



# Informe Mercado de Fundiciones Actualización 2022

DEPP 08/2022

## Resumen Ejecutivo

Chile actualmente es el principal productor de cobre del mundo, donde el 50% de sus exportaciones mineras corresponden a concentrados, y se espera que en la próxima década dicho valor aumente hasta un 70% de participación. Por otra parte, la producción restante corresponde a refinados generados mayormente en la industria de fundiciones.

La situación global actual es la existencia de sobrecapacidad en las fundiciones, donde China ha sido el principal jugador de la industria liderando el crecimiento y disminuyendo los costos medios. En números, China ha mostrado un crecimiento anual compuesto de +10% en los últimos 30 años respecto a la producción de cobre de fundición. Si bien las fundiciones a nivel mundial están en promedio a un ~73% de utilización, el mercado de fundiciones es competitivo y los cargos por tratamiento y refinación (TCRC) se encuentran en mínimos históricos (~17 cUSD/lb combinado). China importa 56% del cobre que se transa de manera internacional y tiene una participación en el mercado de cobre por fundición de un 40% (vs. 9% de Chile) a nivel mundial.

El escenario en el que se encuentran las fundiciones chilenas es de baja competitividad, antiguas en tecnologías y en su mayoría se ubican en el cuarto cuartil de costos. El promedio de sus costos fue de 210 USD/ton de concentrado tratado en el año 2021. Las operaciones de fundiciones estatales poseen mayores costos que las privadas (222 USD/ton promedio estatal vs. 182 USD/ton en privados). Además, se evidencia la poca modernidad de las fundiciones, por ejemplo, Altonorte, fundición privada es la más joven del país la cual fue construida en 1993.

Los ingresos que perciben las fundiciones chilenas varían entre ~180 y ~230 USD/ton de concentrado tratado, estos están compuestos principalmente por TCRC, recuperación metalúrgica, venta de ácido, ahorro por fletes y las penalidades por arsénico.

Chile posee también un porcentaje de su producción de concentrados con alto contenido de arsénico o complejos (~6% volumen actual), que son más difíciles de comercializar, pero a su vez se han desarrollado tecnologías ad hoc para su tratamiento. Por su parte, en China se comenzó a realizar *blending* en sus puertos, posibilitando su comercialización, sin embargo, las penalidades a este tipo de concentrados son significativas en el mercado de fundiciones chinas con un ~77,5 USD/ton de concentrado al 1,4% de As (media de Codelco DN).

Respecto al análisis de qué etapas son las que capturan el mayor valor en la cadena productiva de cátodos de cobre, se tienen las etapas de extracción en la mina y el procesamiento en planta, con un 87% del valor capturado, considerando un precio del cobre de 350 cUSD/lb Cu junto a los costos promedios de las fundiciones nacionales.

## Tabla de Contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGÍA</b> .....	<b>2</b>
<b>3. MERCADO DE COBRE Y CONCENTRADO</b> .....	<b>3</b>
3.1. PRODUCCIÓN DE COBRE EN GLOBAL Y EN CHILE .....	3
3.2. EXPORTACIONES DE COBRE CHILENO .....	4
<b>4. MERCADO DE FUNDICIONES</b> .....	<b>6</b>
4.1. PARTICIPACIÓN DE MERCADO HISTÓRICA POR PAÍSES EN FUNDICIONES .....	6
4.2. UTILIZACIÓN ACTUAL DE FUNDICIONES A NIVEL GLOBAL.....	8
4.3. DISTRIBUCIÓN DE COSTOS POR FUNDICIÓN .....	9
4.4. DESGLOSE DE ESTRUCTURA DE INGRESO DEL NEGOCIO DE FUNDICIÓN .....	12
<b>5. DISTRIBUCIÓN DE DISPONIBILIDAD DE CONCENTRADO EN CHILE</b> .....	<b>18</b>
5.1. DEMANDA DE ÁCIDO, CONCENTRADO DE EXPORTACIÓN POR REGIÓN Y CANTIDAD DE ARSÉNICO. ....	18
<b>6. CAPTURA DE VALOR AGREGADO</b> .....	<b>22</b>
6.1. PRECIO DEL COBRE Y COSTO C3.....	22
6.2. DISTRIBUCIÓN DE CAPTURA DE VALOR Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD .....	23
<b>7. COMENTARIOS FINALES</b> .....	<b>26</b>

