

# ESTRATEGIA NACIONAL PARA EL FORTALECIMIENTO DE LA CAPACIDAD DE FUNDICIÓN Y REFINERÍA

.....  
Julio 2023



Ministerio de  
Minería

Gobierno de Chile



# CONTENIDO

Prólogo	3
Resumen Ejecutivo	6
Introducción	11
Acrónimos y abreviaciones	12
<b>I. Procesos claves de la elaboración de la estrategia</b>	14
Comité de Fundición y Refinación de Cobre	14
Diálogos para el fortalecimiento de la capacidad de fundición y refinación en Chile	15
<b>II. El negocio de fundición y refinación en Chile y en el mundo</b>	18
El proceso extractivo del cobre y su procesamiento	18
Las fundiciones chilenas: contexto y tecnología	19
Competitividad del mercado del cobre chileno	20
Características del mercado global de fundición y refinación	21
Subproductos del negocio FURE: una oportunidad de negocio	23
Los concentrados chilenos y el desafío del arsénico	24
Residuos generados en el proceso de fundición y refinación	24
Emisiones de la industria FURE	25
Normativa ambiental vigente	25
Capital humano en la industria FURE nacional	27
Tecnología para una nueva FURE en Chile: Disponibilidad tecnológica y criterios a considerar	28
<b>III. Una nueva fundición-refinería para Chile: aspectos a considerar</b>	31
Disponibilidad de concentrado en Chile	31
Normativas ambientales cada vez más exigentes	32
Consideraciones para la ubicación de una nueva FURE	32
Generación de empleo de la industria FURE en Chile	34
Soluciones tecnológicas eficientes para la nueva FURE	34
Cambio climático y energías limpias	35
Economía circular: una nueva oportunidad de negocio	36
Cargos de tratamiento y refinación (TC/RC)	38
FURE no integrada: una opción más costo eficiente	38
Suministro de concentrado para la nueva FURE	40
Ácido sulfúrico: posible superávit en el balance futuro	41
Evaluaciones económicas para una nueva FURE	42
Tipo de inversión requerida	43
<b>IV. Propuestas</b>	45
Contexto de las propuestas	45
Propuestas para fortalecer y aumentar la capacidad FURE en Chile	46
Hoja de ruta del proceso de implementación	51
Reflexiones finales	53
<b>V. Referencias</b>	55



## PRÓLOGO

Una de las estrategias más importantes para hacer frente al calentamiento global corresponde a la adopción de tecnologías limpias, la implementación de electromovilidad y la generación de energías renovables que permitan reducir progresivamente el uso de combustibles fósiles y de este modo las emisiones de dióxido de carbono. Este proceso impone una presión sobre la disponibilidad de minerales y metales entre los que el cobre juega un rol de gran importancia. En este escenario, nuestro país, y en específico la industria minera, está llamado a hacer una contribución en la lucha por detener el calentamiento global mediante la provisión de minerales y metales que, como el cobre, son considerados estratégicos para este desafío.

Para atender a este llamado, es necesario no solo que seamos capaces de mantener o aumentar los niveles de producción de cobre, sino también que hagamos los esfuerzos necesarios para que el cobre que producimos sea bajo en huella de carbono. Este desafío, el de producir minerales con bajas emisiones de CO<sub>2</sub> no es exclusivo de Chile. A nivel global, el ICMM (International Council on Mining and Metals) ha establecido como meta la carbono neutralidad de la industria a más tardar al año 2050. En Chile, a nivel sectorial, nos hemos dado una meta más ambiciosa, definida en la Política Nacional Minera, que establece el año 2040 como el horizonte para lograr este objetivo. En esa línea, es necesario reconocer los esfuerzos que hace la industria local por disminuir progresivamente la huella de carbono del cobre que produce, pero estos esfuerzos por sí solos no son suficientes para asegurar que el cobre chileno va a ser efectivamente carbono neutral algún día. Esto porque una parte importante de nuestra producción

deja el territorio en forma de concentrado para ser procesado en fundiciones extranjeras, lo que tiene como consecuencia que perdamos control y trazabilidad sobre las emisiones de más de la mitad del cobre que se extrae desde minas chilenas. Surge entonces una razón de carácter estratégico para querer aumentar la capacidad de fundición y refinación en Chile: para asegurarnos de que nuestro cobre, una vez refinado, efectivamente tenga una baja huella de carbono y esta sea trazable. Así como esta, existen otras razones estratégicas para avanzar en esta dirección, como por ejemplo la proporción cada vez más importante de concentrados considerados como complejos que no podemos asegurar que sean recibidos a futuro en fundiciones extranjeras o siquiera transportados para ser procesados fuera del país. Además, y tal vez más importante aún, no podemos permitir que nuestra economía, fuertemente dependiente de la actividad minera y en particular del cobre, tenga este nivel de dependencia de fundiciones extranjeras que, de un momento a otro, podrían cambiar las condiciones en que procesan nuestro concentrado, dejándonos poco espacio de acción. Por las razones aquí expuestas, fortalecer la capacidad de fundición en Chile es un desafío estratégico.

El objetivo presente documento es presentar un análisis de la situación actual de la industria de fundición y refinación en Chile y proponer una serie de iniciativas para el fortalecimiento y aumento de capacidad de fundición y refinación (FURE) en territorio nacional. Para lograr este objetivo, se creó en julio de 2022 el Comité de Fundición y Refinación, en el que participaron los ministerios de Minería, Economía, Medio Ambiente y la Comisión Chilena del Cobre, Cochilco. La misión de



este Comité fue contribuir a la discusión pública sobre fundiciones y, como parte de su trabajo, convocó a expertos y expertas, además de generar un diálogo con industria y representantes del mundo del trabajo.

El trabajo del Comité permitió consolidar un diagnóstico sobre el estado actual de la industria FURE en Chile e identificar oportunidades para su fortalecimiento. Ya en 2023, entre los meses de mayo y junio, se llevó a cabo un proceso de diálogo participativo en que, de manera estructurada, se convocó a representantes de la sociedad civil, academia, industria, trabajadores y trabajadoras, para sostener un debate que permitiera diseñar y validar las propuestas que son desplegadas en este documento y que se consideran clave para fortalecer y proyectar la industria de fundición y refinación al futuro.

Los esfuerzos necesarios para fortalecer esta industria no se agotan con la elaboración y entrega de este documento. En realidad, podríamos decir que la travesía recién comienza y requiere de esfuerzos coordinados de diversos actores. La Estrategia aquí presentada es una hoja de ruta para generar las condiciones habilitantes para fortalecer y aumentar la capacidad instalada de fundición y refinación de cobre en Chile, haciéndonos cargo de este modo de un desafío que es estratégico y que no podemos dejar de abordar.



**RESUMEN  
EJECUTIVO**





## RESUMEN EJECUTIVO

La construcción de la presente estrategia consideró dos procesos consecutivos de elaboración. El primero correspondió al trabajo realizado por el Comité de Fundición y Refinación de Cobre (Comité FURE), en el que participaron instituciones del Estado con el objeto de hacer un diagnóstico del sector y levantar alternativas de desarrollo para la industria FURE. En tanto, la segunda instancia consistió en un proceso de diálogos participativos destinado a levantar antecedentes adicionales y fortalecer el diseño de las propuestas estratégicas, que finalmente fueron recogidas en el apartado respectivo de este documento.

### Diagnóstico y Consideraciones

Chile presenta una amplia riqueza de minerales asociados al cobre, tales como los sulfurados y oxidados los que son procesados mediante procesos metalúrgicos particulares. En el caso de los minerales sulfurados, los concentrados de cobre obtenidos de ellos, para transformarse en cobre refinado a nivel industrial y con la tecnología actualmente disponible, deben pasar por una fase adicional de pirometalurgia en una fundición y refinación (FURE). En la actualidad, existen siete fundiciones en Chile, cinco de carácter estatal, considerando Ventanas, y dos privadas. Respecto a Ventanas, ésta ha cesado su operación y está en proceso de cierre. El Estado a través de Codelco posee el total de las tres refinaciones que existen en el país, ubicadas en las unidades FURE de Potrerillos, Chuquicamata y Ventanas.

En las últimas décadas, Chile ha perdido competitividad respecto la capacidad de fundición, exportando ya en el año 2020 sobre 50% de los concentrados de cobre producidos a nivel nacional para ser procesados en fundiciones en el extranjero, en particular en Asia,

proyectándose esta tendencia a un 70% en 2030. En la actualidad, China se ha posicionado como el actor principal del mercado FURE y su liderazgo va en aumento debido al número de unidades instaladas, la avanzada tecnología y los bajos costos de operación en comparación al resto del mundo y en particular con las unidades chilenas.

El negocio FURE tiene la posibilidad de aprovechar los subproductos obtenidos en sus operaciones para generar nuevas fuentes de ingreso. Uno de los subproductos más relevantes del proceso FURE es el ácido sulfúrico, ya que no solo genera ingresos para las fundiciones, sino que también es un insumo importante para el tratamiento de minerales oxidados. Otro subproducto de gran relevancia son los barros anódicos, producidos durante el proceso de las refinaciones, ya que están compuestas por diferentes elementos, como metales preciosos y otros insolubles que caen del ánodo, tales como oro, plata, selenio, paladio y platino.

Dado que el arsénico se presenta de forma natural en los principales yacimientos del norte del país, existe un desafío para el procesamiento de concentrados de cobre en ciertos proyectos que, debido a su alto contenido de este elemento, son considerados "complejos", y son objeto de penalidades durante la etapa de comercialización, para lo cual, a modo de solución, se han desarrollado de forma local técnicas particulares para su tratamiento, tales como la tostación o el *blending*.

En términos de emisiones, destaca la norma específica para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico, el D.S. N°28/2013, que establece límites de emisión tanto para los procesos unitarios de las fuentes emisoras como para las emisiones fugitivas. En términos más específicos,



la norma establece que para las fuentes existentes se requiere de una captura de  $\text{SO}_2$  y As mayor o igual a 95%, mientras que para fuentes nuevas la captura debe ser mayor o igual a 98%, generando una gradualidad para las fuentes existentes.

En nuestro país, la mayor parte de los yacimientos de cobre están ubicados en la zona norte y en particular, Antofagasta es la región que produce la mayor cantidad de concentrados de cobre, representando una participación cercana a 50% de lo producido exportable a nivel país.

Pensando en la construcción y operación de nuevas unidades FURE en Chile, y dado que la normativa se volverá cada vez más exigente en cada proceso de actualización, éstas debiesen contar con las mejores tecnologías disponibles para la captura de gases contaminantes y reducir las emisiones de GEI. Junto con lo anterior, se espera que puedan tener niveles importantes de recuperación de cobre y costos directos competitivos, además de considerar que las mejores tecnologías disponibles para materializar estos objetivos son las de fusión-conversión continua, específicamente Fusión Flash – Conversión Flash y SBF – MCT.

Asimismo, debiese también impulsar la incorporación de la economía circular a sus modelos de negocio a modo de generar nuevas fuentes de ingreso, mediante la recuperación y reprocesamiento de residuos mineros que contienen elementos con valor económico, así como la posibilidad del reprocesamiento de chatarra que contribuya al negocio del reciclaje en el país.

## Recomendaciones

El resultado de este trabajo son propuestas enfocadas en tres objetivos para fortalecer y aumentar la capacidad de FURE en Chile:

## Una industria FURE acorde a los desafíos actuales

Este eje consiste en una serie de iniciativas de carácter habilitante para fortalecer la industria FURE nacional y proyectar su continuidad. Las iniciativas corresponden a:

- **Acuerdo Nacional para el Fortalecimiento de la Industria FURE:** que permita a través de la complementariedad público-privada, avanzar progresiva y responsablemente en la mejora del desempeño ambiental y continuidad operacional de las fundiciones. El Estado procurará que este acuerdo se transforme en un plan de desarrollo industrial consensuado y respetado por las partes, para el cual velará tanto en su coordinación con los titulares como en la generación de condiciones habilitantes para que éste se ejecute en el tiempo esperado.
- **Plan de Adecuación Normativa para una Industria FURE Sostenible:** que permita realizar una revisión de la normativa actual, atendiendo a adecuaciones que habiliten mejorar la sustentabilidad socioambiental de la industria y los modelos de negocio con enfoque en la economía circular y la transición justa. Se considerará, por ejemplo, la revisión de normas que habiliten el reprocesamiento de residuos, tales como las escorias de fundición.
- **Promoción de Transparencia y Acceso a la Información:** promoción del robustecimiento de la red integrada de monitoreo de calidad del aire y el acceso de la información en línea, además de seguir velando por aumentar los estándares de transparencia de la información.



- **Programa Tecnológico FURE:** para impulsar un programa de investigación, desarrollo e innovación FURE, enmarcado en el Plan Tecnológico del Sector Minero que desarrolla actualmente el Ministerio de Minería, con el objeto de fomentar y mejorar la focalización de programas de financiamiento de I+D+i (ANID, CORFO) con impacto en fundición, refinación y otras tecnologías de procesamiento de concentrados y producción de cobre refinado en general.
- **Impulso a la Formación y Capacitación de Capital Humano para FURE:** programa de formación y capacitación FURE para profesionales y técnicos especializados en el sector, que impulse el diseño y promoción de planes educativos y de formación técnica capaces de responder a las necesidades de la industria y contribuyan a disponer de personal calificado para enfrentar el cambio tecnológico.
- **Iniciativa de difusión de información FURE dirigida a la ciudadanía:** para relevar la importancia estratégica de la industria FURE y fortalecer las capacidades de involucramiento y participación de la ciudadanía en el desarrollo de los proyectos.
- **A ENAMI** se le encarga liderar un proyecto de aumento de capacidad de fundición y refinación en la Región de Atacama. Para esto, la empresa cuenta actualmente, con un proyecto que está a nivel de estudio, para la modernización de la Fundición Hernán Videla Lira. Con todo, ENAMI deberá generar las condiciones para entregarle a la Región de Atacama una fundición moderna, económicamente rentable y con los más altos estándares ambientales.
- **Con CODELCO** pueda asegurar que su capacidad de fundición y refinación se mantenga o aumente. Para esto, se identifican como opciones el diseño e implementación de un plan que apunte a mejorar la productividad de sus instalaciones mediante una adecuada gestión de activos, para, de este modo asegurar una alta disponibilidad y continuidad operacional necesarias para mantener elevados niveles de producción de cobre refinado; además de la identificación e implementación oportunas de las eventuales modernizaciones tecnológicas requeridas para cumplir con la actualización normativa. Se espera, además, que CODELCO apoye el esfuerzo que necesitamos como país para aumentar la capacidad FURE a través de la evaluación y ejecución de proyecto(s) de expansión (proyecto(s) *brownfield*), apoyando la construcción de una nueva fundición (proyecto *greenfield*) o en la participación en el desarrollo de nuevos proyectos FURE. Como consecuencia de lo anterior, la empresa podría reducir la cantidad de concentrado que exporta sin refinar y que, a la fecha, supera el millón de toneladas anuales.

### Fortalecimiento de la capacidad estatal

Este eje busca asegurar que la capacidad estatal de fundición y refinación se mantenga o aumente en el tiempo, a través de la generación de proyectos de modernización tecnológica o ampliación de capacidad que sean económicamente rentables, sostenibles en términos financieros, y que cumplan con los más altos estándares ambientales exigidos por la normativa vigente y su proyección futura.





## Desarrollo de nuevos proyectos de fundición y refinación en Chile

Este eje consiste en establecer las acciones para propender a contar con nueva capacidad de FURE en Chile y que implica materializar la construcción, puesta en marcha y operación de una o más nuevas fundiciones.

- **Incentivo a la inversión FURE:** El Estado procurará el diseño y elaboración de un marco normativo e instrumentos que fomenten la inversión en el sector de FURE, promoviendo la innovación, la sustentabilidad y el desarrollo tecnológico y la colaboración público-privada. Se articularán los esfuerzos necesarios a través del Ministerio de Economía, y en particular con InvestChile, al alero de la Estrategia de Fomento y Promoción de la Inversión Extranjera.
- **Certificación de cobre refinado en Chile:** A modo de generar un incentivo de carácter reputacional a la industria minera para fundir y refinar concentrados en Chile, el Ministerio de Minería impulsará el desarrollo de una certificación de cobre refinado en Chile que sirva como sello de calidad y permita, en el futuro, al cobre chileno acceder a mercados que requieren cada vez con más fuerza de cobre de bajas emisiones.
- **Pre-Identificación de potenciales localizaciones para nueva(s) unidades FURE:** A modo de disminuir el riesgo de un nuevo proyecto y los costos asociados a estudios de localización, el Estado a través del Ministerio de Minería, identificará y pondrá a disposición pública, zonas con atractivo para la instalación de nuevas unidades FURE.

- **Roadshow FURE:** Se coordinará una gira a nivel internacional en la que se promoverá esta estrategia de desarrollo de capacidad de fundición y refinación en Chile con el objetivo de atraer el interés de potenciales actores que puedan desarrollar nuevo(s) proyectos FURE en territorio nacional.

## Reflexiones finales

El fortalecimiento y aumento de capacidad de fundiciones y refinación tiene un carácter estratégico para el país, creando empleo, encadenamientos productivos y también agregando valor a la industria minera nacional.

