de emisiones hasta el año 2030 para la minería chilena

Para poder ilustrar las proyecciones de emisiones de los diferentes alcances se necesitan los factores de crecimiento anual, los cuales se obtienen a partir del anuario COCHILCO con información desde 2011 a 2022 para las EA1 y EA2, los resultados se muestran en la tabla siguiente.

Macro-Proceso	Mina Rajo	Mina Subterránea	Concentradora	Fundición	Refinería	Lx/Sx/Ew	Servicios
Factor de crecimiento anual EA1	5%	6%	9%	-2%	3%	-1%	-6%
Factor de crecimiento anual EA2	-6%	4%	-2%	-5%	-9%	-11%	9%

Tabla 11: Factor de crecimiento de emisiones

Elaboración propia a partir de datos de Anuario de Cochilco [5]

Los cuales reflejan el crecimiento o disminución porcentual de cada macroproceso según CAGR. Con estas cifras se procede a proyectar las emisiones al año 2030 debido al ser factor de análisis posterior. Cabe destacar que la proyección a ilustrar es a base del supuesto de no existir medidas adicionales a las que se reflejan en los periodos estudiados de mitigación de GEI.

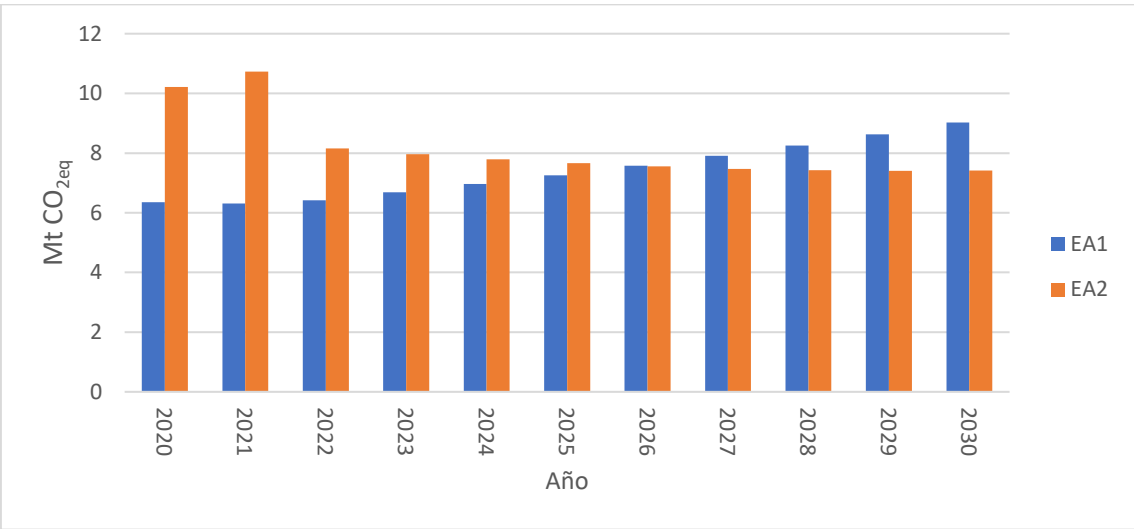


Ilustración 6: Proyección de emisiones de GEI al año 2050

Con ello, se realiza el estudio desagregado de emisiones del periodo 2030 por porcentaje de participación del total de emisiones según macroproceso para las EA 1 y 2.

Respecto EA1.

Porcentaje de participación en el total de emisiones de alcance 1 por macroproceso al años 2030

■ Mina OP ■ Mina UG ■ Conc ■ FU ■ RE ■ Lx/Sx/Ew ■ Servicios

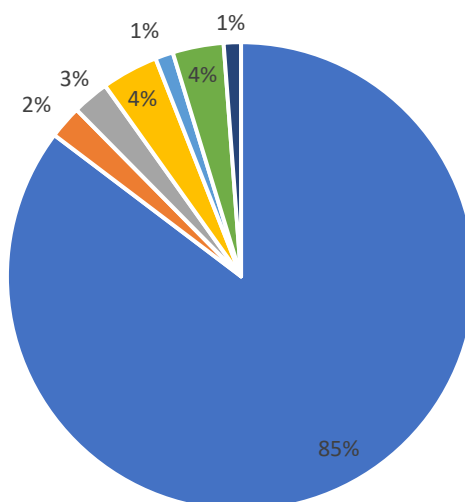


Ilustración 7: Porcentaje de participación en el total de emisiones de alcance 1 por macroproceso año 2030.

Con un total de 9,02 Mt CO_{2eq}, la tendencia indica que en caso de no existir un desarrollo tecnológico donde se pueda sustituir el combustible en el macroproceso mina rajo para el transporte de material, este macroproceso seguirá siendo el mayor aportador de emisiones de alcance 1 para la minería del cobre.

Respecto EA2.