## Índice de Figuras

Figura 1: Producción de cobre mina por país (Fuente: Copper Workbook 2021 World Metal Statistics) .....	3
Figura 2: Producción de cobre en Chile por producto (Fuente: World Metal Statistics) .....	4
Figura 3: Exportación de cobre como concentrado por continente y países respectivos (Fuente: Anuario de Cochilco, exportaciones de cobre 2021) .....	5
Figura 4: Exportación de cobre refinado por continente y países respectivos (Fuente: Anuario de Cochilco, exportaciones de cobre 2021) .....	5
Figura 5: Importación de cobre refinado y concentrado por país (Fuente: World Metal Statistics) .....	6
Figura 6: Producción mundial de cobre fundido seccionado por países (Fuente: World Metal Statistics, a través de anuario de Cochilco).....	7
Figura 7: Utilización y capacidad de tratamiento de fundiciones por países (Fuente: Cochilco en base a datos de WoodMac, Q1 2022) .....	8
Figura 8: Capacidad de fundición y producción de cobre refinado en ktm de fino (Fuente: Cochilco en base a datos de WoodMac, Q1 2022) .....	9
Figura 9: Costos directos de fundiciones comparación entre Chile y China (Fuente: WoodMac, Q1 2022).....	10
Figura 10: Costos directos de fundiciones cuando están integradas (o no) localmente (Fuente: WoodMac, Q1 2022) .....	10
Figura 11: Costos directos de las fundiciones chilenas (Fuente: Cochilco en base a datos de WoodMac, Q1 2022) .....	11
Figura 12: Costo directo de fundición y media mundial (Fuente: WoodMac, Q1 2022) .....	12

Figura 13: Costo directo de fundición vs. Capacidad de fundición (Fuente: Cochilco en base a datos de WoodMac, Q1 2022) .....	13
Figura 14: Desglose del Ingreso percibido por una fundición (Fuente: Cochilco).....	14
Figura 15: Variación histórica (últimos 21 años) de los TCRC y del precio del cobre (Fuente: Cochilco) .....	15
Figura 16: Variación del TCRC como porcentaje del precio del cobre (Fuente: Cochilco) .....	15
Figura 17: Precio promedio anual de ácido en Chile (Fuente: Anuario de Cochilco, 2021).....	16
Figura 18: Balance del mercado de ácido sulfúrico en Chile (Fuente: Cochilco) .....	17
Figura 19: Demanda y producción de ácido sulfúrico por región (Fuente: Anuario de Cochilco, 2021) .....	18
Figura 20: Concentrado de exportación por región (Fuente: Anuario de Cochilco, 2021) .....	19
Figura 21: Ley de arsénico en concentrados de cobre de exportación por empresa (Fuente: Cochilco informe trimestral, 2021) .....	19
Figura 22: Valor de penalización por contenido de arsénico en concentrado (Fuente: Cochilco informe trimestral, 2021).....	20
Figura 23: Variación de leyes de arsénico en concentrado entre 2019 y 2022 (Fuente: Cochilco informe trimestral, 2021).....	21
Figura 24: Variación del precio del cobre en los últimos 30 años y su proyección a 2030 (Fuente: Cochilco, LME, DIPRES) .....	22
Figura 25: Costos C3 promedio de las fundiciones en Chile (Fuente: WoodMac, Q1 2022) .....	23
Figura 26: Distribución del valor capturado hasta cátodo (Fuente: Cochilco en base a datos de WoodMac, Q1 2022) .....	24
Figura 27: Distribución de valor capturado, comparación entre Chile, China y Global (Fuente: Cochilco en base a datos de WoodMac, Q1 2022) .....	25