La lucha contra el cambio climático y la transición energética necesitan de más minerales, particularmente de cobre, pero cobre producido responsablemente y con una baja huella de carbono. En este sentido, Chile tiene un rol y responsabilidad fundamental al ser líder en la producción de cobre y asegurar el suministro del cobre refinado necesario para el desarrollo tecnológico asociado a este desafío.

Cabe destacar que, en la actualidad, las estrategias de minerales críticos de distintos países relevan el riesgo que existe en la cadena global de suministro de minerales, lo que se condiciona a la alta concentración de producción de cobre refinado en pocos actores. Por lo tanto, el fortalecer y aumentar la capacidad de FURE en el país es una agenda primordial para Chile y para el mundo.



# INTRODUCCIÓN





## INTRODUCCIÓN

**A**ctualmente, más de la mitad de las exportaciones chilenas de cobre corresponden a concentrado, a diferencia de lo que ocurría hace unas décadas. En este contexto, Chile ha perdido su capacidad de generar valor agregado y ha reducido su participación en el mercado global de cobre refinado. Esto tiene, además, un componente ambiental negativo asociado, ya que, estamos exportando miles de toneladas de material a otros continentes para obtener una cantidad muy inferior de producto final, mediante un sistema de transporte marítimo que es intensivo en emisiones. Por lo tanto, fortalecer la actual capacidad de fundición e impulsar un proyecto de nueva fundición y refinación en Chile es fundamental para reducir emisiones globales de GEI, mejorar el proceso de trazabilidad de nuestro cobre, apuntar a vender un cobre más responsable y que tenga un mayor valor agregado, permitiendo fortalecer el encadenamiento productivo local, incentivar el desarrollo de nuevas tecnologías y mejorar la competitividad del negocio chileno.

A pesar de todos los beneficios recién mencionados, existen grandes desafíos. A pesar de que hemos identificado algunos de índole financiero, tecnológicos, ambientales y sociales, una de las mayores problemáticas está en demostrarle a la ciudadanía que es posible impulsar un desarrollo tecnológico e industrial sin afectar el medio ambiente y a las comunidades. Por este motivo, una nueva FURE debiese apuntar a tener los más altos estándares tecnológicos y ambientales y así igualar a sus pares en Alemania, Japón y China.

Siguiendo estos lineamientos, e impulsado por el mandato que la ley N°21.546 le entrega al Ministerio de Minería, se lleva a cabo el presente estudio, que presenta propuestas destinadas a aumentar la capacidad de fundición y refinación de cobre en Chile. Este informe cuenta con una base de información técnica levantada en el marco del Comité FURE realizado el 2022, información relevante generada a través de un proceso de diálogos que consideró las opiniones de académicos, trabajadores y trabajadoras, representantes de la industria y de la sociedad civil, además de una amplia revisión bibliográfica realizada por el Ministerio de Minería.

Este informe se organiza de la siguiente forma: el Capítulo I presenta un análisis de diagnóstico técnico del negocio de las fundiciones y refinación, tanto para Chile como para el escenario global. A continuación, el Capítulo II engloba todos los aspectos a considerar para que un proyecto de nueva fundición y refinación se materialice en Chile. En el Capítulo III se presenta información y opiniones levantadas en el proceso de diálogo participativo que ocurrió durante mayo y junio de 2023. Finalmente, el Capítulo IV presenta las propuestas para fortalecer y aumentar la capacidad de fundición y refinación en Chile.



## ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

- **ADI:** Área de desarrollo indígena
- **As:** Arsénico
- **BBC:** *Bottom Blown Converter*
- **BBR:** *Bottom Blown Reactor*
- **COCHILCO:** Comisión Chilena del Cobre
- **CODELCO:** Corporación Nacional del Cobre de Chile
- **COSOC:** Consejo de la Sociedad Civil
- **CT:** Convertidor Teniente
- **cUSD/lb:** Centavos de dólar la libra
- **DS 28/2013:** Decreto Supremo N°28 de 2013 del Ministerio del Medio Ambiente
- **DS 38/2013:** Decreto Supremo N°38 de 2013 del Ministerio del Medio Ambiente
- **EAE:** Evaluación Ambiental Estratégica
- **ECLP:** Estrategia Climática de Largo Plazo
- **ERNC:** Energías Renovables No Convencionales
- **FURE:** Fundición y refinación
- **GEI:** Gases de efecto invernadero
- **IMO:** Organización Marítima Internacional (por su sigla en inglés *International Maritime Organization*).
- **INGEI:** Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile
- **MIP:** Matriz Insumo-Producto
- **MP:** Material particulado
- **Mt:** Millones de toneladas
- **MTC:** *Top Blown Converter*
- **NDC:** Contribución Nacional Determinada (por su sigla en inglés *Nationally Determined Contribution*)
- **RC:** Cargo de refinación
- **SBF:** *Side Blown Furnace*
- **SERNAGEOMIN:** Servicio Nacional de Geología y Minería
- **SO<sub>2</sub>:** Dióxido de azufre
- **TC:** Cargo de tratamiento
- **TBC:** *Top Blown Converter*
- **TSL:** *Top Submerged Lance*
- **US\$/ton:** Dólares por tonelada



# I. PROCESOS CLAVES DE LA ELABORACIÓN DE LA ESTRATEGIA





## PROCESOS CLAVES DE LA ELABORACIÓN DE LA ESTRATEGIA

La construcción de la presente estrategia comprendió dos procesos consecutivos de elaboración. El primero correspondió al trabajo realizado por el Comité de Fundición y Refinación de Cobre, donde participaron instituciones del Estado con el objeto de hacer un diagnóstico del sector y levantar alternativas de desarrollo para la industria FURE. La segunda instancia consistió en un proceso de diálogos participativos destinado a levantar antecedentes adicionales y fortalecer el diseño de las propuestas estratégicas, que finalmente fueron recogidas en el apartado respectivo de este documento. A continuación, se detalla información de ambos procesos.

### Comité de Fundición y Refinación de Cobre

En julio 2022 se creó mediante resolución el Comité de Fundición y Refinación de Cobre (Comité FURE)<sup>1</sup>, presidido por el Subsecretario de Minería e integrado por representantes del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, el Ministerio de Medio Ambiente y COCHILCO. Fue una instancia de carácter participativa y asesora para analizar las diferentes alternativas posibles que permitieran el desarrollo sostenible de la industria nacional abocada a la producción de cobre refinado y elaborar propuestas de fortalecimiento de la capacidad en dicha materia.

El Comité FURE sesionó en reuniones periódicas entre julio y octubre de 2022, a través de tres grupos temáticos de trabajo, en donde las instituciones participantes, junto a otras invitadas a sesiones específicas, presentaron análisis y debatieron respecto a diversas materias de

carácter regulatorio, económico, productivo, tecnológico, ambiental y territorial. A continuación, se presentan las temáticas abordadas por cada grupo de trabajo.

#### Grupo de trabajo Económico Industrial:

compuesto por el Ministerio de Minería, Ministerio de Economía, Fomento y Turismo y Cochilco.

- Situación actual de mercado y perspectiva de los próximos años.
- Disponibilidad de concentrados para nueva capacidad.
- Mantenimiento y actualización de la capacidad actual.
- Evaluación de instrumentos económicos.
- Capacidad máxima de fundición construible en Chile.
- Requerimiento de potencial nueva capacidad de refinación.
- Impacto potencial en economías locales.
- Modelos de negocio.

#### Grupo de trabajo Tecnológico Ambiental:

compuesto por el Ministerio de Minería, Ministerio de Medio Ambiente y Cochilco

- Disponibilidad de alternativas a la pirometalurgia para procesar concentrados.
- Identificación de tecnologías disponibles.
- Normas ambientales para nueva fundición y refinación.
- Cambio climático: Emisiones de gases de efecto invernadero.
- Economía circular y minería secundaria.
- Mercados de subproductos.



**Grupo de trabajo mixto:** compuesto por el Ministerio de Minería, Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, Ministerio de Medio Ambiente y Cochilco

- Caracterización e identificación de potenciales ubicaciones de nueva capacidad.
- Caracterización de los concentrados complejos en Chile.
- Cierre de Faenas Mineras.

Una vez finalizadas las sesiones de los grupos de trabajo, el Ministerio de Minería sistematizó la información desarrollándose, por una parte, un diagnóstico de la industria, y por otra, en aspectos técnicos a considerar en torno al desarrollo de la industria FURE, así como en las bases para la elaboración de propuestas estratégicas orientadas a mantener y aumentar la capacidad de fundición y refinación en Chile. Esta sistematización sirvió, por tanto, de fundamento para el diseño de la siguiente etapa de participación: el proceso de diálogos con representantes de la industria, academia, sociedad civil y trabajadoras y trabajadores.

El detalle de las presentaciones realizadas durante las sesiones del Comité FURE se encuentra disponible en el sitio de Participación Ciudadana del Ministerio de Minería (<https://participa.minmineria.cl>).

## Diálogos para el fortalecimiento de la capacidad de fundición y refinación en Chile

Con el propósito de dar legitimidad al desarrollo a la presente estrategia, se llevó a cabo entre los meses de mayo y junio de 2023, un proceso de diálogo mediante una serie de mesas que reunieron a diversos actores clave para abordar los desafíos y oportunidades de la industria de fundición y refinación. Esta iniciativa, que contó con la participación de representantes de la academia,

de trabajadores y trabajadoras de dicha industria, de la sociedad civil, de compañías con fundiciones y refinación, además del Consejo de la Sociedad Civil (COSOC) del Ministerio de Minería, tuvo como objetivo principal promover un debate constructivo y levantar la información necesaria para el diseño y validación de las propuestas que serían desplegadas en el presente informe y que son clave para el desarrollo sostenible del sector.

La convocatoria al proceso de diálogos fue enviada a más de 60 organizaciones e instituciones ligadas a la industria minera, con especial énfasis en su vinculación a la fundición y refinación, resultando en la participación de un total de 130 personas, quienes se involucraron activamente en discusiones, intercambios de ideas y análisis de diversas problemáticas y oportunidades asociadas a fundición y refinación. El objetivo primordial fue buscar consensos y soluciones integrales que fomentaran la eficiencia, la innovación y la responsabilidad ambiental en esta importante industria.

Como resultado de estas valiosas instancias de diálogo participativo, se elaboró un documento final que recopila las propuestas y recomendaciones levantadas por los participantes. Este documento se denomina "Reporte del proceso de diálogo para la capacidad de fundición y refinación de Chile", el cual se encuentra disponible en el expediente del proceso participativo de la agenda FURE en el portal de participación ciudadana del Ministerio de Minería (<https://participa.minmineria.cl>).

La importancia de este proceso de diálogo radica en la diversidad de perspectivas aportadas por los diferentes actores involucrados, lo cual permitió enriquecer el debate y la información con la cual contaba el Ministerio de Minería, lo que permitió generar propuestas sólidas y equilibradas que representan un aporte muy relevante para el fortalecimiento de la industria de fundiciones y refinación en Chile.



Entre los principales resultados del proceso, es posible constatar la presencia de consenso respecto a la necesidad de fortalecer y aumentar la capacidad de fundición y refinación en Chile, dada la pérdida económica que se genera al exportar nuestros concentrados sin procesar, tanto por la pérdida de valor agregado como por los metales que van en el concentrado y no son recuperados en Chile. Junto con esto, se destaca que futuros proyectos FURE deben ser económica, social y ambientalmente sostenibles, con costos competitivos que hagan atractivo que empresas mineras decidan fundir localmente en vez de exportar sus concentrados.

Se plantearon también diversas formas para lograr una modernización tecnológica que hiciera viable la continuidad operacional de las actuales unidades de fundición y refinación. Además de esto, se manifestó preocupación por la complejidad de ciertas normativas sectoriales que impedirían la implementación de un enfoque de economía circular y otras estrategias de desarrollo de la industria, y por los desafíos que representa el cumplimiento oportuno, en plazos que parecen acotados, de las normativas de calidad de aire proyectadas debido a los tiempos requeridos para desarrollar, implementar y poner en marcha proyectos de modernización o adecuación tecnológica que permitan dar cumplimiento a nuevas exigencias. Existe a la vez recelo en grupos de la sociedad civil respecto del real cumplimiento de las normativas ambientales y se espera que exista mayor capacidad de fiscalización y control de las emisiones de las actuales y futuras unidades FURE, ante lo cual habría consenso en el espíritu de fomentar una industria con menores impactos ambientales y que se formulen nuevos modelos de coexistencia y colaboración con las comunidades aledañas.

Para el objetivo anterior, se mencionó la necesidad de promover en Chile, iniciativas de desarrollo e innovación

en tecnologías de abatimiento de emisiones y otras que permitan una mejora en la excelencia operacional y reducción de impactos ambientales.

Se considera muy importante el valor de los trabajadores y las trabajadoras en la industria, para lo cual se relevó la necesidad de contar con un sistema que permita la formación y la capacitación continua del capital humano para cada una de las fundiciones, así como de las dificultades existentes para el ingreso de más mujeres en las operaciones.

Destaca también el consenso sobre la falta de información con la que contaría la sociedad y las comunidades aledañas a las unidades de fundición y refinación, respecto de las características y quehacer de estas. Se identifica la necesidad de realizar algún tipo de campaña comunicacional que apunte a promover la participación ciudadana y el involucramiento de la población en el monitoreo, seguimiento y desarrollo de la industria FURE en Chile. Esto permitiría que las comunidades puedan contar con más información para mejor participar de la fiscalización o de la promoción de los proyectos en sus regiones.

A modo de conclusión, el proceso de diálogo fue fluido y muy nutrido, transformándose incluso en una oportunidad para la presentación de propuestas de diversa índole, como es el caso de trabajadores de la División Chuquicamata-Codelco, que aprovecharon la instancia para presentar una “Propuesta para el Fortalecimiento de la Capacidad de Fundición-Refinación en Chile desde Chuquicamata”. Los resultados de este ejercicio participativo, así como la injerencia de estos en el desarrollo de las propuestas que son presentadas en este informe, demuestran la importancia de la colaboración entre los distintos sectores de la sociedad para abordar desafíos complejos y para promover un desarrollo sustentable e inclusivo en la industria minera.





## **II. EL NEGOCIO DE FUNDICIÓN Y REFINERÍA EN CHILE Y EN EL MUNDO**





## EL NEGOCIO DE FUNDICIÓN Y REFINERÍA EN CHILE Y EN EL MUNDO

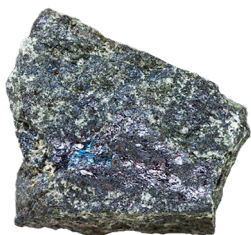
### El proceso extractivo del cobre y su procesamiento

Chile presenta una amplia riqueza de minerales. Respecto a los asociados al cobre, los minerales pueden ser clasificados como sulfurados u oxidados (Figura 1). Los primeros, corresponden a mezclas de sulfuros de cobre y hierro combinados con otros compuestos, donde las menas que portan el cobre pueden ser variadas, como calcopirita, bornita, enargita y tetraedrita; mientras que los segundos, originados por oxidación, se encuentran presentes en regiones superficiales del yacimiento, como malaquita, azurita, cuprita, brochantita y crisocola.

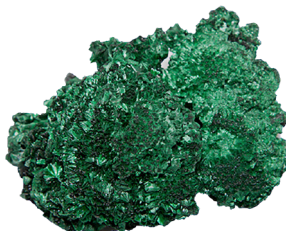
- **Mena:** Roca o sustancia de la que pueden extraerse minerales o metales de utilidad, en la que exista atractivo económico.

Figura 1:

#### Minerales sulfurados y oxidados



Minerales sulfurados



Minerales oxidados

Fuente: Codelco Educa (2018).

El cobre se obtiene mediante metalurgia extractiva, la que puede ser desarrollada de dos maneras:

En el caso de los minerales sulfurados, su tratamiento inicia con la reducción de tamaño para fragmentar la roca,

que se denomina chancado, para luego pasar al proceso de molienda, cuyo fin es reducir aún más el tamaño del mineral y separarlo con mayor facilidad. A continuación, se procede a separar el cobre del resto del material mediante un proceso fisicoquímico, llamado flotación, para luego pasar por un proceso de recuperación, el cual se hace por medio de pirometalurgia. Este proceso, llevado a cabo en un horno de fundición, consiste en la aplicación de altas temperaturas para separar el metal del resto del concentrado. Finalmente, se realiza un último proceso llamado electrorrefinación.

Por otro lado, los minerales oxidados se procesan a través de la hidrometalurgia, pasando directamente a la lixiviación después del chancado. De la lixiviación sale una solución rica en cobre que entra a un proceso de extracción por solventes, para finalmente obtener cátodos de cobre mediante el uso de energía eléctrica, proceso que se denomina electroobtención.

- **Pirometalurgia:** Proceso en el cual se utiliza calor para obtener y refinar los metales.
- **Hidrometalurgia:** Proceso que extrae el elemento de interés mediante una solución acuosa.

En los procesos de minerales sulfurados, la gran mayoría de los proyectos mineros ubicados en Chile no cuentan con unidades de fundición y refinería, por lo que producen concentrado de cobre. Este producto intermedio, debe ser posteriormente enviado a una fundición, donde se producen ánodos de cobre, y luego a una refinadora para obtener finalmente los cátodos de cobre.