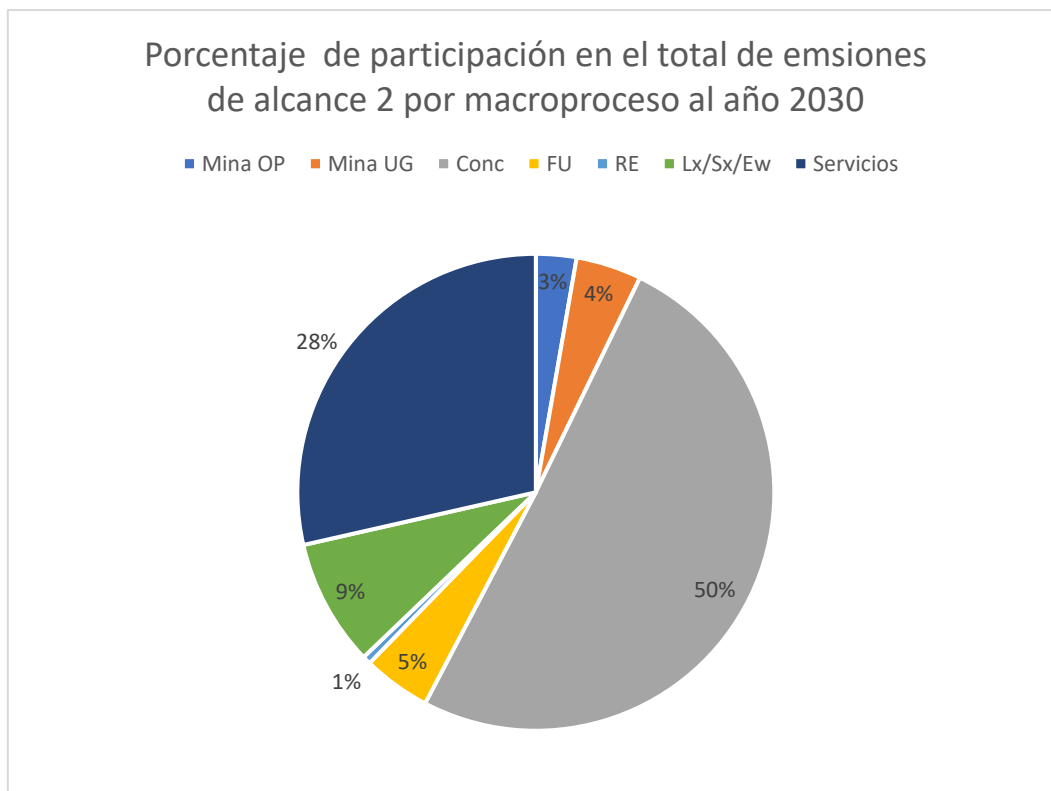


Ilustración 8: Porcentaje de participación en el total de emisiones de alcance 2 por macroproceso año 2030

Con un Total de 7,41 Mt CO_{2eq}, el proceso de la planta concentradora sigue siendo uno de los mayores participantes de emisiones de alcance 2 a pesar de que se prevé una tendencia a la baja del consumo de energía eléctrica a causa de la participación de energías renovables (ER) dentro de la matriz energética, como también de los Contratos Compraventa de Energía (PPA) que adquieren las mineras para contratar energía desde fuentes exclusivamente de ER. Seguido por la contribución de servicios, principalmente a que se espera que la demanda de insumos incremente debido al alza de requerimiento de minerales.

Se espera que la participación por alcance de emisión para el año 20230 sea el siguiente.