## Índice de Tablas

Tabla 1: Cantidad de fundiciones y costos directos por país, 2021 (Fuente: WoodMac Q1 2022) .....	7
Tabla 2: Concentrado procesado en fundiciones chilenas y participación respecto a producción total (Fuente: WoodMac, Q1 2022) .....	12
Tabla 3: Análisis de sensibilidad de valor capturado (Fuente: Cochilco) .....	24

## 1. Introducción

Bien sabido es que Chile es un país minero cuyo principal producto metálico extraído es el cobre. El negocio minero se ha sustentado capturando valor en la extracción mina y al procesamiento en planta para la producción de concentrados de cobre.

La tendencia es que la cantidad de cobre producido en concentrados siga en aumento con una participación de mercado de un ~70% hacia el 2030, mientras que la parte aportada por lixiviación junto a *SxEw* irá en decrecimiento de un ~26% en 2021 a un ~11% en 2030<sup>1</sup>.

Es por lo anterior que el interés está puesto en mirar más allá en la cadena de valor del negocio de manera que se avance a un equilibrio, dando importancia a la utilización de fundiciones y refinerías como una operación conjunta que permite obtener cátodos de cobre refinados, lo que se podría posicionar como un negocio industrial independiente de los procesos mina, dándole a Chile una posición estratégica en el producto final de cobre generado.

El presente reporte entrega una visión general de la situación actual e histórica del mercado del concentrado de cobre, para luego adentrarse en el mercado de fundiciones con una revisión del estado global y de su funcionamiento en Chile, abordándolo a través de un desglose de las variables que generan ingresos para la fundición.

El objetivo es mantener actualizada la información respecto a las fundiciones y ser una base para evaluar la potencialidad de un negocio de fundiciones en Chile, permitiendo analizar la necesidad de hacer modificaciones respecto al modelo de gestión utilizado actualmente, como también considerar el incluir tecnologías de punta que permitan no solo ajustarse a la normativa actual, sino que también se acerquen al límite superior de cero emisiones contaminantes.

Este reporte se divide en 4 secciones, en principio se abarcan datos de producción de cobre mina a nivel global y en que productos se distribuye la producción de cobre a nivel nacional, revisando las exportaciones mineras que realiza Chile tanto de concentrados como refinados.

En la segunda sección, se muestran los antecedentes principales del mercado de fundiciones, la participación de los países en la producción de cobre por fundición, costos directos por país, utilización de las fundiciones, la proyección hacia 2040 de la capacidad de fundiciones a nivel global y un desglose de las variables que generan ingresos a estos complejos metalúrgicos.

En la tercera sección se revisan aspectos del concentrado de exportación, demanda de ácido y penalizaciones por arsénico, finalmente en la cuarta sección se revisa el precio del cobre, costos C3 y muestra un análisis de sensibilidad que permite identificar dónde está capturado el mayor porcentaje de valor en los procesos productivos del negocio minero.

---

<sup>1</sup> Cochilco, R. P. (2019). Proyección de la producción de cobre esperada en Chile 2019 – 2030.



## 2. Metodología

La metodología de este estudio está se divide en 2 focos de trabajo.

El primero corresponde a la recopilación de la información y datos obtenidos de diversas fuentes, ya sean de data histórica de Cochilco como de la plataforma *Wood Mackenzie*, además del uso de valores que utilizan como referencia la base de *World Metal Statistics* tanto para las fundiciones chilenas, así como una mirada al mercado nacional y global de las fundiciones y el de concentrado de cobre. Se mencionan las fuentes del origen de los datos en cada Figura presente en el informe.

En una segunda instancia se desarrolló un análisis de la información obtenida y actualizada con cifras para el año 2021, con lo que se confeccionó el presente reporte.