## Las fundiciones chilenas: contexto y tecnología

La particularidad de los minerales de cobre en Chile, sobre todo de los sulfurados, los cuales presentan dificultades en su recuperación dada su composición química, incentivaron un desarrollo tecnológico a nivel nacional, que dio origen a uno de los principales hitos de innovación en el área de las fundiciones: el Convertidor Teniente (CT). Luego de su puesta en marcha, en 1977, esta tecnología ha inspirado otros desarrollos de similares características a nivel mundial.

A pesar de los avances operativos en la tecnología asociada a los procesos de fundición, es importante destacar la complejidad química y la presencia de azufre en los minerales tratados en Chile. Debido a estas características, se requiere una considerable cantidad de calor para lograr la recuperación del metal y su posterior refinación. Esto ocurre mediante fusión y conversión, que son operaciones unitarias que ocurren al interior de los hornos y convertidores y que se logran diferenciar según su objetivo.

La fusión es la operación que tiene como objetivo principal concentrar el cobre en los productos, mientras que la conversión corresponde a un mecanismo en que se eliminan los residuos de hierro, azufre y otras impurezas, obteniendo un producto denominado cobre blíster.

- **Cobre blíster:** Material metálico con un nivel de pureza cercano al 99,5% de cobre.
- **Ánodo:** Placas de cobre que alcanzan el 99,6% de pureza.
- **Cátodo:** Planchas de cobre, cuyo nivel de pureza alcanza el 99,99%.

A continuación, en el último paso del proceso de fundición, denominado pirorrefinación, se extrae el resto del oxígeno que contiene el cobre blíster, con el objetivo de aumentar el nivel de pureza. De este proceso se obtienen placas de cobre, conocidas como ánodos, que pueden ser vendidas de manera directa o pasar a la etapa de electrorefinación llevado a cabo en una refinería. En este proceso se transforma el ánodo en cátodo de cobre, que contiene el máximo nivel de pureza y es altamente valorado en el mercado mundial.

En la actualidad, existen seis fundiciones operando en Chile<sup>1</sup>, la mayor parte de ellas son integradas al proceso minero y utilizan la tecnología Convertidor Teniente, mientras que para la etapa de conversión predomina el Convertidor Peirce Smith (Tabla 1). Dos fundiciones utilizan la tecnología de Horno Flash.

● ● ● ● ● ●

**EN LA ACTUALIDAD, EXISTEN SEIS FUNDICIONES OPERANDO EN CHILE, LA MAYOR PARTE DE ELLAS SON INTEGRADAS Y UTILIZAN LA TECNOLOGÍA CONVERTIDOR TENIENTE, MIENTRAS QUE PARA LA ETAPA DE CONVERSIÓN PREDOMINA EL CONVERTIDOR PEIRCE SMITH**

● ● ● ● ● ●

<sup>1</sup>Hasta hace unos meses, había siete fundiciones operativas en Chile, sin embargo, la fundición Ventanas, perteneciente a CODELCO, cesó su operación y está en proceso de cierre.



Tabla 1:

## Configuración y tecnología de las fundiciones chilenas

Fundición	Propiedad	Configuración	Tecnología de fusión	Tecnología de conversión
Chagres	Anglo American	Integrada	Horno Flash	Convertidor Peirce Smith
Caletones	CODELCO	Integrada	Convertidor Teniente	Convertidor Peirce Smith
Potrerrillos	CODELCO	Integrada	Convertidor Teniente	Convertidor Peirce Smith
Hernán Videla Lira	ENAMI	Custom Smelter	Convertidor Teniente	Convertidor Peirce Smith
Chuquicamata	CODELCO	Integrada	Convertidor Teniente y Horno Flash	Convertidor Peirce Smith
Altonorte	GLENCORE	Custom Smelter	Convertidor Teniente	Convertidor Peirce Smith

Fuente: Elaboración propia

## Competitividad del mercado del cobre chileno

Históricamente, Chile ha tenido una alta participación en la producción global de cobre mina (mineral y/o concentrados). A pesar de que seguimos siendo los líderes de este mercado, alcanzando un 23% de la producción mundial en 2022, el porcentaje de nuestra contribución ha disminuido en las últimas décadas, mientras que países como Perú y China han aumentado considerablemente su participación, alcanzando el 10 y el 8%, respectivamente (COCHILCO, 2022c).

Por otro lado, Chile ha disminuido su capacidad de capturar valor localmente. En el mercado internacional comercializamos tres tipos de productos: concentrado, cobre blíster, ánodo y cátodo (ya sea proveniente de electrorrefinación o electroobtención). En 1990, 16% de la producción de cobre en Chile fue como concentrado, posteriormente, en el año 2000 correspondió al 38%, para luego superar el 50% en 2020. Además, se espera que, en caso de mantener la tendencia actual

de producción FURE y el cese productivo de plantas hidrometalúrgicas, la proporción de concentrado supere el 70% en 2030. (COCHILCO, 2022c).

Esta pérdida de competitividad se debe a que la capacidad de fundición de Chile ha permanecido estancada y a que la tecnología no ha sido mejorada. Utilizar tecnología obsoleta genera mayores costos, menor productividad y peor desempeño ambiental, lo cual dificulta poder competir con unidades extranjeras, especialmente las que se ubican en China.

● ● ● ● ● ●

**SE ESPERA QUE, EN CASO DE MANTENER LA TENDENCIA ACTUAL DE PRODUCCIÓN FURE Y EL CESE PRODUCTIVO DE PLANTAS HIDROMETALÚRGICAS, LA PROPORCIÓN DE CONCENTRADO SUPERE EL 70% EN 2030**

● ● ● ● ● ●



## Características del mercado global de fundición y refinación

En la actualidad, China se ha posicionado como el actor principal del mercado FURE y su liderazgo va en aumento. Destacan su número de fundiciones operativas, la avanzada tecnología y los bajos costos de operación que tiene en comparación al resto del mundo.

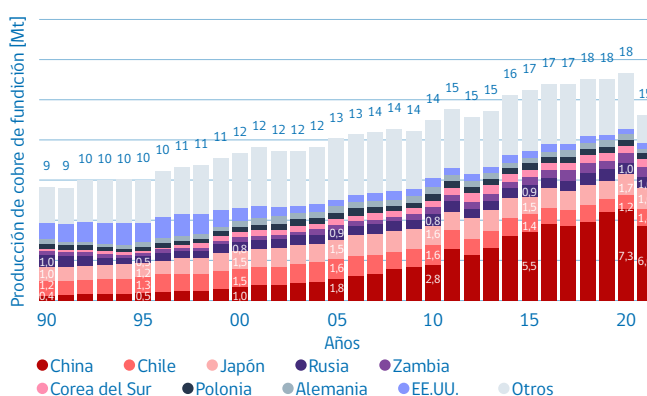
Además de China, existen otros países relevantes para este negocio a nivel global, como es el caso de Japón, Chile, Rusia, Zambia y Corea del Sur. Sin embargo, hay una considerable diferencia en términos de producción de cobre de fundición entre China y el resto de los países, lo cual se puede apreciar en la Figura 2. En los últimos años, China produjo el 40%, mientras que Chile solo el 7% de cobre de fundición, en contraste a lo que ocurría hace 30 años, cuando la participación correspondía a un 4% y 13%, respectivamente (COCHILCO, 2022c). Este cambio ocurrió porque China aumentó considerablemente su capacidad de fundición, mientras que los incrementos realizados en Chile fueron mínimos.

- ● ● ● ● ●

**EN LOS ÚLTIMOS AÑOS, CHINA PRODUJO EL 40%, MIENTRAS QUE CHILE SOLO EL 7% DE COBRE DE FUNDICIÓN, EN CONTRASTE A LO QUE OCURRÍA HACE 30 AÑOS, CUANDO LA PARTICIPACIÓN CORRESPONDÍA A UN 4% Y 13%, RESPECTIVAMENTE**

- ● ● ● ● ●

Figura 2:  
**Producción mundial de cobre fundido por país, 1990-2021**



Fuente: Adaptado de COCHILCO (2022c).

## Capacidad instalada:

Respecto a la capacidad instalada de fundición, China tiene 25 fundiciones operativas que procesan alrededor de 29 millones de toneladas métricas (Mt) de concentrados anuales, mientras que Chile, Japón y Zambia cuentan con 17 fundiciones operativas, que juntas no superan los 7 Mt de concentrado al año (COCHILCO, 2022c).

## Estructura de costos:

Los principales costos asociados al negocio FURE corresponden a la mano de obra, la energía, la mantención, los insumos y el suministro.

En esta materia, el mercado chino de FURE presenta una ventaja notable en sus costos directos promedios, que corresponden a 59 USD por tonelada de concentrado tratado. Estos son bastante inferiores en comparación con los países catalogados como "más eficientes", es decir, aquellos que tienen costos inferiores a 100 USD, donde encontramos a otros países asiáticos y Australia



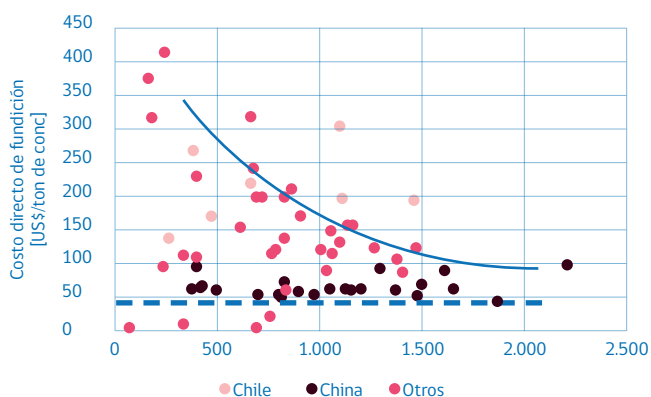
(COCHILCO, 2022c). Por su parte, Chile, con un costo promedio de 211 USD, se ubica entre los países con mayores costos directos, junto a Estados Unidos, Polonia y Filipinas. Es decir, las fundiciones chinas son más costo-eficientes y se encuentran en el primer cuartil de costos, mientras que las chilenas se ubican entre el tercer y cuarto cuartil.

● ● ● ● ● ●

**LAS FUNDICIONES CHINAS SON MÁS COSTO-EFICIENTES Y SE ENCUENTRAN EN EL PRIMER CUARTIL DE COSTOS, MIENTRAS QUE LAS CHILENAS SE UBICAN ENTRE EL TERCER Y CUARTO CUARTIL.**

● ● ● ● ● ●

Figura 3:  
**Costo directo de fundición según la capacidad de la planta, 2021**



Fuente: Adaptado de COCHILCO (2022c).

En general, mientras mayor sea la capacidad de tratamiento, los costos directos tienden a disminuir. Esta relación se puede apreciar en la Figura 3, donde se observa que cuando la capacidad de una planta

supera los 1,3 Mt de concentrado, los costos directos serían menores a 140 USD por tonelada de concentrado tratado. Sin embargo, este resultado dependerá también del tipo de tecnología que se utilizará y los costos de mano de obra y energía de cada país. En el caso de Chile, por ejemplo, el tener una mayor producción no necesariamente implicaría alcanzar menores costos. Esto podría deberse a diversos motivos, como la tecnología utilizada, el modelo de gestión, o condiciones particulares que posee el concentrado que se trata localmente, ya que tiene alto contenido de arsénico en la zona norte del país.

### **Modelo de gestión: modelo integrado v/s no integrado**

Respecto al modelo de gestión, existen dos formas de organizar el negocio FURE: el modelo integrado y el no integrado. El primero corresponde a una planta de fundición y refinación vinculada a la cadena de procesos previos, esto es la extracción de la mina y el procesamiento del mineral, mientras que el segundo funciona como un negocio independiente, en que la fundición obtiene su alimentación desde diferentes fuentes, pudiendo gestionar la composición de la alimentación mediante un proceso de mezcla de concentrados de distintas características. Generalmente, las fundiciones que operan bajo el modelo no integrado tienden a tener menores costos directos que las integradas<sup>2</sup>. Esto se puede evidenciar con lo que ocurre en Chile, ya que en nuestro país las fundiciones estatales con mayores costos directos son las que operan bajo un modelo integrado (COCHILCO, 2022c).

<sup>2</sup>Esta afirmación se basa en la comparación de los costos de todas las fundiciones que operan en el mundo, donde se muestra que las no integradas tienden a estar en cuartiles de costos inferiores que las integradas. Sin embargo, esta comparación no considera el tipo de tecnología ni la fecha de construcción, por lo que se debería integrar estos criterios a la evaluación para evitar sesgos. A partir de los 90s, se empezó a ver una reducción de fundiciones y refineras integradas respecto de las no integradas, por lo que muchas de las fundiciones no integradas son más nuevas y, por ende, tienden a tener una tecnología más eficiente.



● ● ● ● ● ●

## LAS FUNDICIONES QUE OPERAN BAJO EL MODELO NO INTEGRADO TIENDEN A TENER MENORES COSTOS DIRECTOS QUE LAS INTEGRADAS

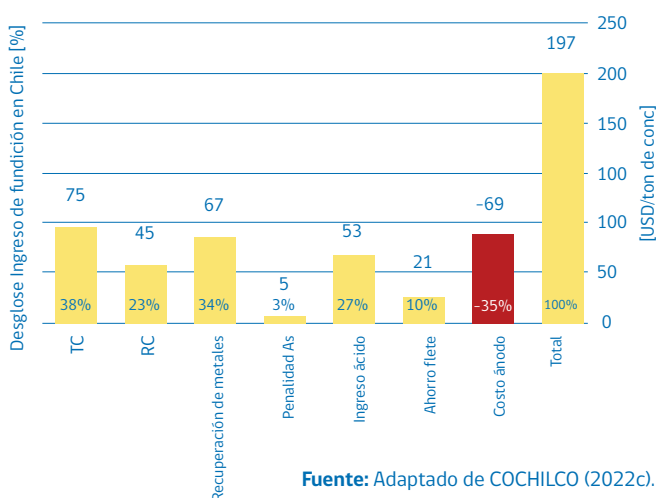
● ● ● ● ● ●

### Estructura de ingresos:

Como se aprecia en la Figura 4, la estructura de ingresos de una fundición está dada principalmente por el cargo de tratamiento (TC)<sup>3</sup>, que corresponde al 38% del ingreso neto, seguido por la recuperación de metales, con un 34%, el ingreso por venta de ácido, con un 27% y el cargo de refinación (RC)<sup>4</sup>, con un 23%. Con menor relevancia, también se perciben ingresos a través del ahorro de flete, que corresponden a un 10% del total y de la penalidad por arsénico, con un 3%. Finalmente, a esto se le debe restar el costo de procesamiento que requiere el ánodo para transformarse en cátodo, el cual es cercano a los 69 USD por tonelada de concentrado (COCHILCO, 2022c).

Figura 4:

### Desglose de ingresos percibidos por una fundición y el costo del ánodo, 2020.



## Subproductos del negocio FURE: una oportunidad de negocio

El negocio FURE tiene la posibilidad de aprovechar los subproductos obtenidos en sus operaciones para generar nuevas fuentes de ingreso. A continuación, se analiza cada uno de ellos.

### Ácido sulfúrico

Uno de los subproductos más relevantes del proceso FURE es el ácido sulfúrico, ya que, no solo genera ingresos para las fundiciones, sino que también es un insumo importante para el tratamiento de minerales oxidados. En 2021, el consumo doméstico de ácido sulfúrico<sup>5</sup> aumentó un 7%, alcanzando 8,5 Mt, mientras que la oferta local cayó un 4,2%; es decir, hubo un balance deficitario de ácido sulfúrico en este periodo, por lo que la demanda local tuvo que ser satisfecha a través de la importación, la que aumentó en un 29,3% respecto al 2020 (COCHILCO, 2022d). Es importante destacar que la Región de Antofagasta supera considerablemente al resto de las regiones, tanto para el consumo como para la producción. Esta región produjo 2.393 miles de toneladas de ácido sulfúrico en 2021 y consumió 6.760, mientras que la segunda región más relevante en términos de consumo, Atacama, consumió 929 y produjo 698 miles de toneladas.

Uno de los problemas a los que se ve enfrentado el mercado del ácido sulfúrico es la volatilidad que experimenta el precio de importación, dicho valor ha tenido un crecimiento sostenido desde 2017, rondando los 116,96 dólares por tonelada (US\$/ton) el tercer trimestre de 2021 (COCHILCO, 2022d). Esta situación puede deberse a diversos factores, como los planes de mantenciones

<sup>3</sup>Esta sigla viene del inglés *Treatment Charge*

<sup>4</sup>Esta sigla viene del inglés *Refining Charge*

<sup>5</sup>Consumo de aquellas faenas mineras, tanto de la minería del cobre como de minerales industriales, y a complejos industriales, que se encuentran actualmente en operación.



de fundiciones internacionales; el aumento del consumo interno; una menor disponibilidad de azufre a nivel mundial; el aumento de costos operacionales en Europa por el conflicto Rusia-Ucrania, y el aumento en fletes de naves provocado por un incremento en los precios de los combustibles.

### Barros anódicos

Los barros anódicos se producen en la refinería durante la producción de cátodos y corresponde a lo que queda depositado en el fondo de las celdas electrolíticas. Estas impurezas del ánodo están compuestas por diferentes elementos, como metales preciosos y otros elementos insolubles que caen del ánodo, tales como oro, plata, selenio, paladio y platino.