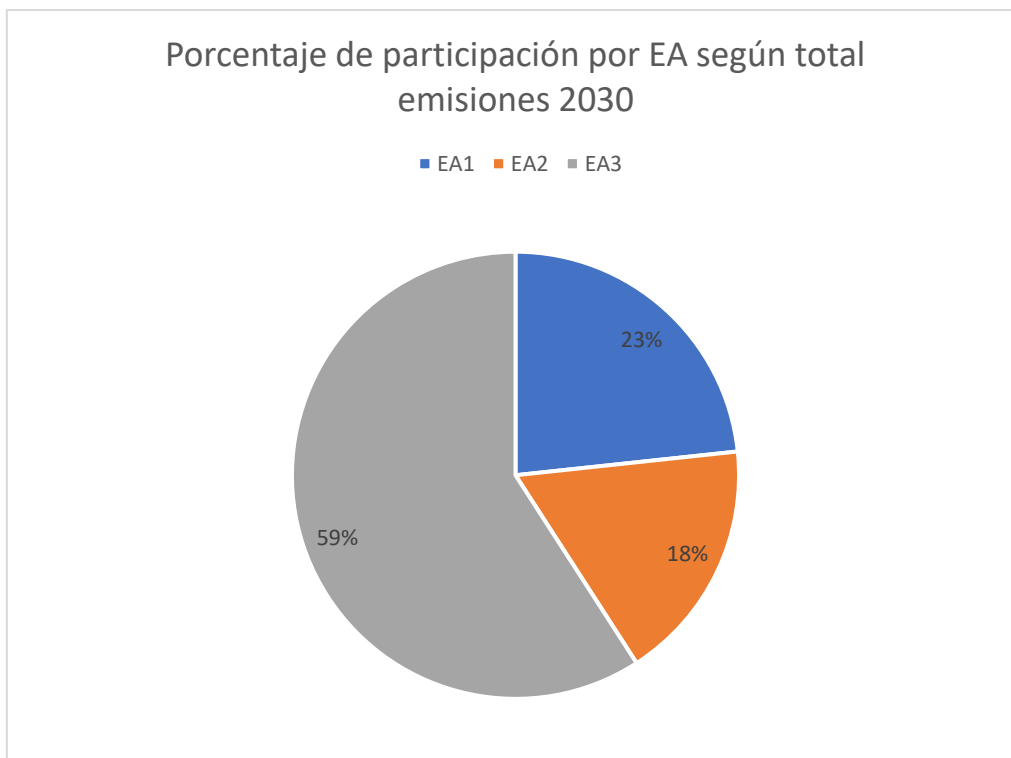


Ilustración 9: Porcentaje participación por EA según total emisiones 2030

Sin las acciones correspondientes para la mitigación de las emisiones estas aumentarían considerablemente su valor pasando de 32,98 Mt en 2020 a 41,97 Mt CO_{2eq} en 2030, donde las emisiones indirectas de alcance 2 se espera que contribuyan en menor medida que las directas debido a la transición energética hacia energías renovables.

13.3 Cálculo de reducción de emisiones

Expuestas las estimaciones para los años próximos se procede a clasificar los proyectos recibidos por parte de las instituciones participantes de acuerdo con el *Pathway to Net Zero* de ICA. Para efectos de clasificación de datos se decide categorizar para alcance 1 según la etiqueta de Combustibles Alternativos y Electrificación de Equipos debido a su relación directa con la sustitución en el uso de combustibles fósiles y para alcance 2 se clasifica acorde a Electricidad descarbonizada y Ganancia de Eficiencia debido a la referencia al consumo de electricidad ocupada en minería. Considerando que, dependiendo el tipo de proyecto, puede afectar a más de un tipo de alcance.

Quedando de la siguiente manera la distribución de proyectos seleccionados.