Dentro de este segundo foco se realizó también un análisis de sensibilidad para saber qué etapa del negocio minero se lleva un mayor porcentaje de valor respecto al precio del metal. Se consideró una variación del precio del cobre vs los TCRC, en el apartado de captura de valor agregado. En esta última sección se realizaron algunos supuestos para la distribución de valor hasta el cátodo y para el análisis de sensibilidad.

El análisis de sensibilidad se realizó para 4 casos donde los costos varían para las fundiciones: el promedio Chile, promedio global, una fundición chilena privada y el promedio para fundiciones en China. Se consideraron para los cálculos el precio del cobre en el largo plazo proyectado por Cochilco, el valor de TCRC de largo plazo proyectado por CESCO, el flete y seguro se asumió fijo tomando en cuenta la referencia de valorización del concentrado limpio, para el *cash cost* se toma el costo promedio del observatorio de Cochilco entre 2016 y 2021, otros costos corresponde a la diferencia entre C3 y C1, mientras que otros ingresos FUREs se asume igual al promedio de la industria.

### 3. Mercado de cobre y concentrado

En este capítulo se describe cómo se distribuye la producción de cobre en diferentes países, y los productos que se generan en Chile a través del cobre extraído, mostrando una proyección de ellos hacia el año 2040. Además, se observan datos para las exportaciones chilenas de cobre tanto refinado como concentrado y las importaciones de los mismos a nivel global.

#### 3.1. Producción de cobre en global y en Chile

El contexto actual que existe en Chile respecto al mercado del cobre es que el negocio minero se basa en la comercialización de este metal en forma de concentrado y refinado. Chile lidera la producción de cobre mina tal como se aprecia en la Figura 1, donde para los últimos 12 años nuestro país ha tenido una participación en torno a un 30% de la producción de cobre a nivel mundial. Sin embargo, se ve que en el 2021 -2022 esta participación tiene una caída hasta un 23% por motivos tales como, el agotamiento de los yacimientos, el costo de la energía, la escasez hídrica, efectos de la pandemia, entre otros. Los países que le siguen en participación relevante manteniendo una producción en torno al 12% y 7% son Perú y China, respectivamente. Cabe mencionar que la producción de cobre mina global ha pasado en 2010 desde 16 Mton a 21,3 Mton en el año 2021, lo que significa un aumento de ~25% de la producción de cobre mina para dicho periodo de años.