Al analizar fundiciones y refinерías líderes a nivel mundial podemos ver que la recuperación de los barros anódicos forma parte de su modelo de negocio. Por ejemplo, Aurubis, una fundición ubicada en la ciudad de Hamburgo en Alemania recupera alrededor de 22 elementos, mientras que en China llegan a los 14 (COCHILCO, 2022g).

A nivel nacional, CODELCO produce barros anódicos y luego los trata en una planta recuperadora de metales, inaugurada en 2016 a través de un proyecto binacional con la empresa coreana LS MnM.

- ● ● ● ● ●

**UNO DE LOS SUBPRODUCTOS MÁS RELEVANTES DEL PROCESO FURE ES EL ÁCIDO SULFÚRICO, YA QUE, NO SOLO GENERA INGRESOS PARA LAS FUNDICIONES, SINO QUE TAMBIÉN ES UN INSUMO IMPORTANTE PARA EL TRATAMIENTO DE MINERALES OXIDADOS.**

- ● ● ● ● ●

## Los concentrados chilenos y el desafío del arsénico

El proceso minero extractivo del cobre viene acompañado de otros elementos, dentro de los cuales, algunos tienen valor económico y otros son considerados como impurezas contaminantes que son capturadas en procesos hacia el final de la cadena de valor, como es el caso del arsénico.

Dado que el arsénico se presenta de forma natural en los principales yacimientos del norte del país, no es un factor que se pueda controlar en el proceso de extracción, pero sí se puede mejorar en etapas posteriores. Existen diferentes técnicas que permiten procesar los concentrados "complejos", métodos que son usados para evitar penalidades a las ventas, tales como la tostación o el *blending*.

En Chile, los concentrados complejos provienen mayoritariamente del norte del país y presentan una alta heterogeneidad, ya que sus leyes de arsénico pueden aumentar o disminuir dentro de la misma empresa al comparar años diferentes. Entre 2018 y 2021, la exportación de concentrados complejos a nivel país osciló entre un 1% y un 17% (COCHILCO, 2023).

- **Concentrado complejo:** Los que tienen un porcentaje de arsénico mayor a 0,5%.

## Residuos generados en el proceso de fundición y refinación

Al igual que la mayoría de los procesos productivos, la fundición también genera residuos, dentro de los cuales se encuentra la escoria. Este residuo tiene un valor económico, ya que tiene concentraciones de cobre variables, entre un 1 y 3% aproximadamente en las escorias producidas en el





horno de fusión, y entre un 8 y 12% en las que provienen de los convertidores (Lagos et al., 2021).

Para rescatar este porcentaje de cobre, la escoria es enviada a un proceso de recuperación en plantas de flotación de escorias o en hornos de limpieza de escorias. Una vez finalizados estos procesos, se generan nuevos residuos; los que provienen de los hornos de limpieza seguirán llamándose escorias, mientras que los obtenidos por la planta de flotación se denominarán relaves.

El problema de ambos residuos es que permanecerán a perpetuidad y tienen potencial de transformarse en pasivos mineros. Por este motivo, se ha intentado incentivar su reutilización, como es el caso del uso de escorias en obras civiles, incorporando así la economía circular al proceso minero.

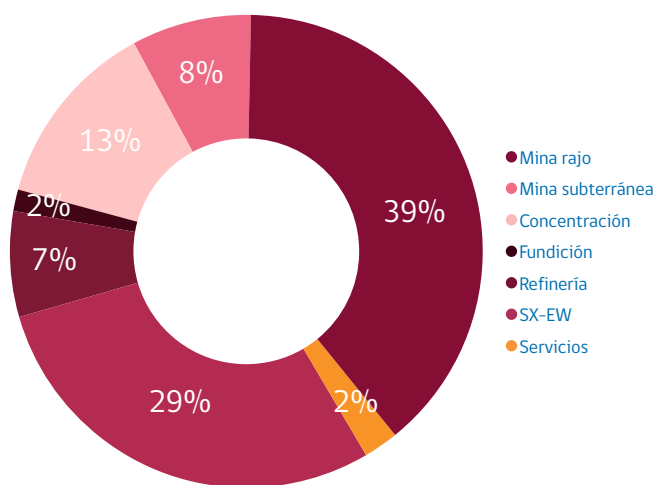
Otro residuo que se genera en el proceso de fundición son los polvos de fundición, que contienen bajo contenido de cobre, oro y plata, pero altas concentraciones de impurezas, como bismuto y arsénico. Este residuo se procesa en las plantas de tratamiento de polvos de fundición.

- **Pasivos mineros:** Faenas u obras abandonadas y/o paralizadas que pueden afectar a las comunidades circundantes o al medio ambiente.

## Emisiones de la industria FURE

Las fundiciones y refinerías generan diversos tipos de emisiones, como los GEI, el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), el arsénico (As) y el material particulado (MP). Las fundiciones son responsables de solo el 1% de las emisiones nacionales de GEI, lo que representa el 7% de las emisiones de las operaciones mineras de cobre del país (Figura 5).

Figura 5:  
**Porcentaje de emisión de GEI por proceso del sector minero.**



Fuente: Adaptado de COCHILCO (2022d)

Según datos de COCHILCO (COCHILCO, 2022a), a nivel unitario la etapa del proceso minero que emite la mayor cantidad de GEI directas es la mina rajo, alcanzando las 4,7 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por tonelada de mineral extraído en 2021. El siguiente proceso con mayor intensidad es la fundición, donde sus emisiones directas por kilo toneladas de cobre fino contenido en Blíster/Ánodos alcanzó las 0,33 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

## Normativa ambiental vigente

Las normas ambientales definen los niveles de sustancias contaminantes consideradas como aceptables y seguras para proteger la salud de las personas y el medio ambiente y son clasificadas en normas de emisión y de calidad.

- **MP10:** Material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual que 10 micrómetros.



**Normas de emisión:** “Son aquellas que establecen la cantidad máxima permitida para un contaminante, medida en el efluente de la fuente emisora, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental” (Decreto 38, 2013, Art. 4).

La norma específica para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico, el D.S. N°28/2013, tiene por objetivo proteger la salud de las personas y el medio ambiente en todo el territorio nacional, estableciendo límites de emisión tanto para los procesos unitarios de las fuentes emisoras como para las emisiones fugitivas (Decreto 28, 2013). En términos más específicos, la norma establece que para las fuentes existentes se requiere de una captura de SO<sub>2</sub> y As mayor o igual a 95%, mientras que para fuentes nuevas la captura debe ser mayor o igual a 98%, generando una gradualidad para las fuentes existentes. Todas las empresas han invertido en tecnología para alcanzar los límites de emisiones y captura establecidos.

**Normas de calidad ambiental:** Las normas de calidad ambiental se miden en el componente ambiental, es decir, en el aire, el agua, etc., y estas pueden ser de dos tipos, primarias o secundarias.

- **Normas primarias:** establecen los valores de concentraciones y periodos permisibles de contaminantes cuya presencia o carencia pueda constituir un riesgo para la vida o salud de la población (Decreto 38, 2013, Art. 2) . El principal ejemplo que tenemos en Chile corresponde al Decreto Supremo N°12 de 2011 del Ministerio de Medio Ambiente, que corresponde a la norma primaria de calidad del aire para material particulado fino, que establece un límite de 20 ug/m<sup>3</sup> como concentración anual.

- **Normas secundarias:** establecen valores de las concentraciones y periodos permisibles de sustancias, elementos y energía cuya presencia o carencia pueda constituir un riesgo para el medio ambiente o la naturaleza (Decreto 38, 2013, Art. 3). En Chile contamos con el Decreto Supremo N°22 de 2009 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, correspondiente a la norma secundaria de calidad de aire para el SO<sub>2</sub> que divide el país en zona norte y sur, estableciendo diferentes límites para cada zona.

El nivel de contaminación de una zona territorial depende del cumplimiento de las normas establecidas. Si el límite de la norma se supera, se considera como una zona saturada y que requiere un plan de descontaminación, mientras que, si los valores se encuentran entre 80% y 100% del límite de la norma, se define como una zona latente y requiere de un plan de prevención (Ley 19.300, 1994).

La mayoría de las zonas en las que están emplazadas las seis fundiciones chilenas operativas, además de las instalaciones de Ventanas en proceso de cierre, han sido declaradas zonas latentes o saturadas para los componentes MP10 y/o SO<sub>2</sub>, por lo que tienen planes de descontaminación o prevención vigentes y, en algunos casos, han presentado conflictos con las comunidades locales<sup>6</sup>.

<sup>6</sup>Estas declaraciones se encuentran en los siguientes decretos: Decreto 7/2009 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia; Decreto 10/2015 del Ministerio del Medio Ambiente; Decreto 11/2021 del Ministerio del Medio Ambiente; Decreto 15/2021 del Ministerio del Medio Ambiente; Decreto 18/1997 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia; Decreto 42/2018 del Ministerio del Medio Ambiente; Decreto 55/2005 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia; Decreto 57/2009 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia; Decreto 107/2019 del Ministerio del Medio Ambiente; Decreto 179/1994 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia; Decreto 185/1992 del Ministerio de Minería; Decreto 255/1993 del Ministerio de Agricultura; y Decreto 346/1994 del Ministerio de Agricultura.



Por otro lado, con la entrada en vigencia de la Ley 20.551<sup>7</sup>, todas las faenas mineras deben contar con un plan de cierre aprobado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), donde se incluyen las plantas de fundición y refinerías.

A continuación, en la Tabla 2, se observa un resumen de la vigencia del plan de cierre de las siete fundiciones, junto con el estado de este:

Tabla 2:

### Planes de cierre de las fundiciones.

	Empresa	Año vida útil	Estado Pdc
Potrerrillos	CODELCO (El Salvador)	2038	En actualización
Altonorte	Complejo Metalúrgico Altonorte S.A.	2040	En actualización
Caletones	CODELCO (El Teniente)	2043	Vigente
Chagres	Anglo American Sur S.A.	2044	En actualización
Chuquicamata	CODELCO	2046	Vigente
Paipote	ENAMI (H.V.L)	2071	Vigente
Ventanas	CODELCO	2088	En proceso de cierre

Fuente: Elaboración propia.

El plan de cierre define diferentes medidas según el grado de permanencia que tendrán las instalaciones una vez que se apruebe el cierre. Por un lado, la ley regula el cierre de las instalaciones que no permanecerán en el territorio y solo requerirán un desmantelamiento, así como también, determina medidas para las instalaciones que sí permanecerán posterior al cese definitivo de las operaciones, como ocurre con la planta y el escorial, los que deberán mantener su estabilidad física y química a perpetuidad.

Dadas las aristas que surgen del plan de cierre y posible utilización de materiales que se transformarán en residuos una vez que cierre la faena, se considera pertinente que la ingeniería asociada a proyecto que aumente la capacidad de fundición cuente con una visión que contemple todo el ciclo de su vida útil, incluida su fase de cierre.

## Capital humano en la industria FURE nacional

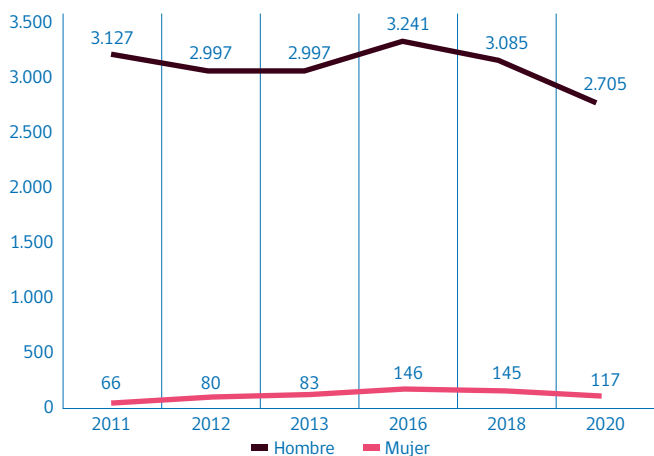
Actualmente, según datos obtenidos por la alianza CCM-Eleva, (2021), las fundiciones y refinerías de la gran minería, correspondientes a Chuquicamata, Ventanas, Chagres, Altonorte, Salvador y El Teniente cuentan con 2.822 personas contratadas de forma directa. A continuación, en la Figura 6, se aprecia la tendencia que ha tenido la participación laboral contratada por estas faenas entre 2011 y 2020. Además, la información se presenta separada por género, donde se aprecia una baja participación de mujeres en esta industria, llegando solo 4,1% en 2020.

<sup>7</sup>Ley que regula el cierre de faenas e instalaciones mineras



Figura 6:

### Evolución de la participación laboral según género en procesos de fundición y refinación, empresas de la gra minería chilena



Fuente: Adaptado de CCM-Eleva (2021).

En cuanto al rango etario al que pertenecen estos trabajadores, el mismo estudio realizado por CCM-Eleva determinó que, en el caso de los hombres, suelen tener entre 30 y 55 años, mientras que las mujeres tienden a estar en el rango entre 25 y 35 años.

Por otro lado, el estudio afirma que casi la mitad de las personas que trabajan en las fundiciones y refinación son operadores u operadoras, mientras que cerca de 30% se dedican al área de mantenimiento, 10% son profesionales, 8% presenta cargos de supervisión y un 5% corresponde a "otros".

Respecto al nivel educacional, la mayor parte de las personas contratadas tienen solo enseñanza media, lo que corresponde al 55,5% del total, mientras que el 15% tiene enseñanza técnica superior, 14% posee estudios universitarios y cerca del 1% presenta otro tipo de formación (CCM-Eleva, 2021).

Al entrar más en detalle, analizando los perfiles presentados por la Comisión del Sistema Nacional de Certificación de Competencias Laborales (ChileValora, 2023), encontramos 24 perfiles asociados a la etapa de fundición del cobre, abarcando grados de jefatura, coordinación, mantención, operación y control a lo largo de todo el proceso productivo<sup>8</sup>. Para el proceso de refinación la plataforma cuenta con cinco perfiles asociados a cargos de operación y control, tanto para la refinación misma como para el tratamiento de barras anódicas.

Sin embargo, se ha constatado que algunas fundiciones han generado sus propios sistemas internos de definición de perfiles, capacitación y certificación. Esto ocurre, en parte, debido a que prácticamente no existe una oferta de carreras técnicas especializadas en el área de fundición y refinación en los Centros de Formación Técnica nacionales. En general, las fundiciones contratan técnicos en minería y luego los capacitan para que puedan operar en sus plantas.

### Tecnología para una nueva FURE en Chile: disponibilidad tecnológica y criterios a considerar

A la hora de determinar la tecnología que debiese tener una nueva FURE, hay que considerar que existen varias opciones disponibles, por lo que debe evaluarse cuál es la más idónea para nuestro país, considerando que se adapte a nuestra realidad, que resuelva desafíos actuales y que permita desarrollar capacidad local.

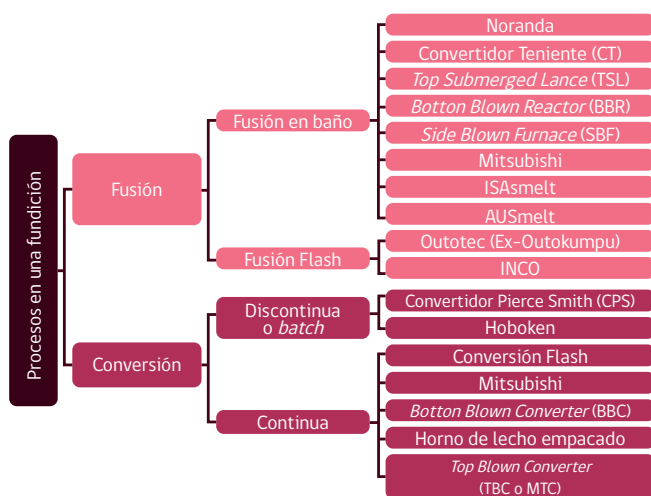
En este contexto, se pueden clasificar las opciones según la performance entre fusión y conversión, además de la configuración en que podrían operar. En cuanto a las tecnologías de fusión, se pueden clasificar en dos grupos, fusión en flash o fusión en baño, siendo la última

<sup>8</sup>Se cuenta con perfiles asociados a carga, planta de ácido, planta de oxígeno, proceso de fusión-conversión, hornos de fundición, refinación, secado y servicios, entre otros.



la que cuenta con la mayor cantidad de alternativas. En el caso de la conversión, pueden agruparse en equipos *batch* (discontinuas) o de operación continua, que exhibe algunos de los desarrollos más recientes (Figura 7).

Figura 7:  
**Oferta tecnológica de la pirometalurgia del cobre**



Fuente: Elaboración propia basada en estudio de COCHILCO (2022e)

Existe una tendencia a la mejora progresiva de estas tecnologías, la cual se basa en acondicionamientos para optimizar la performance, principalmente respecto a la localización del soplado dentro de los equipos. Por ejemplo, como lo indica su nombre, la tecnología BBR opera principalmente con soplado inferior en el horno, misma condición que la tecnología BBC que, además, destaca por no requerir giro. En el caso de la tecnología SBF, esta consta de un horno rectangular estacionario de soplado lateral<sup>9</sup>, mientras que la tecnología MTC de un convertidor de soplado superior con multi-lanza.

Es importante señalar que todos los desarrollos mencionados anteriormente provienen de China, lo que permite concluir que este país es el que lleva la

vanguardia en ámbitos de pirometalurgia, basándose en una estrategia de innovación incremental, es decir, mejoran la forma en que un horno de fundición opera mediante cambios en sus variables de diseño.