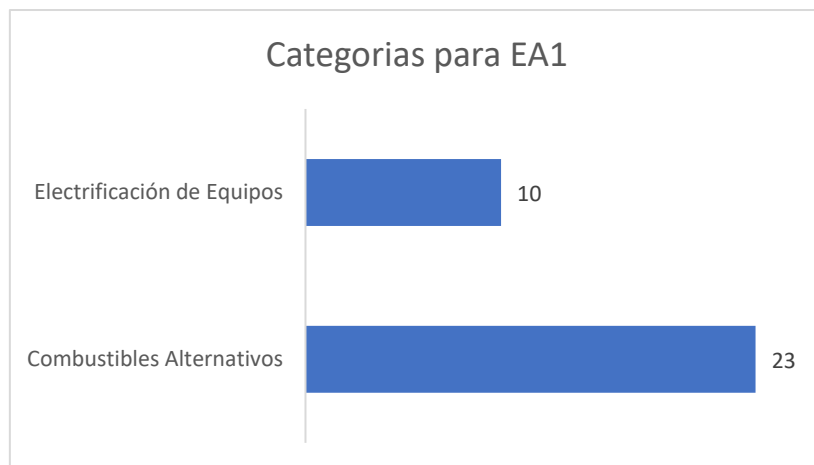


Ilustración 10: Distribución de cantidad de proyectos acorde a palancas de EA1

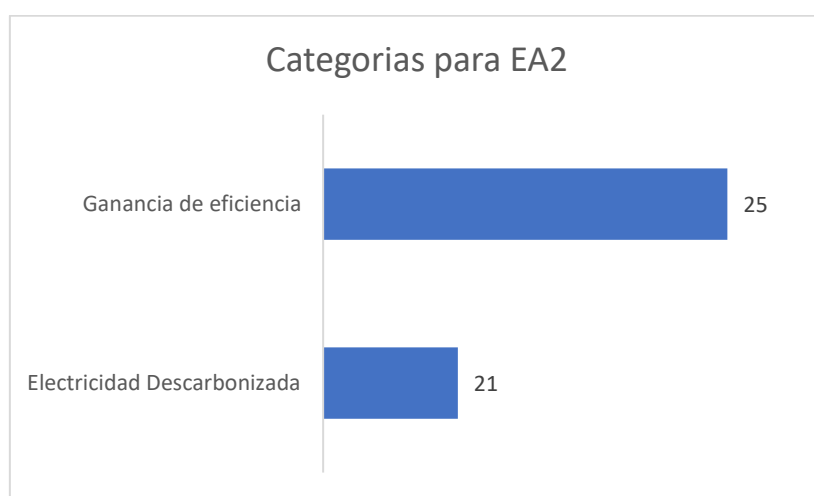


Ilustración 11: Distribución de cantidad de proyectos acorde a palancas de EA2

Situando estas palancas tecnológicas dentro de los macroprocesos y sus respectivas aplicaciones en que afectan, se estima la tasa de penetración de estas al año 2030, a partir de supuestos en base a metas de descarbonización nacional, nivel de desarrollo tecnológico (TRL) de proyectos y correlato de expertos involucrados en el medio minero, quedando de la siguiente manera para EA1.

Palancas	Aplicación	ITL	Literatura	Expertos	Total
Combustibles Alternativos	CAEX	10%	20%	7%	13%
	Otros equipos de carguío y perforación	50%	80%	40%	60%
	Explosivos	5%	N/A	10%	8%
Electrificación de Equipos					

Tabla 12: tasa de penetración de aplicaciones EA1

Donde la columna “ITL” representa la tasa de penetración de proyectos relacionados a la aplicación, siendo para CAEX proyectos acordes con condiciones habilitantes para el funcionamiento de estos camiones sin emisiones, como puestos de carga eficientes. Continuando con la columna de ITL se tiene para otros equipos de carguío y perforación se consideran proyectos relacionados con electromovilidad referentes a ellos, específicamente sistemas de propulsión eléctricas y capacidades instaladas de carga. Finalmente, respecto a explosivos el ITL cuenta con proyectos relacionados a la trazabilidad de estos insumos.

Para la columna “Literatura” respecto a la aplicación CAEX se toma como referencia la tasa de penetración presentada en el RoadMap H2 Verde en la Minería de Chile y Perú, el cual es de un 20% al año 2030 [10]. Respecto a equipos de apoyo minero la Estrategia Nacional de Electromovilidad establece que para el año 2035 la maquinaria minera de vehículo livianos y medianos deben ser cero emisiones en un 100% [11] es por tanto que se toma un margen de reducción de 20% para la diferencia de años. No se presenta documentación referente a metas de emisiones desde explosivos por lo que la ponderación de este apartado de distribuye de igual manera para columna “ITL” y “Expertos”.

La sustitución de consumo de combustible diésel por parte de los camiones de gran tonelaje hacia tecnologías que ocupen combustibles verdes como el H₂V son esenciales al afectar directamente en la mitigación de GEI en el proceso de mina rajo, sumado al resto de equipos de carguío, apoyo y de perforación en el que juega un rol clave la electromovilidad.

Para EA2 se tiene.

Palancas	Aplicación	ITL	Literatura	Expertos	Total
Electricidad descarbonizada Ganancia de Eficiencia	Energía renovable en matriz energética minera	50%	90%	83%	73%

Tabla 13: Tasa de penetración de aplicaciones EA2

A diferencia del alcance anterior, la aplicación de estas palancas se ve reflejado principalmente en la matriz energética que se ocupan en los diferentes macroprocesos, tanto como para PPA como para capacidades instaladas de ER para alimentar directamente faenas mineras, por tanto, se estima la tasa de penetración de aportes de proyectos del ITL a partir de proyectos referentes a la generación de capacidades instaladas principalmente de energías fotovoltaicas (PV) y energía termo-solar.

Respecto a la literatura, según la Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile (ECLP) esta plantea como meta a 2030 que el 90% de contratos de energía eléctrica de sector minero provengan de fuentes renovables [2].

13.4 Desarrollo hoja de ruta

Se presenta el desarrollo de la hoja de ruta para el instituto de tecnologías limpias, desarrollando las siguientes preguntas desde 4 núcleos centrales, Energía y combustibles solares; Recurso hídrico y pasivos mineros; Procesos mineros sustentables; Electromovilidad, baterías y cadena de valor.