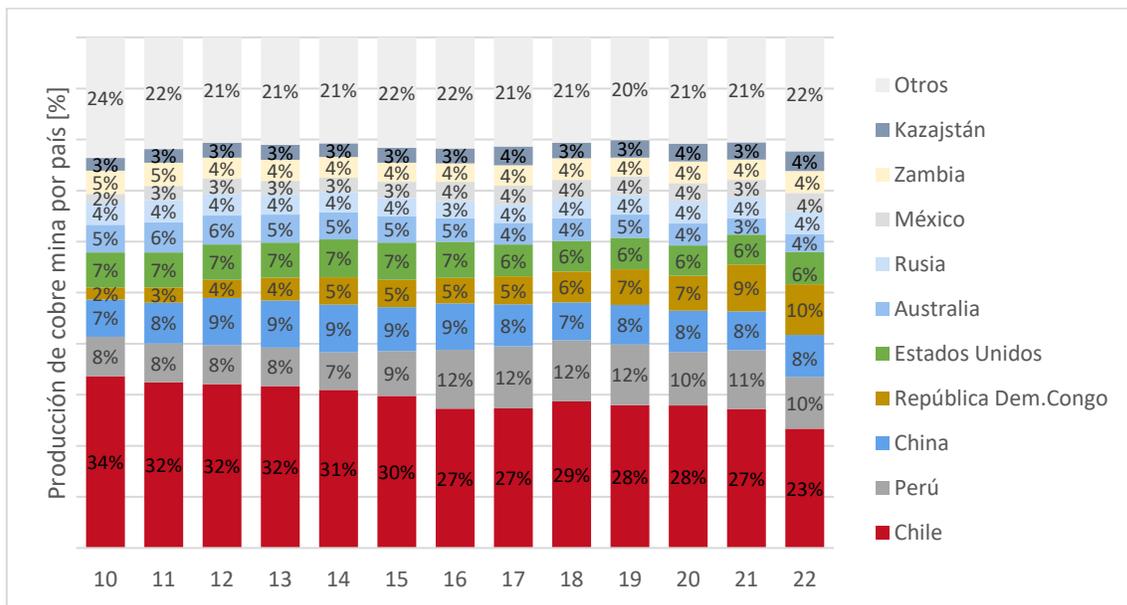


Figura 1: Producción de cobre mina por país (Fuente: Copper Workbook 2021 World Metal Statistics)

Por su parte, la Figura 2 presenta los productos de cobre generados en Chile, se observa cómo han variado desde los años 90, donde lo que se exporta como concentrado ha ido en aumento hasta un ~50% en el año 2021, mientras que el concentrado que se trata vía FURE y se exporta como refinado, alcanzó una baja notoria entre 2008 y 2010.



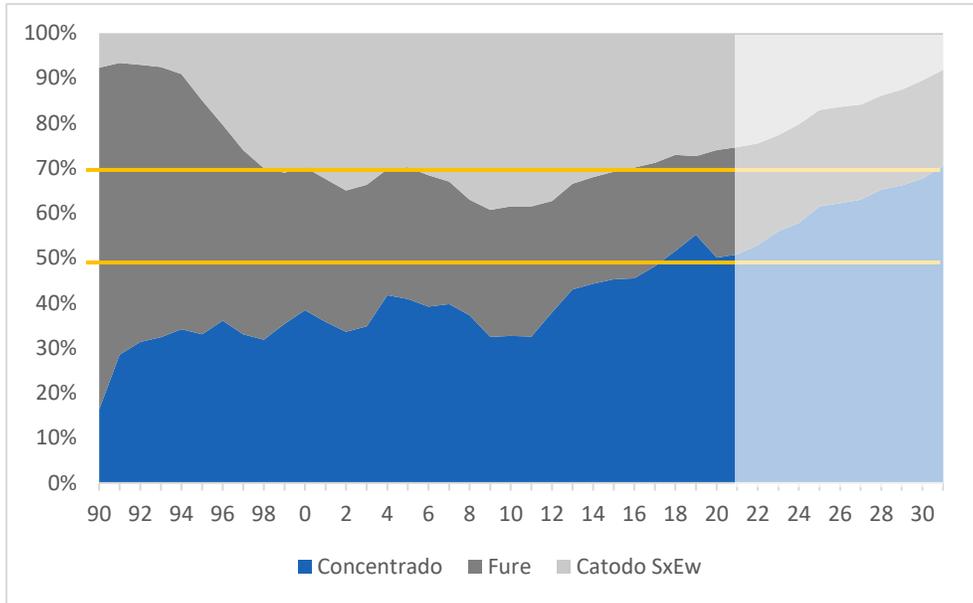


Figura 2: Producción de cobre en Chile por producto (Fuente: World Metal Statistics)

La proyección muestra que el concentrado exportado aumentará hasta un ~70% en 2030, reduciéndose hacia un 11% el cobre procesado y obtenido en forma de cátodo SxEw. Por lo tanto, la producción de cobre refinado vía FUREs chilenas se mantendría relativamente constante hacia 2030, respecto a la cantidad producida actualmente.

### 3.2. Exportaciones de cobre chileno

En el 2021, las exportaciones chilenas de cobre en forma de concentrado representaron un 91% para la región asiática, mientras que para el refinado fue de 52%. China es el principal comprador lo que se observa en la Figura 3 y Figura 4, donde la exportación llegó a un 68% y 33%, para el concentrado y refinado respectivamente.