Otro avance tecnológico reciente importante de relevar es la incorporación del quemador ciclónico XGC, que entrega mejoras en las condiciones de operación, quitando restricciones respecto del tamaño de partículas, calidad del concentrado y contenidos de azufre. A su vez, incrementa las tasas de fusión, mejora el uso de la energía de reacción y disminuye la generación de polvo, entre otros beneficios.

En síntesis, existe tecnología moderna disponible capaz de llevar a cabo el proceso de fundición de forma más costo-eficiente y con menor impacto medioambiental, por lo que cualquier nuevo proyecto de fundición y refinación que se impulse en el país debe utilizar la mejor tecnología posible en un escenario atractivo económicamente para el inversor.

<sup>9</sup>El desarrollo de esta tecnología pertenece a la empresa NERIN



**III.  
UNA NUEVA  
FUNDICIÓN-  
REFINERÍA  
PARA CHILE:  
ASPECTOS A  
CONSIDERAR**





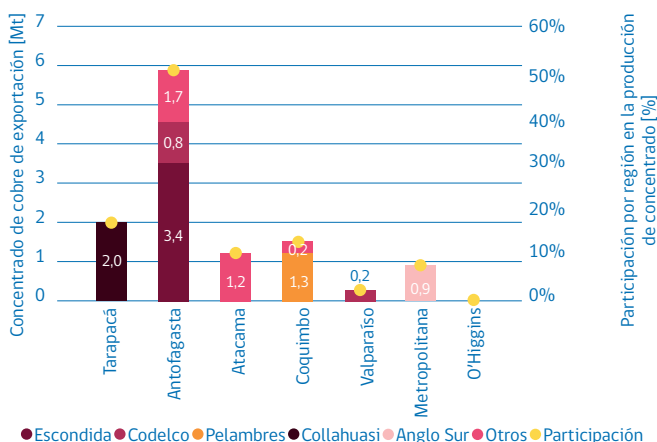
## UNA NUEVA FUNDICIÓN-REFINERÍA PARA CHILE: ASPECTOS A CONSIDERAR

### Disponibilidad de concentrado en Chile

En Chile, la mayor parte de los yacimientos están ubicados en la zona norte. Antofagasta es la región que genera la mayor cantidad de concentrados destinados a exportación, siendo responsable del 50% de los 11,7 Mt de concentrado que se exportaron a nivel país en 2021 (Figura 8). A continuación, siguen Tarapacá con 16%, Coquimbo con 13%, Atacama con 11% y, finalmente, la Región Metropolitana, que produce el 8% (COCHILCO, 2022c).

Además, Antofagasta es la región que demanda la mayor cantidad de ácido sulfúrico, lo que sugiere una ventaja de ahorro en costos de transporte. Por este motivo, el norte del país podría ser un buen candidato para alojar el proyecto de nueva fundición-refinería.

Figura 8:  
**Concentrado de exportación por región, 2021.**



Fuente: Adaptado de COCHILCO (2022c).

Otro aspecto importante a considerar es el tipo de contrato que tienen las empresas mineras productoras de concentrado de cobre con los compradores de estos. Una nueva capacidad de fundición en el país debería poder negociar para que parte de estos contratos, de los cuales una gran cantidad corresponden a acuerdos con empresas extranjeras, se queden en el territorio nacional para su procesamiento. Los contratos del tipo *Offtake* serían más difíciles de negociar y los del tipo *Evergreen* son de renovación automática, mientras que con los contratos de abastecimiento o *spot* habría una mayor oportunidad de negociación.

De todo el concentrado exportado por Chile en 2021, el 87,3% corresponde a contratos de abastecimiento anuales y *spot* (COCHILCO, 2022f), por lo que existiría un volumen potencial de concentrado que podría abastecer una nueva FURE. No obstante, sería prudente desagregar esta información a nivel regional, con el objetivo de determinar la potencial disponibilidad de concentrado de forma más local.

- **Offtake:** Contrato entre una compañía minera y un comprador que busca asegurar la compra de toda o parte sustancial de la producción futura del mineral de la compañía productora.
- **Evergreen:** Contrato que se renueva en plazos permanentes.



## Normativas ambientales cada vez más exigentes

En junio de 2022, se publicó la Ley Marco de Cambio Climático (Ley 21.455, 2022), que redujo de cinco a cuatro años el plazo para que toda norma de calidad ambiental sea revisada por el Ministerio del Medio Ambiente<sup>10</sup>. Por otro lado, el Decreto Supremo N°38 de 2013 del Ministerio del Medio Ambiente<sup>11</sup>, establece que las normas de emisión deben ser actualizadas cada 5 años (DS N°38, 2013). Así mismo, dado que un proyecto de gran envergadura, como es el caso de una fundición y refinería, no se materializa en el corto plazo, una vez que una nueva capacidad de fundición sea instalada en el país, los estándares con los cuales operan las fundiciones actualmente se encontrarán desactualizadas y es probable que sean reemplazadas por normas más estrictas.

Respecto a las emisiones de GEI, la Ley Marco de Cambio Climático indica que se podrán elaborar normas que establezcan cantidades máximas de emisiones para establecimientos y fuentes emisoras, por lo que en el mediano plazo, podría haber restricciones para este tipo de emisiones de las fundiciones en Chile.

En consecuencia, dado que la normativa se volverá cada vez más exigente con cada nuevo proceso de actualización y que existe la posibilidad de que aumente la cantidad de contaminantes regulados, los futuros proyectos de fundiciones y refinerías debiesen considerar las mejores tecnologías disponibles para la captura de gases contaminantes y reducir las emisiones de GEI.



**DADO QUE LA NORMATIVA SE VOLVERÁ CADA VEZ MÁS EXIGENTE CON CADA NUEVO PROCESO DE ACTUALIZACIÓN Y QUE EXISTE LA POSIBILIDAD DE QUE AUMENTE LA CANTIDAD DE CONTAMINANTES REGULADOS, LOS FUTUROS PROYECTOS DE FUNDICIONES Y REFINERÍAS DEBIESEN CONSIDERAR LAS MEJORES TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA LA CAPTURA DE GASES CONTAMINANTES Y REDUCIR LAS EMISIONES DE GEI**



## Consideraciones para la ubicación de una nueva FURE

Una de las variables que debe evaluarse de forma minuciosa y responsable es la ubicación dónde emplazar un nuevo proyecto. A pesar de que es difícil escoger una localidad sin antes haber definido especificidades del proyecto, es posible ir descartando algunas zonas que, por razones ambientales y sociales, no son adecuadas para que se instale una nueva unidad de FURE.

<sup>10</sup>La Ley Marco de Cambio Climático modifica la ley 19.300, la cual determina las bases generales del medio ambiente, donde define las Normas de Calidad Ambiental.

<sup>11</sup>Decreto que aprueba el reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y emisión.





En primer lugar, sería atendible evitar que un proyecto de esta envergadura se localice en áreas de desarrollo indígena (ADI), que se definen como “espacios territoriales en que los organismos de la administración del Estado focalizarán su acción en beneficio del desarrollo armónico de los indígenas y sus comunidades” (Ley 19.253, 1993, Art. 26) . En general, las ADIs se encuentran en zonas rurales y consideran todo el ecosistema del territorio, por lo que son dinámicas y sus límites son difusos.

A pesar de que en la actualidad no existen fundiciones emplazadas en ADIs, no se puede asegurar que esto perdurará en el tiempo, ya que una de las características de estas áreas se asocia a la posibilidad de ir variando su extensión según el comportamiento de los pueblos que habitan el territorio y los recursos naturales que permiten su equilibrio. De esta manera, la localización de una nueva fundición y refinería debe descartar zonas en donde exista alguno de los criterios que constituye una ADI.

Asimismo, otra ubicación que debiese ser evitada corresponde a zonas que actualmente están en la categoría de latentes o saturadas por contaminantes. La definición de nuevas zonas latentes o saturadas dependerá de los monitoreos en zonas industriales y su relación con la normativa vigente, por lo que es probable que toda industria que emita contaminantes pueda estar en una zona latente o saturada, sobre todo si se localiza cerca de la población.

Cabe mencionar que la existencia de una zona latente o saturada no limitaría la instalación de un nuevo proyecto de inversión asociado a los contaminantes declarados en la zona, quedando su aprobación sujeta

a la definición de la autoridad ambiental, la cual podría solicitar compensaciones para su ejecución. Por lo tanto, habría que considerar la posibilidad de proponer compensaciones en caso de que la nueva capacidad de fundición que se ubique en zonas latentes o saturadas.

Otro aspecto relevante a considerar para la instalación de una nueva FURE son los instrumentos de ordenamiento territorial, los cuales son regulados por el Decreto con Fuerza de Ley 1-19175<sup>12</sup>, la cual establece normas relativas a la planificación y uso de suelo (DFL 1-19175, 2005). Chile cuenta con los siguientes instrumentos de ordenamiento territorial: Política Nacional de Ordenamiento Territorial; Política Nacional de Desarrollo Urbano; Política Nacional de Desarrollo Rural; Estrategia Regional de Desarrollo; Plan Regional de Ordenamiento Territorial; Plan Regulador Metropolitano; Plan Regulador Comunal; Política Nacional de Uso del Borde Costero; y Zonificación del Borde Costero. Estos instrumentos de ordenamiento territorial buscan asegurar un desarrollo sostenible y equilibrado del territorio, fomentar la participación ciudadana y promover la integración social y territorial en Chile, y deben tomarse en cuenta al momento de definir la futura localización de fundiciones y refinerías.

Al respecto, caben destacar los ejercicios realizados por el Ministerio de Energía en esta materia, como los Planes Energéticos Regionales, el Estudio de Franjas y los Polos de Desarrollo de Generación Eléctrica. Todos instrumentos que buscan orientar al sector energético en el proceso de ubicación de sus proyectos en coherencia con la realidad territorial y considerando variables económicas, sociales y ambientales, a través de un proceso participativo y de coordinación multisectorial.

<sup>12</sup>Decreto que modifica la Ley 19.175



Adicionalmente, también es necesario tomar en consideración los aspectos técnicos y económicos requeridos para el desarrollo de un proyecto de esta envergadura, como la conectividad, el acceso a insumos y servicios de terceros, presencia de capital humano calificado, capacidad del territorio de absorber las cargas socioambientales, entre otros.

## Generación de empleo de la industria FURE en Chile

A partir de la Matriz Insumo-Producto (MIP) del Banco Central y de las estadísticas de empleo del INE, se obtiene que el efecto multiplicador de la minería en el empleo al año 2019 es de 2,4, es decir, por cada empleo directo se inducen 1,4 empleos en otros sectores. Por este motivo, se hace aún más relevante evaluar el aumento de la capacidad de fundición en el país, dada su importancia a nivel de generación de empleo y desarrollo económico local.

## Soluciones tecnológicas eficientes para la nueva FURE

Basado en la información obtenida del estudio de COCHILCO (COCHILCO, 2022e), que considera información de 63 fundiciones operativas, el presente informe identifica los siguientes criterios relevantes para tener en consideración al momento de definir soluciones tecnológicas para una nueva FURE:

- **Recuperación de cobre:** para obtener una recuperación de cobre del 97,9%, las fundiciones con configuraciones predominantes de Fusión Flash - CPS se encuentran en el primer cuartil de costos. Por otro lado, se visualizan también opciones Fusión Flash - Conversión Flash Mitsubishi (ambas continuas). Todas estas opciones superaron el

promedio de recuperación de cobre anual y se sitúan mayoritariamente en China.

- **Capacidad de tratamiento:** la tecnología Fusión Flash es la que presenta la mayor capacidad de tratamiento respecto a la línea de fusión. Esto se evidencia al analizar la experiencia de fundiciones operativas en China, con capacidades que bordean las 1,8Mt/año de concentrado, llegando en algunos casos a los 2,6Mt/año con 1,6 Mt/año para dos líneas de Fusión Flash y 1 Mt/año para la capacidad del convertidor CPS.
- **Eficiencia en la captura de azufre:** el primer cuartil, donde predomina la tecnología de Fusión Flash - Conversión Flash (continua) y *Side Blown Furnace (SBF) - Top Blowing Converter (MTC)* alcanza una eficiencia que fluctúa entre 99,2% y 99,8%.
- **Costos directos:** considerando que los costos de mano de obra, energía, mantención y servicios<sup>13</sup> fluctúan entre 46,5 US\$/ton y 65,5 US\$/ton, podemos afirmar que solo China se ubica en el primer cuartil de costos directos y que la tecnología que se utiliza mayoritariamente es del tipo *batch*, sin embargo, la que tiene el menor costo corresponde a la tecnología SBF - MTC (continua). En el segundo cuartil predomina la configuración *batch*, donde destaca la configuración Fusión Flash - CPS, BBR -BBC, SBF -MTC y Mitsubishi, las cuales logran una captura de azufre del 99%.

Tomando en consideración estos criterios, la tecnología Convertidor Teniente, que corresponde a la más utilizada en Chile, no sería competitiva para el desarrollo de un nuevo proyecto.

<sup>13</sup>Esto no considera depreciación



Respecto a la tecnología BBC, es importante considerar las restricciones técnicas asociadas a la vida útil de los ladrillos y toberas, la cual ronda los dos meses aproximadamente, dado que es clave para definir requerimientos de mantención y cambio de repuestos.

Por lo tanto, si deseamos tener una fundición competitiva a nivel mundial y que cumpla con los estándares ambientales que la, cada vez más exigente, normativa ambiental requerirá, se debe tener a la vista que las mejores tecnologías disponibles corresponden a la fusión conversión continua, específicamente Fusión Flash – Conversión Flash y SBF – MCT.

- ● ● ● ● ●

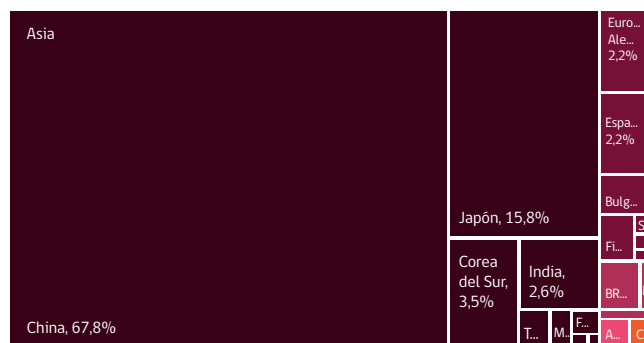
**SI DESEAMOS TENER UNA FUNDICIÓN COMPETITIVA A NIVEL MUNDIAL Y QUE CUMPLA CON LOS ESTÁNDARES AMBIENTALES QUE LA, CADA VEZ MÁS EXIGENTE, NORMATIVA AMBIENTAL REQUERIRÁ, SE DEBE TENER A LA VISTA QUE LAS MEJORES TECNOLOGÍAS DISPONIBLES CORRESPONDEN A LA FUSIÓN CONVERSIÓN CONTINUA, ESPECÍFICAMENTE FUSIÓN FLASH –CONVERSIÓN FLASH Y SBF–MCT.**

- ● ● ● ● ●

## Cambio climático y energías limpias

Puesto que Asia es por lejos la región donde más se exporta nuestro concentrado de cobre, alcanzando el 91% del total en 2021, y que solo China compra el 68% del total (Figura 9), las distancias que este recorre vía transporte marítimo son muy extensas. Se ha estimado que las emisiones asociadas a transportar el concentrado necesario para producir una tonelada de cátodos de cobre desde el puerto de Mejillones a Shanghái corresponden a 158 kg de CO<sub>2</sub>eq (Lagos et al., 2021). En otras palabras, fundir y refinar nuestro cobre en territorio nacional evitaría que se libere a la atmósfera una cantidad considerable de emisiones de GEI, sobre todo considerando que lo que se transporta es concentrado, lo cual tiene un peso y volumen mucho mayor que si exportamos el producto final, es decir, los cátodos de cobre.

Figura 9:  
**Exportación de cobre como concentrado por continente y países respectivos.**



● Asia ● Europa ● América del Sur ● América del Norte ● Otros

Fuente: Adaptado de COCHILCO (2022c).



Pese a que el tratar los concentrados en nuestro territorio permitiría disminuir emisiones de GEI a nivel global y contribuir a la lucha contra el cambio climático, esta reducción no quedaría reflejada en los compromisos de Chile para reducir emisiones en el marco del Acuerdo de París<sup>1415</sup>. Dado que los compromisos se definieron sobre la base de proyecciones que no incluían un aumento de la capacidad de fundición-refinería, se estima que impulsar este proyecto podría generar riesgos en el cumplimiento de los compromisos de cambio climático. Una potencial solución es que, en caso de ser necesario, se podría requerir de compensaciones, por ejemplo, mediante la adquisición de certificados de resultados de mitigación bajo el artículo 6 del Acuerdo de París.

De todas formas, la nueva capacidad de fundición debe apuntar a reducir al máximo sus emisiones de carbono a través de la utilización de energías renovables, con el fin de mantener el cumplimiento de los compromisos ambientales adquiridos por el país a nivel nacional e internacional. Además, se debe considerar que es probable que, tanto los acuerdos internacionales como la normativa local asociados a cambio climático, sean cada vez más estrictos en el futuro.