1. **¿De dónde se parte?:** la respuesta a esta pregunta se ve reflejada en los Antecedentes que se generan y recopilan para cada uno de los núcleos planteados en el RoadMap, donde se entrega información referente al contexto chileno relacionado a cada uno de los núcleos mencionados con sus respectivos datos, lo cual ofrece una perspectiva sobre la situación actual y una línea base desde donde el ecosistema de agentes, tecnologías y el propio proyecto se encuentra.
2. **¿Quiénes son los interesados?:** la respuesta a esta pregunta nace del alistamiento de los agentes estratégicos e involucrados con el ITL, el cual se muestra en el tercer párrafo de la introducción, entre ellos empresas mineras, universidades y empresas generadoras de energía.
3. **¿A dónde se quiere llegar?:** la respuesta a esta pregunta nace a partir de un taller colaborativo y representativo de actores del ecosistema, capacitados para la jornada que busca detectar las metas y desafíos que tienen las industrias mineras, como también las líneas de solución a estas brechas. Se presenta en el apartado de Metas, establecidas para cada núcleo.
4. **¿Qué brechas existen?:** la respuesta a esta pregunta nace del taller mencionado en la pregunta 3, en donde posterior al levantamiento de las Metas de donde se quiere llegar se discuten los desafíos que representan las brechas existentes generadas entre la situación actual versus a las metas mencionadas. Esta respuesta se ve reflejado en los llamados Desafíos, presentados en cada núcleo desarrollado.
5. **¿De qué manera se llega a la meta?:** la respuesta a esta pregunta proviene del taller mencionado en la pregunta 3 y 4, en donde seguido del levantamiento de los desafíos existentes para llegar a las metas se dan iniciativas y soluciones para llegar a estas metas para abatirlas principalmente desde el mundo académico. Esta respuesta se ve reflejado en las llamadas Iniciativas o Líneas de I+D las cuales se desarrollan y agrupan en cada caso, presentadas en cada desafío para cada núcleo desarrollado.

14. Resultados

Se presentan los resultados obtenidos para el cumplimiento del objetivo general.

14.1 Portafolio.

Respecto al objetivo 1, se disminuye la cantidad de documentos en un 99% llegando a un único documento (acorde a la medida de desempeño) que sirve como base de datos para los 196 recibidos, contenidos en 195 documentos.

La confidencialidad de los documentos limita la presentación de información específica sobre ellos, es por tanto que se procede a mostrar información generada obtenida a partir de los proyectos.

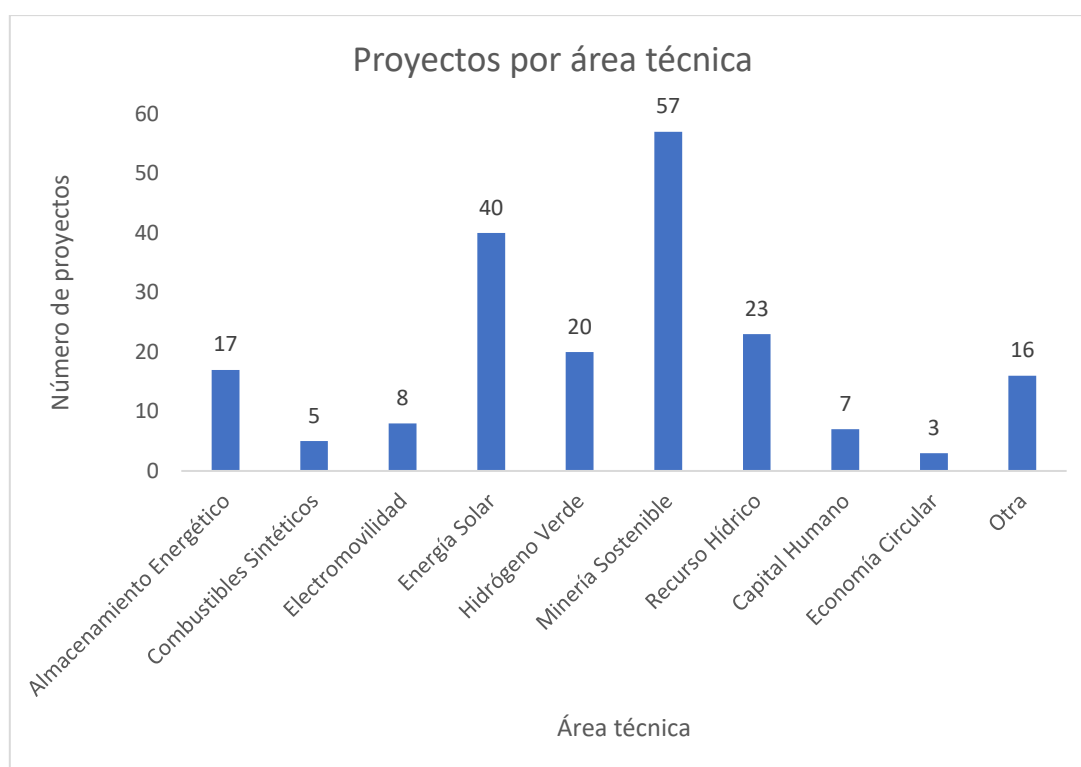


Ilustración 12: Áreas técnicas de proyectos

La mayor parte de los proyectos son relacionados con procesos para lograr una minería más sostenible y el aprovechamiento de la energía solar en proyectos de transición energética desde ER y combustibles solares.

14.2 Estimación de reducción de emisiones

Respecto al objetivo 2 y la estimación del posible impacto de gases de efecto invernadero en el desarrollo de tecnologías desde el Instituto de tecnologías Limpias para el año 2030 se obtiene lo siguiente.