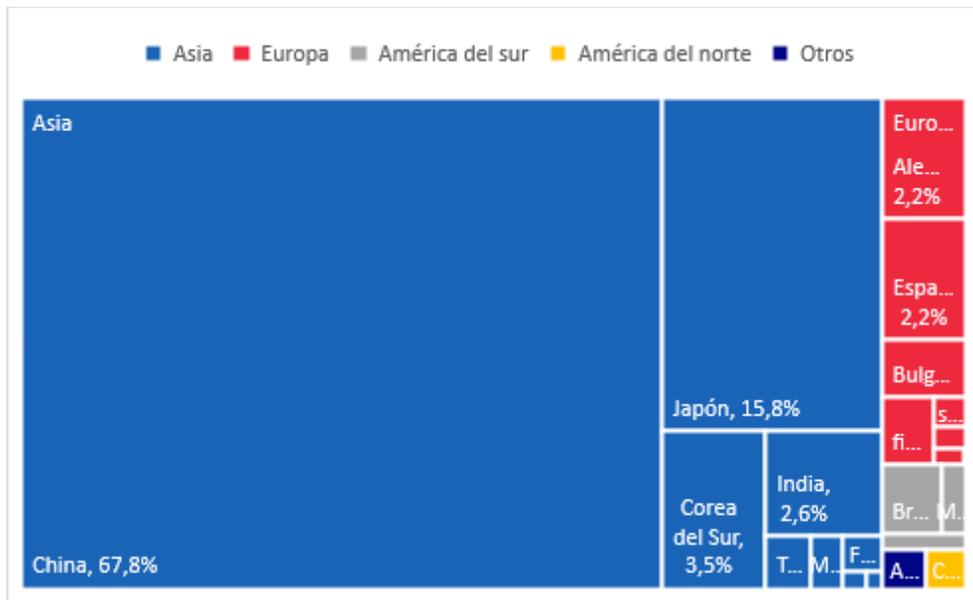


Figura 3: Exportación de cobre como concentrado por continente y países respectivos (Fuente: Anuario de Cochilco, exportaciones de cobre 2021)

Otros países relevantes de la región son Japón con un 16%, Corea del Sur con un 3,5% e India que alcanza un 2,6%. Luego la producción restante se va mayormente a Europa con un 6,6% del total exportado donde Alemania y España participan con la adquisición de concentrado en un 2,2% cada uno.