### **Economía circular: una nueva oportunidad de negocio**

La industria minera es ampliamente conocida por los residuos que genera, ya que estos pueden generar contaminación incluso después del cese de sus operaciones. Este ha sido uno de los principales aspectos que ha perjudicado la reputación de la minería en Chile y ha tensionado la relación con las comunidades aledañas. Por este motivo, es fundamental integrar el concepto de economía circular en todas las etapas del proceso minero, incluyendo la fundición y refinación.

Adicionalmente, este modelo de negocios podría generar nuevas fuentes de ingreso para el negocio FURE, ya que algunos residuos mineros contienen elementos con valor económico que pueden ser recuperados y reprocesados. Por otro lado, las fundiciones se pueden adaptar para reprocesar la chatarra, y así fomentar el negocio del reciclaje en el país.

● ● ● ● ● ●

**ESTE MODELO DE NEGOCIOS PODRÍA GENERAR NUEVAS FUENTES DE INGRESO PARA EL NEGOCIO FURE, YA QUE ALGUNOS RESIDUOS MINEROS CONTIENEN ELEMENTOS CON VALOR ECONÓMICO QUE PUEDEN SER RECUPERADOS Y REPROCESADOS. POR OTRO LADO, LAS FUNDICIONES SE PUEDEN ADAPTAR PARA REPROCESAR LA CHATARRA, Y ASÍ FOMENTAR EL NEGOCIO DEL RECICLAJE EN EL PAÍS.**

● ● ● ● ● ●

<sup>14</sup>Contribución Nacional Determinada (NDC) al 2030 y Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP) con su meta de carbono neutralidad al 2050

<sup>15</sup>El Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Chile (INGEI) abarca las emisiones generadas en el territorio nacional, mientras que las emisiones generadas por el transporte marítimo internacional son gestionadas por la Organización Marítima Internacional (IMO por su sigla en inglés *International Maritime Organization*).



## Barros anódicos

Actualmente, existe capacidad para el procesamiento de barros anódicos en Chile. Es más, la Planta Recuperadora de Metales de Mejillones tiene la capacidad de hacerlo, por lo que se debería evaluar si realmente fuese necesario generar una nueva planta recuperadora o si fuese suficiente con la capacidad que otorga la planta en Mejillones.

## Escorias

La escoria puede ser reutilizada como material de construcción de caminos y otras infraestructuras. Además, se ha regulado el uso de escoria como aditivo para cemento según las normas internacionales DIN<sup>16</sup>, BS<sup>17</sup> y ASTM<sup>18</sup>, sin embargo, aún existe el desafío de que se genere una norma en Chile.

A pesar de las ventajas que tiene para la industria adoptar este enfoque de economía circular en sus procesos, aún existen brechas que lo dificultan. El principal obstáculo está relacionado al sistema regulatorio y normativo que facilite su aprobación. En esta línea, el Ministerio del Medio Ambiente ha integrado en la hoja de ruta del departamento de economía circular el generar reglamentación habilitante para el aprovechamiento de residuos industriales no peligrosos con potencial de valorización.

## Chatarra

El aumento de la demanda de cobre impulsado por la transformación energética y la tendencia a la baja de las leyes de cobre podrían impulsar el reciclado de cobre y, por ende, el desarrollo de nuevas tecnologías para que el proceso sea más eficiente. Además, una de las ventajas del cobre es que es un metal que puede ser reciclado infinitas veces sin perder sus propiedades físicas y químicas (International Copper Association, 2017).

El International Copper Study Group estima que en 2021 el 33% del cobre usado en el mundo viene del reciclaje (International Copper Study Group, 2022). En Europa, esta cifra es aún mayor, ya que cerca del 50% del cobre utilizado es reciclado (Copper Alliance, 2020). Por su parte, en Chile el porcentaje de cobre que se recicla es bajo, ya que no hay mediciones formales del reciclaje y los datos solo se basan en las pocas empresas que hacen pública su gestión, sin embargo, el reciclaje es un negocio potencial que tiene muy buena proyección (Correa, 2015). Sobre todo, si consideramos que los aparatos electrónicos están considerados como productos prioritarios dentro de la Ley REP y que ya se cuenta con un anteproyecto de un decreto supremo que establece metas de recolección y valorización de aparatos eléctricos y electrónicos, lo que inevitablemente aumentaría el volumen de reciclaje de estos artículos en Chile (Resolución 207 Exenta, 2022).

Una de las dificultades que se enfrentan respecto a este tema es que la tecnología Fusión Flash - Conversión *Flash y Side Blown Furnace (SBF)- Top Blowing Converter (MTC)* que se propone para esta nueva FURE, en su diseño original no tienen la capacidad de reprocesar chatarra, por lo que si se quisiera impulsar esta parte del negocio habría que evaluar el costo extra que tendría implementar la tecnología necesaria para llevar a cabo el reciclaje de chatarra electrónica.

<sup>16</sup>Instituto Alemán de Normalización, por sus siglas en alemán (*Deutsches Institut für Normung*)

<sup>17</sup>Normas Británicas, por sus siglas en inglés (*British Standards*)

<sup>18</sup>Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales, por sus siglas en inglés (*American Society for Testing and Materials*)



## Cargos de tratamiento y refinación (TC/RC)

Los cargos TC/RC representan el mayor ingreso percibido por las fundiciones, alcanzando el 61% del ingreso total<sup>19</sup>, por lo que entender cómo funciona este mercado es fundamental para evaluar el negocio FURE en Chile.

En la actualidad, los costos TC/RC han alcanzado mínimos históricos. Según datos de la consultora Wood Mackenzie, estos cargos llegaron a 17,42 centavos de dólar la libra (cUSD/lb) combinado en 2021, para concentrados de 30% de ley (COCHILCO, 2022c). Sin embargo, estos mejoran en el mediano plazo hasta alcanzar 23,1 cUSD/lb para una ley de cobre similar.

Para el largo plazo, dos estudios que realizan evaluaciones económicas de un nuevo proyecto FURE para Chile, uno realizado por CEPAL (Lagos et al., 2021) y otro por CESCO (Lagos et al., 2020), consideraron un TC de 90 US\$ por tonelada de concentrado seco y 9 cUSD/lb para RC (23,8 c/lb combinado), ambos basados en estimaciones de la consultora Wood Mackenzie para el periodo 2027-2035.

Por otro lado, es importante considerar que el aumento de la capacidad de fundición en Chile reduciría la oferta de concentrados exportables a nivel mundial, lo cual inevitablemente podría generar un impacto que podría reducir el TC/RC, afectando los ingresos de las fundiciones. Este efecto se podría amortiguar a través de una estrategia que aumente la capacidad de fundición de forma escalonada, es decir, en vez de incrementarla de forma significativa en el corto plazo, comenzar con la inauguración de una unidad para luego ir agregando nuevas plantas o aumento de capacidades en el tiempo.

## FURE no integrada: una opción más costo eficiente

A pesar de que, como se explicó en el capítulo anterior, las fundiciones no integradas tienden a tener menores costos directos que las integradas, es importante evaluar las ventajas y desventajas de cada modelo, con el objetivo de tomar una decisión con un enfoque más integral. A continuación, se presenta un análisis comparativo de ambos modelos de negocio.

### Negocio FURE integrado

Este es el modelo que predomina en Chile actualmente. A continuación, se describen diversas características asociadas a este tipo de negocio FURE.

#### Ventajas:

- **Suministro:** Las fundiciones cuentan con suministros de concentrado asegurados y no tienen que negociar en el mercado para atraer a vendedores de concentrados.
- **Ciclos:** para el suministro de concentrado que proviene directamente de la mina en la que se encuentran integradas están aisladas de los ciclos de déficit y superávit de concentrados que influyen en los cargos TC/RC, reduciendo los riesgos asociados a un mercado volátil.
- **Diseño:** Es diseñada especialmente para las características químicas de los concentrados que produce la mina. Al vender el concentrado a otras fundiciones a veces se ven enfrentados a penalidades por ciertas características del concentrado, el cual debe pagar el productor.

<sup>19</sup>38% proviene del TC y 23% del RC



- **Concentrados complejos:** En Chile, las fundiciones han considerado el tratamiento de concentrados complejos, los cuales serían más costos de fundir en otros países.
- **Tipo de producto:** La minera puede ofertar cátodos de cobre en vez de concentrados en el mercado internacional, lo cual es un producto con un mayor valor agregado.
- **Mercados:** Puede acceder a un mercado con un mayor grado de transparencia que el de concentrados de cobre, donde el precio es determinado en la bolsa de metales.
- **Premios:** Se lo otorgan premios a las empresas que producen cátodos grado A, es decir, que son capaces de asegurar características físicas y químicas específicas y tienen un contenido de cobre superior al 99,99%.

### Desventajas:

- **Costos:** Como se analizó en el primer capítulo, las fundiciones integradas tienden a tener mayores costos directos, partiendo desde 150 USD por tonelada de concentrado y estando por sobre el costo promedio de la industria (COCHILCO, 2022c).
- **Gestión operativa:** La gestión operativa es compartida con la mina, es decir, están a cargo del mismo ejecutivo, por lo que no puede tener una gestión propia de su negocio, el cual funciona muy distinto al de un proceso de extracción y procesamiento de minerales.
- **Salarios:** El negocio FURE tiende a ser subsidiado por el negocio minero en términos de salarios.

### Negocio FURE no integrado:

#### Ventajas:

- **Costos:** Tienen menores costos directos. En el primer cuartil de costos mundiales de las fundiciones predominan las no integradas, mientras que las más costosas tienden a estar integradas (COCHILCO, 2022c).
- **Ingresos:** Puede abrir su estrategia de negocio de forma mucho más flexible que cuando depende de las decisiones que se toman en la empresa minera, permitiéndole buscar otras fuentes de ingreso, como, por ejemplo, utilizar cobre reciclado, recuperar el calor para mejorar su eficiencia energética, recuperar subproductos y procesar impurezas.
- **Salarios:** Se elimina la posibilidad de subsidios cruzados, es decir, los salarios que ofrecen las fundiciones no integradas se asemejan más a los ofrecidos por rubros similares.

#### Desventajas:

- **Ciclos:** Enfrenta ciclos de déficit o superávit de concentrados, lo que afecta su rentabilidad, ya que gran parte de los ingresos que perciben están asociados al TC/RC.
- **TC/RC:** Los cargos de tratamiento referentes del mercado son establecidos por China, país que concentra una fracción significativa de las compras mundiales de concentrados, con un grado creciente de poder monopsónico. Es decir, China tiene la capacidad de influenciar en los cargos TC/RC de forma estratégica, lo cual afecta a las fundiciones-refinerías no integradas, ya que



deben negociar los contratos de concentrado en el mercado global y aceptar estos cargos TC/RC sin poder de negociación.

En general, el modelo de negocios no integrado presenta mayores incentivos para operar eficientemente, ya que tiende a tener menores costos asociados y más flexibilidad para desarrollar su propia estrategia de negocios. Esto se corrobora con los datos mundiales de costos de fundición previamente analizados.



**EL MODELO DE NEGOCIOS NO INTEGRADO PRESENTA MAYORES INCENTIVOS PARA OPERAR EFICIENTEMENTE, YA QUE TIENDE A TENER MENORES COSTOS ASOCIADOS Y MÁS FLEXIBILIDAD PARA DESARROLLAR SU PROPIA ESTRATEGIA DE NEGOCIOS.**



## Suministro de concentrado para la nueva FURE

Como se explicó en el capítulo anterior, existirá la cantidad de concentrados necesaria a nivel local para poder suministrar una nueva FURE en Chile, principalmente en las regiones de Antofagasta y Tarapacá. Sin embargo, es fundamental contar con una estructura contractual y un suministro de largo plazo que asegure la inversión necesaria para el desarrollo de un nuevo proyecto de FURE.

En un análisis realizado por CESCO en 2020, se propone que sea Codelco, junto con otras empresas privadas que operan en Chile y en Perú, quienes generen contratos con la nueva fundición-refinería, convenio que, además, tendría externalidades económicas positivas para estas empresas (Lagos et al., 2020). Esto podría ser factible, debido a que, además de que se proyecta un aumento en la disponibilidad de concentrados a nivel local, Codelco tiene actualmente dos grandes proyectos que podrían significar una nueva oportunidad de suministro. Por un lado, se ha anunciado el proyecto Rajo Inca, que extenderá la operación de la División Salvador por 47 años y aumentaría su capacidad de 60 mil a 90 mil toneladas de cobre fino anuales (CODELCO, 2021). Por otro lado, la estatal cuenta con el proyecto Sulfuros Fase II de la División Radomiro Tomic<sup>20</sup>, el cual pretende aumentar la capacidad de 100.000 a 200.000 toneladas de cobre fino (Nueva Minería, 2022).

<sup>20</sup>En agosto de 2021 se inició la ingeniería para el análisis de alternativas del estudio de prefactibilidad.





● ● ● ● ● ●

## ES FUNDAMENTAL CONTAR CON UNA ESTRUCTURA CONTRACTUAL Y UN SUMINISTRO DE LARGO PLAZO QUE ASEGURE LA INVERSIÓN NECESARIA PARA EL DESARROLLO DE UN NUEVO PROYECTO DE FURE.

● ● ● ● ● ●

Por otro lado, un estudio de la CEPAL (Lagos et al., 2021) también considera que un contrato de suministro bajo una perspectiva estratégica y de largo plazo podría ser beneficioso, ya que acotaría la volatilidad de los TC/RC. El informe propone configurar un contrato con precios de mercado dentro de un rango, mecanismo que fijaría un piso para asegurarse en momento de déficit y un techo para cuando haya un exceso de oferta de concentrados y así generar incentivos para atraer inversión.

### Ácido sulfúrico: posible superávit en el balance futuro

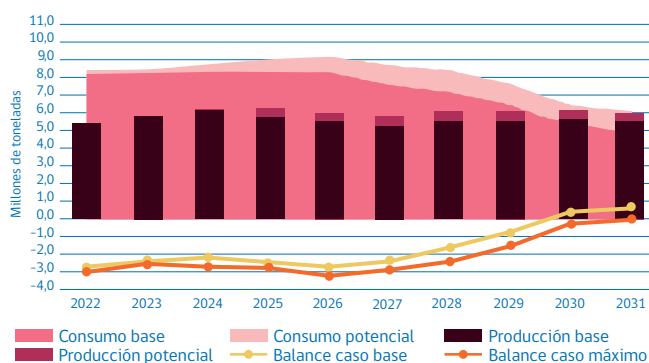
Como se mencionó en el capítulo anterior, el ácido sulfúrico es un subproducto que puede generar beneficios económicos para el nuevo proyecto FURE. En el último estudio del mercado chileno del ácido sulfúrico de COCHILCO (COCHILCO, 2022d), se presenta la Figura 10, en la cual se observa una proyección del balance de ácido a nivel nacional, considerando dos casos.

En primer lugar, tenemos el caso base, que considera el consumo de faenas e industrias que se encuentran operando actualmente y, por el lado de la producción, contabiliza las unidades en operación, pero considera mejoras en desempeño de algunas fundiciones y la salida

de NORACID en el mediano plazo. En segundo lugar, se presenta el caso máximo, donde se contabilizan todos los futuros proyectos<sup>21</sup>.

Por lo tanto, el balance a 2031 será diferente para cada caso. Respecto al caso base, el estudio concluye que en el mediano plazo habría una caída del consumo y de la producción, situación que cambiaría en el largo plazo, donde la oferta aumentaría y el consumo disminuiría, lo que provocaría un estado excedentario a 2030-2031<sup>22</sup>. Sin embargo, el resultado de largo plazo para el caso máximo es distinto, ya que en el mediano plazo la oferta caería al mismo tiempo que la demanda aumentaría, para luego, en el largo plazo, seguir manteniéndose en un estado de balance deficitario de menos de mil toneladas. A pesar de que se proyecta un déficit al final del periodo del caso máximo COCHILCO proyecta que esta situación debiese cambiar a un estado excedentario al año 2032.

Figura 10: Balance del mercado chileno del nacional de ácido sulfúrico 2022-2031



Fuente: Adaptado de COCHILCO (2022d)

<sup>21</sup>Los nuevos consumos corresponden a las potenciales reaperturas de Sagasca y Collahuasi, junto con la apertura de Marimaca, Diego de Almagro, Costa Fuego (Ex Productora) y Playa Verde, las cuales, en conjunto, aportan con alrededor de 843 mil toneladas de ácido sulfúrico al 2026. Posteriormente, en el largo plazo, se agregan 368 mil toneladas de consumo por el proyecto Polo Sur y la operación de Sierra Gorda (COCHILCO, 2022d).

<sup>22</sup>COCHILCO proyecta un excedente de 33.825 toneladas para el 2030 año y de 62.000 para el 2031 (COCHILCO, 2022d)



En consecuencia, pueden presentarse dos escenarios posibles respecto al balance del ácido sulfúrico: uno de déficit y otro de excedencia. En el caso base, una nueva FURE podría aumentar el balance excedentario, por lo que sería necesario encontrar otros usos domésticos para el ácido sulfúrico o países interesados en comprarlo e impulsar su exportación. Respecto al caso máximo, la entrada de un nuevo proyecto FURE ayudaría a compensar el déficit que se tendría a final del periodo analizado, para luego generar un excedente aún mayor que el proyectado a partir del 2032.