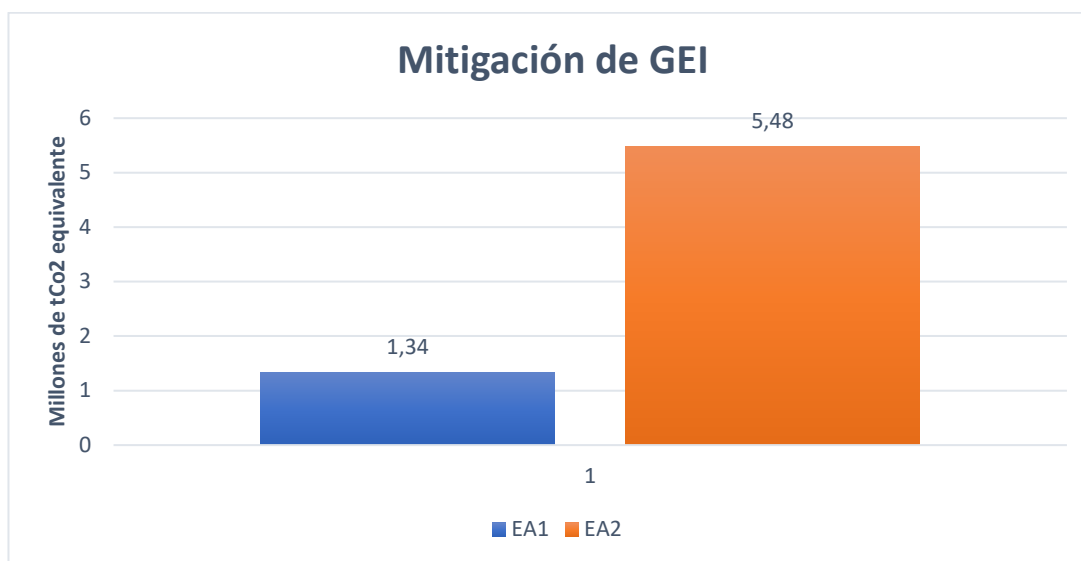


Ilustración 13: Esfuerzo de mitigación de GEI

Generado desde proyectos exclusivamente referentes a las palancas, obteniendo un 100% en confiabilidad. Con interacción de 11 de las 12 fuentes necesarias para el desarrollo, correspondiendo así al 91,6% del total de la participación de información, Cumpliendo ambas medidas de desempeño.

14.3 Análisis

Respecto al objetivo 3 y el análisis de casos se tiene que, obtenido el escenario base de las proyecciones de EA1 y EA2 del periodo 2030 y la posible mitigación de GEI por parte del ITL junto al desarrollo tecnológico nacional se genera el escenario con avance tecnológico.

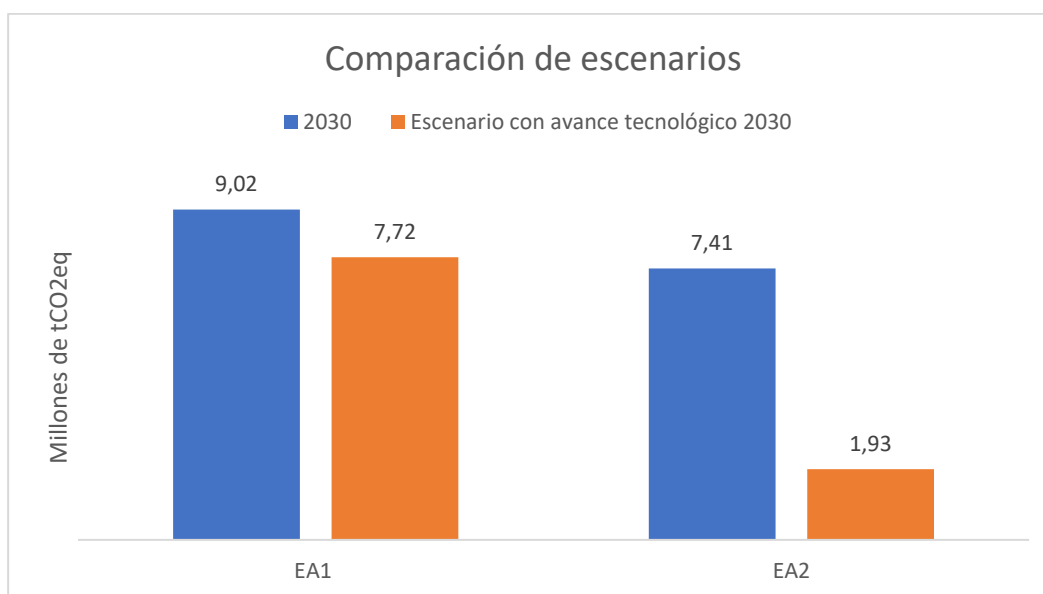


Ilustración 14: Comparación de escenarios

Generando así un esfuerzo en la mitigación de gases de efecto invernadero significativo de 6,8 MtCO_{2eq}, cumpliendo la meta intermedia establecida por la Estrategia Climática de Largo Plazo, posicionando la minería chilena dentro de los márgenes establecidos para cumplir la meta de carbono-neutralidad al año 2050.