En otras palabras, independiente del caso a considerar, llegará un momento en que habrá una excedencia. Lo que variará con cada caso será la fecha en que la industria pasará de un balance deficitario a uno excedentario y, por ende, el periodo que la nueva FURE podría aprovechar el déficit local para vender el ácido sulfúrico en territorio nacional, por lo que es fundamental integrar la necesidad de buscar compradores en el mercado internacional.

Es importante destacar que la publicación del estudio que analiza el balance de ácido sulfúrico recién explicado ocurrió antes de que se aprobara la ley que habilita el cierre de la fundición Ventanas, por lo que el impacto que esta nueva variable tendrá en los resultados se verá

recién con la actualización del 2023 (COCHILCO, 2022d). De igual forma, dado el comportamiento histórico, se esperaría que el cese de la fundición Ventanas aumentará el déficit en el país, lo que incrementaría las importaciones.

## Evaluaciones económicas para una nueva FURE

A la fecha, se cuenta con diversos ejercicios que buscan proyectar la rentabilidad que tendría una nueva fundición-refinería en Chile. Los más importantes, corresponden a los estudios desarrollados por CEPAL y CESCO y evaluaciones internas del Ministerio de Minería y COCHILCO.

A pesar de que todos los ejercicios analizados presentan una rentabilidad, ya sea por una TIR o una VAN que entrega resultados positivos, los resultados son muy distintos, por lo que COCHILCO realizó una nueva estimación de la rentabilidad económica que tendría una nueva FURE en Chile. A continuación, en la Tabla 3, se presenta una compilación de los principales resultados de estos análisis económicos.

Tabla 3:

### Compilado de las evaluaciones de la CEPAL, CESCO, análisis interno del Ministerio de Minería y COCHILCO

	CESCO (FURE 2020)	CEPAL (FURE 2021)	Análisis interno conservador (Fundición 2021)	Análisis interno optimista (Fundición 2021)	COCHILCO (FURE 2023)
Capacidad (Mt/año)	1	1,5	1,5	1,5	1,5
CAPEX (M USD)	1.700 1.000 fundición 700 refinería	1.725 1.350 fundición 375 refinería	1.000	1.000	2.390
Costo operacional (cUSD/lb)	23 fundición 5 refinería	10,4 fundición 4 refinería	21,3	16,6	17,9 fundición 5,1 refinería**
TIR (%)	12,9	12,1	5,3	8,8	10%*
VAN (M USD)	704	620			335*

\*Estos valores corresponden al VAN y la TIR después de impuestos.

\*\*Ambos sin considerar el escalamiento de la Mano de Obra del 1,5% anual

Fuente: Elaboración propia.



El estudio realizado por COCHILCO estima un VAN de 335 millones de dólares después de impuestos y 735 millones antes de impuestos y una TIR de 10% después de impuestos y de 12,3% antes de impuestos. El resto de los estudios presentados en la tabla no especifican si sus cálculos considera el escenario antes o después de impuestos. Además, el ejercicio realizado por COCHILCO contempla un premio por flete de 0%, pero se proyecta, además, un escenario con 15%, mientras que la mayoría de los otros ejercicios utilizan un 50%. COCHILCO aborda el tratamiento de un 10% de concentrados complejos, mientras que CESCO considera un 20% y CEPAL no lo especifica.

Por otra parte, cabe destacar la importancia de realizar una evaluación social de proyectos, que corresponde a una metodología que nos permite ir más allá de la evaluación de rentabilidad privada al considerar la contribución real que tiene un proyecto de inversión en la sociedad. Ninguna de las evaluaciones económicas analizadas anteriormente consideró el impacto que tendría este proyecto en la sociedad, sino que realizaron una evaluación privada netamente económica.

Dada la significancia de esta iniciativa de política pública minera, es fundamental considerar el análisis completo y no solo enfocado en la rentabilidad privada del negocio.

La diferencia entre una evaluación social y una privada es que la segunda no considera los costos y beneficios sociales que los proyectos evaluados le entregan a la sociedad ni las externalidades positivas y negativas. Para llevar a cabo una Evaluación Social de Proyectos se utiliza una metodología diseñada por el Ministerio de Desarrollo Social y Familia, que es utilizada para evaluar los proyectos de inversión que postulan a fondos públicos (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2013). Dado que no se cuenta con una metodología

específica para fundiciones y refinerías de cobre, sería necesario diseñarla y validarla ante el Ministerio y algún experto competente.

## Tipo de inversión requerida

Otro de los aspectos a considerar para el proyecto de nueva fundición-refinería corresponde al tipo de inversión que se buscará, es decir, si es que esta será de origen puramente público o si se requerirá una iniciativa público-privada. A continuación, se analizan ambos casos.

### Inversión exclusivamente pública

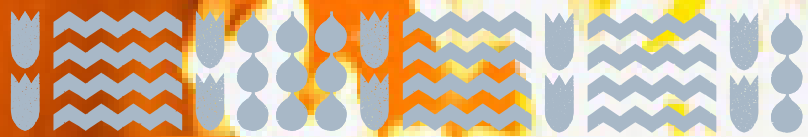
Este tipo de inversión tiene la ventaja de que existe un mayor control y captura de beneficios por parte del Estado. Sin embargo, obtener financiamiento se hace más complejo, dado que se requiere la autorización del Ministerio de Hacienda. Adicionalmente, existen riesgos de conflictividad socioambiental y políticos.

### Inversión público-privada

Este tipo de iniciativa tiene la ventaja de que comparte los riesgos y los costos con una entidad privada, evitando que el Estado asuma la totalidad de ellos. Sin embargo, existe una clara pérdida de control, tanto en el diseño como en la operación del proyecto, afectando la capacidad de tomar decisiones estratégicas para el país. Por este motivo, sería fundamental diseñar un contrato que recoja los intereses del Estado y así asegurar que el proyecto sea beneficioso socialmente. Otro aspecto atendible, es que se debe determinar si el convenio se hará a través de una empresa estatal ya existente o si se impulsará una concesión. También hay que determinar qué tipos de socios se quiere tener para materializar este proyecto, considerando aspectos geopolíticos y estratégicos.



## **IV. PROPUESTAS**





## PROPUESTAS

### Contexto de las propuestas

#### Principales desafíos que enmarcan las propuestas

Respecto a la mantención y actualización tecnológica de la capacidad actual de fundición y refinación, los principales desafíos están relacionados con los altos costos de operación de las fundiciones y con el riesgo de que la tecnología instalada no permita cumplir con las exigencias de las nuevas normas ambientales, las que se volverán más estrictas con cada ciclo de actualización.

En el caso del impulso de un aumento de la capacidad de fundición y refinación a través de nuevas unidades, los principales desafíos comprenden múltiples aristas, que incluyen tanto la definición del tamaño óptimo que debiesen tener nuevas plantas de fundición y refinación, así como la expectativa de contar con la mejor tecnología disponible para alcanzar los máximos niveles de captura de contaminantes como el SO<sub>2</sub> y el As. Para abordar estos desafíos existe abundante evidencia que permite tomar decisiones costo efectivas prudentes al momento del diseño de nuevos proyectos.

Por otro lado, se presentan otros aspectos que son más complejos de abordar, tales como la definición de condiciones que habiliten el financiamiento necesario para materializar futuros proyectos FURE, o el desafío de alcanzar costos competitivos a nivel internacional. Junto a ello, destacan desafíos intrínsecos a las condiciones de cada proyecto a evaluar, ya sean asociados a la definición del modelo de negocios óptimo en cada caso, o a la determinación de la mejor localización para nuevos proyectos de fundición y/o

refinería. Esto último debe considerar los instrumentos de ordenamiento territorial a escala nacional y local que sean pertinentes, la disponibilidad de terrenos, la accesibilidad y proximidad a operaciones mineras que provean de concentrado, y no menos importante, las condiciones de carga ambiental local en el territorio en donde se establezcan nuevos proyectos.

#### Visión para una nueva industria FURE en Chile al año 2050

Se espera que la industria de fundiciones y refinación en Chile aumente su participación en el mercado global, recuperando una posición sólida en cuanto a competitividad y consolidándose como actor relevante en el mercado mundial en aspectos de producción, tecnología y desempeño socio ambiental. Se debe aprovechar la gran disponibilidad de concentrado de cobre que produce nuestro país y dar un impulso concreto en el fortalecimiento de la industria FURE para convertirnos en un referente en el procesamiento de minerales y agregación de valor, junto con adoptar un rol fundamental en la producción de cobre refinado mundial, para atender a los desafíos de la transición energética y contribuir a cumplir las metas globales de carbono neutralidad.

Para mejorar nuestra posición competitiva debemos generar condiciones que permitan impulsar el aumento de capacidad, modernizar las instalaciones de fundición y refinación actual, además de incorporar tecnología de punta que permita una producción eficiente y sustentable para dar cumplimiento a los más altos estándares ambientales.



Para que la industria FURE prospere en Chile debemos contar con un capital humano altamente capacitado y especializado para el futuro, tanto a nivel de operación como de mantenimiento. Para esto, se promoverá la formación y capacitación continua, en colaboración con instituciones de educación técnico profesional y centros de investigación, para desarrollar profesionales y técnicos capaces de enfrentar los desafíos de producción, tecnológicos y ambientales de la industria.

En línea con el enfoque de sostenibilidad y de responder a los desafíos que implica la mitigación y adaptación al cambio climático, se debe adoptar un enfoque de economía circular en la cadena de valor de nuestros minerales. La industria FURE debe propender a integrar este concepto en sus modelos de negocio, fomentando la reutilización y el reciclaje de los subproductos y desechos, maximizando la eficiencia en el uso de los recursos y minimizando la generación de residuos.

Fortalecer la industria de fundiciones y refinerías en Chile nos permitirá disminuir la dependencia de la capacidad extranjera, transitar hacia una minería que genera valor agregado a los minerales, aumentar la participación nacional en el mercado global, asegurar el tratamiento de concentrados complejos y mejorar la trazabilidad de emisiones en la producción del cobre chileno. Ello se logra mediante la modernización de las instalaciones existentes, el desarrollo de nuevas fundiciones y refinerías con tecnologías de punta, la formación de capital humano especializado y la integración de un enfoque de economía circular en la cadena de valor de los minerales. Esta visión busca fortalecer la posición de liderazgo de Chile, impulsando el crecimiento económico sostenible y el desarrollo responsable de la industria.

## Propuestas para fortalecer y aumentar la capacidad FURE en Chile

A continuación, se presentan propuestas para el fortalecimiento de la industria FURE en Chile, las que se clasifican en tres líneas de trabajo asociadas a distintos objetivos. Estas propuestas contarán con una etapa de implementación, detallada más adelante y que se llevará a cabo en el marco de un trabajo participativo que permitirá asegurar la puesta en marcha de un plan robusto para que el fortalecimiento de la industria FURE sea una realidad.

En este contexto, se presentan las siguientes propuestas enfocadas en los tres objetivos principales que definen la propuesta para fortalecer y aumentar la capacidad de FURE en Chile:

### Una industria FURE acorde a los desafíos actuales

Para que el fortalecimiento y el aumento de la capacidad de fundición y refinería en Chile sea una realidad se requiere generar las condiciones habilitantes que permitan fortalecer el ecosistema local en torno a la industria FURE. A continuación, se presentan iniciativas que apuntan a lograr que este objetivo se materialice:

- **Acuerdo Nacional para el Fortalecimiento de la Industria FURE:** El fortalecimiento de la industria de fundición y refinería requiere conciliar los aspectos económicos, como son las capacidades de tratamiento y costos, que en conjunto afectan directamente en la rentabilidad del negocio FURE, con exigencias ambientales definidas en



normas que son revisadas de manera periódica. La revisión de estas normas, que se traduce en mayores porcentajes de captura de gases o límites de emisiones más estrictos, tiene como consecuencia directa la necesidad de llevar a cabo inversiones que permitan adecuar las instalaciones, procesos y equipos a las nuevas exigencias. Esta adecuación no es instantánea ya que depende de los tiempos propios del desarrollo de proyectos de ingeniería, que, entre otros elementos, requieren considerar estudios de ingeniería, obtención de permisos, construcción y puesta en marcha. Se genera, por estas razones, una tensión sobre el plazo en que es deseable y el tiempo en que es viable y/o posible dar cumplimiento a estándares más elevados. Para hacerse cargo de lo anterior, se propone impulsar un “Acuerdo Nacional para el Fortalecimiento de la Industria FURE”, que permita tanto al sector privado como al Estado, contraer públicamente el compromiso de avanzar progresiva y responsablemente en la mejora del desempeño ambiental de las fundiciones. En el marco de este compromiso se deberán establecer metas e iniciativas para cada una de las unidades de fundición y refinación en Chile, tanto públicas como privadas, con el objetivo de mejorar indicadores de desempeño ambiental, manteniendo o mejorando su desempeño productivo. El Estado procurará que este acuerdo se transforme en un plan de desarrollo industrial consensuado y respetado por las partes, para el cual velará tanto en su coordinación con los titulares como en la generación de condiciones habilitantes para que éste se ejecute en el tiempo esperado. Se espera que el acuerdo aquí propuesto sea consistente con la normativa ambiental que aplica a esta industria y que actualmente se encuentra en proceso de revisión.

- **Plan de Adecuación Normativa para una Industria FURE Sostenible:** Se realizará una revisión de la normativa actual, atendiendo a adecuaciones que habiliten mejorar la sustentabilidad socioambiental de la industria y los modelos de negocio con enfoque en la economía circular y la transición justa. El Ministerio de Minería se coordinará con los organismos del Estado competentes para la definición de un “Plan de Adecuación Normativa para una Industria FURE Sostenible”. En este contexto, se considerará, por ejemplo, la revisión de normas que habiliten la reprocesamiento de residuos de la industria FURE, tales como las escorias de fundición. Junto a esto, se establecerán guías y lineamientos para promover un mejor desempeño ambiental y seguro de las FURE que contribuya a proyectar a esta industria en el mediano y largo plazo. Estas guías deberán considerar los escenarios futuros de aumentos de exigencias en normativas ambientales, así como la consideración de habilitantes para la inclusión de más mujeres en las operaciones, entre otros aspectos relevantes.
- **Promoción de Transparencia y Acceso a la Información:** El Estado promoverá el robustecimiento de la red integrada de monitoreo de calidad de aire y el acceso de la información en línea, además de seguir velando por aumentar los estándares de transparencia de la información. Para lograr esto último, se asumirá un compromiso con la entrega activa de información sobre el desempeño ambiental de la industria FURE que será abordado como parte de la implementación del estándar EITI (Extractive Industry Transparency Initiative), con el que Chile recientemente comprometió el inicio de su proceso de adhesión.



- **Programa Tecnológico FURE:** Se impulsará un programa de investigación, desarrollo e innovación FURE, enmarcado en el Plan Tecnológico del Sector Minero que actualmente, desarrolla el Ministerio de Minería para el fomento y mejor focalización de programas de financiamiento de I+D+i (ANID, CORFO) con impacto en fundición, refinación y otras tecnologías de procesamiento de concentrados y producción de cobre refinado en general. Estos apuntarán a mejorar la eficiencia operativa y el desempeño ambiental de las actuales fundiciones, así como generar desarrollo tecnológico y nuevos procesos que permitan aumentar la capacidad de procesamiento de concentrados de cobre de forma más costo-eficiente y responsable con el medio ambiente. Estos programas considerarán la colaboración de empresas con universidades y centros de investigación locales, además de la colaboración con centros de investigación internacionales.
- **Impulso a la Formación y Capacitación de Capital Humano para FURE:** Se desarrollará un programa formación y capacitación FURE para profesionales y técnicos especializados en el sector, el que impulsará el diseño y promoción de planes educativos y de formación técnica que responda a las necesidades de la industria y que permita disponer de personal calificado para enfrentar el cambio tecnológico. El objetivo de este plan de formación y capacitación no solo apuntará a formar buenos operadores de fundición, sino que también a contar con buenos equipos de trabajo a nivel de ingeniería, operación y mantenimiento. Adicionalmente, este plan debe contemplar el asegurar la disponibilidad de personal calificado para los nuevos proyectos FURE que se desarrollen en Chile.
- **Iniciativa de difusión de información FURE dirigida a la ciudadanía:** Se implementará un proceso de divulgación de información a la ciudadanía que permita relevar la importancia estratégica de la industria FURE, como a su vez fortalecer las capacidades de involucramiento y participación ciudadana en el desarrollo de los proyectos. Con esta propuesta se buscaría mejorar el conocimiento y la relación con las comunidades que se encuentran actualmente habitando zonas donde se emplazan fundiciones y refinaciones; además de acercar esta industria a las personas en general a nivel nacional, poniendo énfasis en el impacto estratégico que implica para Chile el contar con mayor capacidad de fundición. Es importante que esta iniciativa se ponga en marcha a la brevedad, por lo que se propone que su lanzamiento coincida, temporalmente, con la firma del Acuerdo Nacional para el Fortalecimiento de la Industria FURE.

### Fortalecimiento de la capacidad estatal

El fortalecimiento de la capacidad estatal de FURE en Chile considerará tanto la actualización tecnológica de las unidades actuales que permitirán mantener la capacidad operativa como el aumento de la capacidad mediante de la construcción de nuevas unidades anexas (proyectos *brownfield*).

El objetivo principal detrás de esta propuesta consiste en asegurar que la capacidad estatal de fundición y refinación se mantenga o aumente en el tiempo, con la generación de proyectos de modernización tecnológica o ampliación de capacidad que sean económicamente rentables, sostenibles en términos financieros, y que cumplan con los más altos estándares ambientales exigidos por la normativa vigente y su proyección futura.