Obteniendo una nota promedio de 9 acorde a la medida de desempeño, de un total de 6 encuestados.

14.4 Hoja de ruta

Respecto al objetivo 4 de la hoja de ruta realizada, esta cuenta con una totalidad de 31 páginas en donde se observa el contexto nacional de temas referentes a los núcleos que traccionan hacia la carbono-neutralidad de la industria minera, sumado a las metas, desafíos y líneas de investigación y desarrollo levantadas desde agentes mineros y el mundo tecnológico. Se presenta una síntesis de los resultados levantados:

1. Energía y combustibles solares: se presentan las siguientes metas.
 - a. Reducir brecha de precio entre hora solar y hora no solar.
 - b. Disminución diésel en operaciones mineras.
 - c. Aumentar capacidad instalada renovable.
 - d. Reducción del vertimiento energía electricidad.
 - e. Disminuir costo de producción H₂ verde.
 - f. Reducción de residuos asociados a proyectos energéticos.

Los desafíos presentes para estas metas son el aumento de la capacidad instalada renovable, sistemas de almacenamiento y la producción de hidrógeno verde.

Con soluciones que van desde dar segunda vida y reciclar sistemas solares, el dimensionamiento de sistemas de almacenamiento óptimo en zonas de operación hasta Adaptación procesos H₂ a operaciones locales (altura y otros).

2. Recurso hídrico y pasivos mineros: se presentan las siguientes metas.
 - a. Reducir 50% de finos en los relaves.
 - b. Reducción del costo de agua desalinizada, 3 usd/m³ al año 2033.
 - c. recirculación agua 90%.
 - d. Reducir los PAM al 2033 en 30%.
 - e. Cero descargas de salmuera de osmosis inversa.

Los desafíos presentes para estas metas son la disminuir costos de impulsión de agua a altura y distancia de las mineras, procesos de recirculación de menor costo de uso agua fresca, el desarrollo de nuevos procesos para EV con baja huella hídrica y polimetálico, generar tecnologías para aglomerar partículas finas de proceso de flotación y aumentar eficiencia de plantas de desalinización para alcanzar cero descargas.

Con soluciones que van desde el desarrollo de sistema de energía renovable para inyección de agua en bombas, generar modelos de negocios para elementos valiosos o tierras raras a partir de relaves, crear nuevos aglomerantes hasta Evaluar a nivel piloto el uso de aguas servidas y rechazo de plantas de osmosis de agua de mar para recuperar agua para otros usos.

3. Procesos mineros sustentables: se presentan las siguientes metas:

- a. Minería cero emisiones al 2050.
- b. Minería cero residuos.
- c. Recirculación 90% H₂O en procesos mineros al 2034.
- d. Disminución 60% uso H₂O continental al 2030.
- e. Industria minera chilena en el primer cuartil de costos C1.
- f. 5 tecnologías locales desarrolladas e internacionalizadas al 2034.
- g. Disminuir y eficientizar el consumo energético de los procesos mineros.
- h. Aumentar en un 60% la contratación de mano de obra local.
- i. 100% data de monitoreo ambiental trazable y abierta Al 2030.

Con los desafíos de diseñar procesos de menor uso y mayor recirculación de agua, el diseño de procesos de remediación de no generación de residuos mineros y la modernización de procesos mineros.

Las soluciones van desde la línea de monitoreo ecológico y microbiológico de zona de descarte de salmuera, la valorización escorias y residuos hasta la implementación de procesos de análisis de datos a gran escala (Big Data).

4. Electromovilidad, baterías y cadena de valor: se presentan las siguientes metas.

- a. “Retrofit” de 1000 camiones y 1000 buses eléctricos al 2030 en la región de Antofagasta.
- b. Capacitación de al menos 500 técnicos especializados en electromovilidad y almacenamiento en la región de Antofagasta a 2030.
- c. Incorporar paneles fotovoltaicos en al menos un 5% de las viviendas en las ciudades de Calama y Antofagasta junto con incorporar la electromovilidad al menos al 10% de la flota de transporte público de ambas ciudades a 2030.
- d. Generar un plan maestro con la participación de la gobernación, municipalidades, instituciones públicas, privadas, académicas y comunidades que vincule al ITL, al centro del litio, al centro aeroespacial en un lugar geográfico estratégico en Antofagasta a 2030.
- e. Habilidad de al menos 20 estaciones de carga eléctrica (electrolineras) en la región de Antofagasta con foco en los corredores Antofagasta-Calama, Antofagasta-Mejillones, Tocopilla-Antofagasta, Calama-San Pedro y Antofagasta-Taltal al año 2030.
- f. Generación de al menos 20 centros de formación técnico-universitaria acreditadas en al menos 5 ciudades de la región de Antofagasta habilitados para la capacitación y enseñanza de temáticas de electromovilidad y almacenamiento energético.