- **ENAMI**

En el contexto del fortalecimiento de la capacidad estatal, se le encarga a ENAMI liderar un proyecto de aumento de capacidad de fundición y refinación en la Región de Atacama. Para esto, la empresa cuenta actualmente con un proyecto que está a nivel de estudio, para la modernización de la Fundición Hernán Videla Lira. Con todo, ENAMI deberá generar las condiciones para entregarle a la Región de Atacama una fundición moderna, económicamente rentable y con los más altos estándares ambientales. Se reivindica aquí la historia de ENAMI que nace como la fusión de la Caja de Crédito y Fomento Minero y la Empresa Nacional de Fundiciones. Contar con una fundición moderna le permitirá a ENAMI continuar jugando un papel de importancia para la pequeña y mediana minería. De este modo, el Estado aprovecha la oportunidad que surge en el marco del fortalecimiento de la capacidad FURE para reafirmar su compromiso con ENAMI, su proyección al futuro y su rol como actor relevante en la industria minera chilena.

- **CODELCO**

CODELCO es el actor más importante en la industria FURE en Chile, con un 60% de la capacidad de fundición y 100% de la capacidad de refinación. Cuenta actualmente con tres fundiciones en operación, que en conjunto representan una capacidad de tratamiento nominal superior a tres millones de toneladas de concentrado anuales. En el contexto de estas propuestas de fortalecimiento FURE, se espera que CODELCO pueda asegurar que su capacidad de fundición y refinación se mantenga o aumente. Para esto, se identifican como opciones el diseño e implementación de un plan que apunte

a mejorar la productividad de sus instalaciones mediante una adecuada gestión de activos, para, de este modo asegurar una alta disponibilidad y continuidad operacional necesarias para mantener elevados niveles de producción de cobre refinado; además de la identificación e implementación oportunas de las eventuales modernizaciones tecnológicas requeridas para cumplir con la actualización normativa.

Se espera, además, que CODELCO apoye el esfuerzo que necesitamos como país para aumentar la capacidad FURE mediante la evaluación y ejecución de proyecto(s) de expansión (proyecto(s) *brownfield*), apoyando la construcción de una nueva fundición (proyecto *greenfield*) o en la participación en el desarrollo de nuevos proyectos FURE. Como consecuencia de lo anterior, la empresa podría reducir la cantidad de concentrado que exporta sin refinar y que a la fecha, supera el millón de toneladas anuales.

## **Desarrollo de nuevos proyectos de fundición y refinación en Chile**

Aumentar la capacidad de FURE en Chile implica materializar la construcción, puesta en marcha y operación de una o más nuevas fundiciones. El Estado de Chile procurará que esto se materialice, ya sea mediante su participación en uno o más proyectos en un futuro cercano o de generar las condiciones habilitantes para que las empresas privadas, nacionales o extranjeras, se interesen en llevar a cabo este tipo de proyectos en el país bajo un esquema de colaboración público-privada.

El Estado de Chile procurará impulsar la construcción de una nueva unidad de fundición-refinación, que permita procesar a lo menos un millón de toneladas



de concentrado de cobre y que cumpla con los más altos estándares en aspectos de productividad y cuidado del medio ambiente, especialmente referente a la captura de emisiones, atendiendo a las condiciones de borde ya mencionadas en el presente documento.

Del análisis de información realizado, se considera que la Región de Antofagasta reúne las condiciones adecuadas para albergar la construcción de una nueva fundición. Esto porque posee una alta disponibilidad de concentrado de cobre para abastecer un proyecto de esta envergadura, junto con contar con una adecuada infraestructura vial y portuaria para la logística de suministros y productos. La ubicación específica deberá ser evaluada por el ejecutor del proyecto, la cual estará delimitada por zonas que serán previamente identificadas desde el Estado mediante un proceso informado y participativo que deberá contar con una evaluación ambiental, económica y social pertinente.

A continuación, se presentan las dos líneas de trabajo necesarias para la habilitación de la construcción de una nueva unidad FURE en el país:

- **Incentivo a la inversión FURE:** El Estado procurará el diseño o uso de “regulaciones e instrumentos” existentes que fomenten la inversión en el sector de FURE, promoviendo la innovación, la sustentabilidad y el desarrollo tecnológico y la colaboración público-privada. El Ministerio de Minería compromete su apoyo en la articulación de esfuerzos, para que, en conjunto con el Ministerio de Economía, y en particular con InvestChile, estas propuestas se inserten adecuadamente en el contexto de la Estrategia de Fomento y Promoción de la Inversión Extranjera. En este punto es importante que el Estado de Chile entregue señales claras que hagan más atractivo el desarrollo de proyectos
- **FURE en el país y que, por lo mismo, faciliten la obtención de financiamiento para los mismos.** Las señales en esta materia también son relevantes para el sector minero en general, ya que permiten despejar dudas respecto de la intensidad con la que el Estado promoverá el aumento de capacidad FURE. Al respecto, corresponde señalar que el suministro de concentrado para nuevas fundiciones deberá asegurarse de acuerdo con condiciones de mercado. Esto implica que, para las empresas mineras, debe ser atractivo fundir y refinar en Chile en términos comerciales. En esa línea, el Estado generará condiciones para hacer atractivo a las empresas mineras ocupar la capacidad FURE instalada o futura, sin recurrir a imponer obligaciones como ha ocurrido en otros países.
- **Certificación de cobre refinado en Chile:** Los esfuerzos que el sector minero realiza por disminuir la huella de carbono del cobre producido en Chile requieren que desde el Estado se coordinen esfuerzos y se generen condiciones para la trazabilidad y certificación de los minerales y metales producidos en el país. En esa línea, el Ministerio de Minería impulsará el desarrollo de una certificación de cobre refinado en Chile que sirva como sello de calidad y permita, en el futuro, al cobre chileno acceder a mercados que demandan cada vez con más fuerza, cobre de bajas emisiones, como es por ejemplo la industria de la electromovilidad. Se generará de este modo, un incentivo de carácter reputacional a la industria minera para fundir y refinar concentrados en Chile.



- Pre-Identificación de potenciales localizaciones para nueva(s) unidades FURE:** A modo de disminuir el riesgo de un proyecto y los costos asociados a estudios de localización, el Estado mediante el Ministerio de Minería y otros organismos competentes, identificará y pondrá a disposición pública, zonas con atractivo para la instalación de nuevas unidades FURE. La determinación de estos espacios buscará optimizar los costos de operación de la cadena de valor del mineral, desde la zona de extracción a la exportación del cátodo, buscando siempre el menor impacto socioambiental posible. Este proceso deberá considerar una Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) y todos aquellos mecanismos de participación pertinentes.
- Roadshow FURE:** Se coordinará una gira a nivel internacional en la que se promoverá esta estrategia de desarrollo y fortalecimiento de capacidad de fundición y refinación en Chile con el objetivo de atraer el interés de potenciales actores que puedan desarrollar nuevo(s) proyecto(s) FURE en territorio nacional.

## Hoja de ruta del proceso de implementación

Para fortalecer y aumentar la capacidad FURE en Chile se debe llevar un proceso de implementación que materialice de forma efectiva las propuestas planteadas. A continuación, se presenta la Carta Gantt con los principales hitos y actividades para el proceso de implementación.

### Actividades que inician el segundo semestre 2023

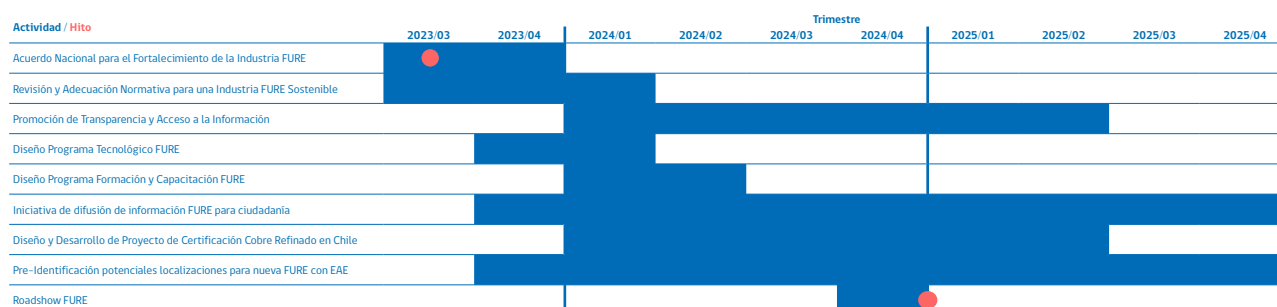
Durante el segundo semestre de 2023 se espera trabajar en el “Acuerdo Nacional para el Fortalecimiento de la Industria FURE”, que debería ser suscrito en ese periodo también.

Se dará comienzo al trabajo en conjunto con los ministerios correspondientes para la definición de mesas de trabajo y un de Plan Adecuación Normativa para una Industria FURE Sostenible.

Se comenzará además con el diseño del Programa Tecnológico FURE, en conjunto con CORFO y ANID, además de integrar la visión de las distintas compañías de la industria ligadas a estos desafíos tecnológicos.

Figura 11:

### Carta Gantt, hoja de ruta del proceso de implementación



Fuente: Elaboración propia.



Se comenzará con el diseño de la Iniciativa de difusión de información FURE dirigida a la ciudadanía que, en conjunto con organizaciones de la sociedad civil, la industria FURE y gobiernos locales, se puedan diseñar instrumentos comunicacionales consistentes y congruentes a las necesidades informativas de las comunidades. Esta iniciativa será implementada una vez terminada la etapa de diseño.

Durante este período, se comenzará con el diseño de la metodología para el proceso específico de pre-identificación de potenciales localizaciones para una nueva FURE. Para la elaboración de esta metodología se utilizará como base la experiencia del Ministerio de Energía y sus instrumentos relacionados al ordenamiento territorial, en particular, tres casos exitosos, que corresponden a (i) los Planes Energéticos Regionales, (ii) los Estudios de Franja y (iii) los Polos de Desarrollo de Generación Renovable. Esta metodología considerará aspectos, tales como las peculiaridades técnicas de proyectos de fundición-refinería, la identificación de potenciales regiones, provincias y comunas para su ubicación y la caracterización de las variables ambientales y territoriales. Se espera implementar la metodología para la pre-identificación de potenciales localizaciones durante el año 2024.

### **Actividades que inician el año 2024**

Se comenzarán las conversaciones con los órganos pertinentes del Estado, las empresas y la sociedad civil para la evaluación y definición de habilitantes necesarios para el robustecimiento de la red integrada de monitoreo de calidad de aire y el acceso de la información en línea. Junto con esto, se convocará a las empresas de la industria FURE a ser parte del plan de trabajo a presentar en la postulación al estándar EITI, a concretar el primer semestre de 2024.

Se iniciará también el estudio de Pre-Identificación de potenciales localizaciones para nuevas unidades FURE, para definir potenciales localizaciones para la instalación de nueva capacidad de fundición. El estudio deberá incluir un proceso participativo, como también la realización de Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), y, así, priorizar las mejores localizaciones posibles. La propuesta metodológica de este proceso deberá contar con los estándares de consulta y participación que correspondan según nuestra legislación vigente, con el objetivo de buscar la armonía territorial y licencia social para operar.

Adicionalmente, se elaborará el Programa de Formación y Capacitación FURE, el cual será liderado por el Ministerio de Minería con apoyo del Ministerio de Educación y el Ministerio del Trabajo. Este plan requerirá la contratación de una consultora externa que levante la información necesaria con los actores relevantes de la industria y del sector educativo y que entregue una propuesta para el diseño y promoción de programas educativos y de formación técnica según las necesidades y desafíos que enfrenta la industria FURE.

En 2024 se dará comienzo al Diseño y Desarrollo de Proyecto de Certificación Cobre Refinado en Chile, que procurará ser un incentivo de carácter reputacional a la industria minera para fundir y refinar concentrados en Chile.

Se espera durante el segundo semestre de 2024, comenzar con el Road-show de viajes y contactos a nivel internacional para la promoción de la inversión en la industria FURE en el país.



## Reflexiones finales

El fortalecimiento y aumento de la capacidad de fundición y refinación tiene un carácter estratégico para el país, creando empleo, encadenamientos productivos y también agregando valor a industria minera nacional.

La lucha contra el cambio climático y la transición energética necesitan de más minerales, particularmente de cobre, pero cobre producido responsablemente y con una baja huella de carbono. En este sentido Chile tiene un rol y responsabilidad fundamental al ser líder en la producción de cobre, y asegurar el suministro del cobre refinado necesario para el desarrollo tecnológico asociado a este desafío.

Cabe destacar que en la actualidad las estrategias de minerales críticos de distintos países en el mundo relevan el riesgo que existe en la cadena global de suministro de minerales, lo que se condiciona a la alta concentración de producción de cobre refinado en pocos actores. Por lo tanto, el fortalecer y aumentar la capacidad de FURE en el país es una agenda primordial para Chile y para el mundo.



## **V. REFERENCIAS**





## REFERENCIAS

- CCM-Eleva. (2021). Participación de trabajadores/as en procesos de fundición y refinación de empresas de la gran minería chilena.
- ChileValora. (2023). Catálogo de Perfiles Laborales. <https://certificacion.chilevalora.cl/ChileValora-publica/perfilesList.html?limpiarFiltros>
- COCHILCO. (2022a). Emisiones GEI en la minería del cobre al 2021 y análisis del contexto actual.
- COCHILCO. (2022b). Informe de actualización del consumo energético de la minería del cobre al año 2021.
- COCHILCO. (2022c). Informe Mercado de Fundiciones: Actualización 2022.
- COCHILCO. (2022d). Mercado chileno del ácido sulfúrico al año 2031.
- COCHILCO. (2022e). Tecnologías de Fundiciones de Concentrado de Cobre en la Industria Minera 2022.
- COCHILCO. (2022f). Presentación Comité FURE: Estructura del mercado de concentrados y fundiciones de cobre. <https://participa.minmineria.cl/es-CL/projects/fure>
- COCHILCO. (2022g). Presentación Comité FURE: Refinación de Metales Nobles. <https://participa.minmineria.cl/es-CL/projects/fure>
- COCHILCO. (2023). Informe de Tendencias del Mercado del Cobre.
- CODELCO. (2021). Presidente Piñera inaugura obras de Rajo Inca en División Salvador de Codelco. <https://www.codelco.com/prensa/2021/presidente-pinera-inaugura-obras-de-rajo-inca-en-division-salvador-de>
- Codelco Educa. (2018). ¿Qué es el cobre? [https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/que\\_es\\_cobre.html](https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/que_es_cobre.html)
- Copper Alliance. (2020). Circularidad y Reciclaje en la UE. <https://copperalliance.org/resource/circularity-and-recycling-in-the-eu/>
- Correa, S. (2015). Identificación de los Requerimientos para la Participación Empresarial en el Negocio del Reciclaje de Cobre en la Región Metropolitana. Universidad de Chile.
- Decreto 28. (2013). Establece norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico. Ministerio del Medio Ambiente. <https://bcn.cl/2fa1u>
- Decreto 38. (2013). Aprueba reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y de emisión. Ministerio del Medio Ambiente. <https://bcn.cl/2kaks>
- DFL 1-19175. (2005). Fija el texto refundido, coordinado, sistematizado y actualizado de la Ley No 19.175, orgánica constitucional sobre gobierno y administración regional. Ministerio del Interior; Secretaría de Desarrollo Regional y Administrativo.
- International Copper Association*. (2017). *Copper Recycling*. <https://copperalliance.org/wp-content/uploads/2017/12/ica-copper-recycling-201712-A4-HR.pdf>
- International Copper Study Group*. (2022). *The World Copper Factbook 2022*. <https://icsg.org/copper-factbook/>
- Lagos, G., Peters, D., Salas, J. C., Parra, R., & Pérez, V. (2021). Análisis económico de las cadenas globales de valor y suministro del cobre refinado en países de América Latina.



Lagos, G., Valenzuela, I., Parra, R., Valdés, M., Jara, J. J., Salas, J. C., Rayo, J., & Voisin, L. (2020). Cobre refinado: Un buen negocio para Chile.

Ley 19.253. (1993). Establece normas sobre protección, fomento y desarrollo de los indígenas, y crea la corporación nacional de desarrollo indígena. Ministerio de Planificación y Cooperación. <https://bcn.cl/2f7n5>

Ley 19.300. (1994). Aprueba ley sobre bases generales del medio ambiente. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. <https://bcn.cl/2rpq8>

Ley 21.455. (2022). Ley Marco de Cambio Climático. Ministerio del Medio Ambiente. <https://bcn.cl/32l1s>

Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2013). Metodología General de Preparación y Evaluación de Proyectos.

Nueva Minería. (2022). Especial Proyectos de Minería: Radomiro Tomic, Minera Candelaria y CMP. <https://www.nuevamineria.com/revista/especial-proyectos-de-mineria-radomiro-tomic-minera-candelaria-y-cmp/>

Resolución 207 Exenta. (2022). Anteproyecto de decreto supremo que establece metas de recolección y valorización y obligaciones asociadas de pilas y aparatos eléctricos y electrónicos. Ministerio del Medio Ambiente. <https://bcn.cl/2ya2s>





Ministerio de  
Minería

Gobierno de Chile