- g. Formación de al menos 30 especialistas con carácter de doctores (PhD) en las temáticas de electromovilidad y almacenamiento energético ejerciendo al 2030 en la región de Antofagasta.
Entre otros.

Los desafíos presentes a raíz de estas metas son la formación de capital humano, habilitación de espacio de terrenos para la instalación industrial de tecnologías y el desarrollo de condiciones habilitantes para el escalamiento de proyectos de electromovilidad y almacenamiento energético.

Con soluciones que van desde el desarrollo de capital humano de técnicos especialistas electromovilidad, Infraestructura habilitante conjunta o privada vinculada con el ecosistema hasta diseños y análisis de sistemas de almacenamiento en altura.

Respondiendo así, el 100% de las preguntas establecidas en la medida de desempeño.

El detalle de cada apartado se puede obtener directamente de la documentación generada.

15. Conclusiones

La creación de una base datos del portafolio de proyectos permite acceder a información y estadísticas de documentación referente a “one pagers” de proyectos recibidos, recopilando y generando información necesaria para tareas de la empresa, por tanto, esta base de datos al permitir filtrar información del global de documentos resulta esencial en la obtención de información de manera ágil y en menor tiempo para procesos subsecuentes que realice el equipo.

La hoja de ruta creada permite entregar información nacional de avances y contexto en diferentes materias claves para la descarbonización de la minería chilena, sumado a las necesidades actuales por la industria minera para avanzar en la descarbonización del sector junto a los desafíos que esto plantea, las cuales se abordan desde iniciativas y líneas de desarrollo de tecnologías orientadas en avanzar en procesos mineros sin emisiones ni residuos. De esta manera se entrega la recopilación, análisis y generación de información, referente a la información nacional e información recopilada de entidades externas e internas para uso a nivel empresa y de uso compartido alineado a nivel nacional con el mundo minero.

16. Bibliografía

1. Copper—The Pathway to Net Zero - Copper Alliance. (s.f.). Copper Alliance. <https://copperalliance.org/es/resource/copper-pathway-to-net-zero/>.
2. ESTRATEGIA CLIMÁTICA DE LARGO PLAZO DE CHILE CAMINO A LA CARBONO NEUTRALIDAD Y RESILIENCIA A MÁS TARDAR AL 2050. (2021). En Ministerio del medio ambiente. <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/11/ECLP-LIVIANO.pdf>
3. Corporate Standard | GHG Protocol. (2021b, abril 19). <https://ghgprotocol.org/corporate-standard>.
4. Cochilco. (2014). Información estadística sobre el consumo de energía en la minería del cobre al 2013. [Conjunto de datos].
5. Cochilco. (2023). Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 2003-2023 [Conjunto de datos].
6. Inicio. (2016). *Proyección de emisiones alcance 3* [Conjunto de datos].
7. Guía sobre emisiones en la cadena de suministro de la minería: Línea base sectorial y propuestas para la acción. (2022). En Corporación Alta Ley (RG-T3553). Banco Interamericano de Desarrollo (BID) 1300 New York Avenue, N.W. - Washington, D.C. 20577, USA. <https://www.corporacionaltaley.cl/wp-content/uploads/2023/04/Guia-sobre-emisiones-en-la-cadena-de-suministro-de-la-mineria.pdf>.
8. Emisiones GEI en la minería del cobre al 2021 y análisis del contexto actual. (2022). En COCHILCO (N° 2022-A-10397). <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Informe%20GEI%20Directos%20e%20Indirectos%202021%20Final%20con%20rpi.pdf>.
9. Descarbonización e Hidrógeno Verde en la minería chilena: estado del arte y principales desafíos. (2022). En Cochilco (N° 2022-A-10681). <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Estudio%20de%20Hidrogeno%20y%20Descarbonizacion%20Sector%20Minero%202022%20vF.pdf>.
10. Roadmap para la Implementación del Hidrógeno Verde en la Minería de Chile y Perú 2023. (2020). En Corporación Alta Ley. <https://www.corporacionaltaley.cl/wp-content/uploads/2023/05/Roadmap-para-la-implementacion-del-Hidrogeno-Verde-en-la-Mineria-de-Chile-y-Peru-marzo-2023.pdf>.
11. Estrategia nacional de electro-movilidad. (2021). En *energia.gob*. https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia-nacional-electromovilidad_ministerio-de-energia.pdf.