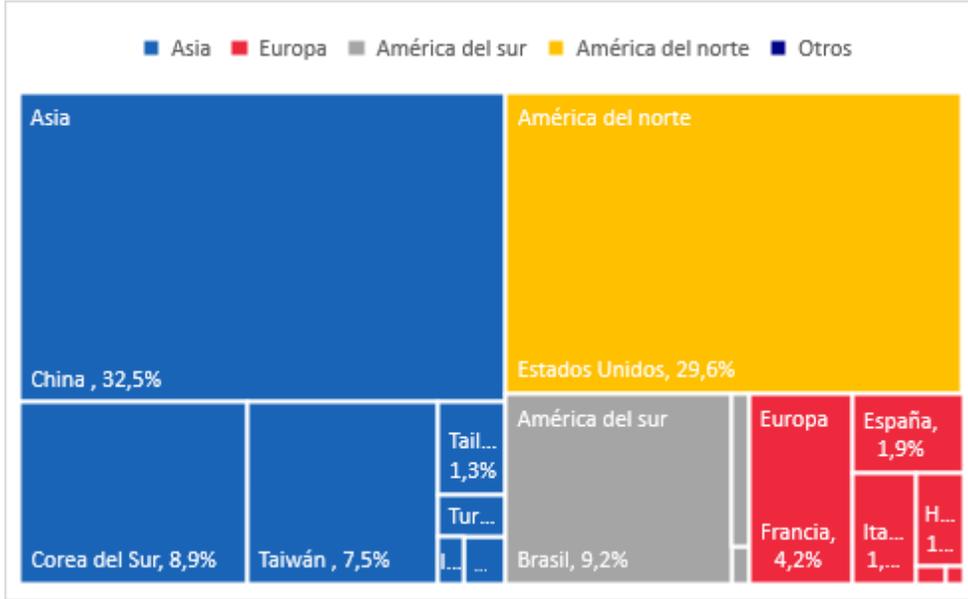


Figura 4: Exportación de cobre refinado por continente y países respectivos (Fuente: Anuario de Cochilco, exportaciones de cobre 2021)

En contraste con la Figura 3 de exportación de concentrados, la exportación de cobre refinado en la Figura 4 está más distribuido entre los continentes, aunque Asia sigue liderando la compra que además de China, Corea del Sur compra un 9% y Taiwán un 8%. América cobra relevancia en participación adquiriendo un 40% del refinado exportado total, cuyo principal país comprador es Estados Unidos con un 30% y Brasil que participa con un 9%.

La Figura 5 corresponde a datos de importación para refinado y concentrado por países, donde se observa que China es el país con mayor importación de concentrado y en menor cantidad el refinado con valores de 73% y 41% respectivamente, para el año 2021, estos valores son mayores a los mostrados en la Figura 4 y 3 anteriores ya que considera la importación global no solo lo que transa con Chile.



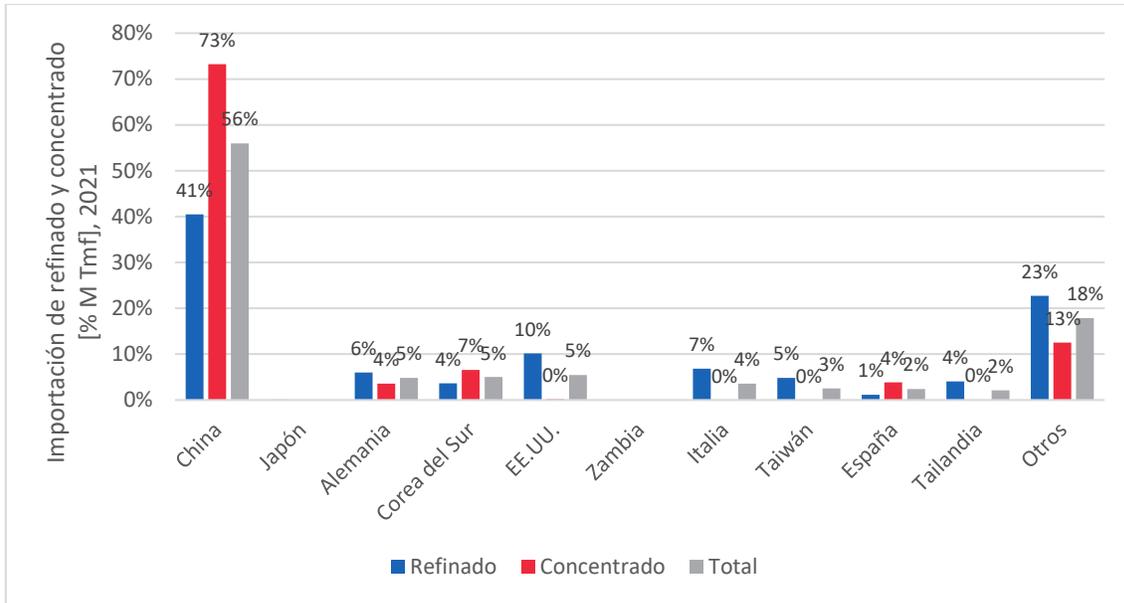


Figura 5: Importación de cobre refinado y concentrado por país (Fuente: World Metal Statistics)

El valor total no considera la producción de mina propia, China compra un 56% del cobre que se transa internacionalmente, pero funden un menor porcentaje. Además, en la Figura 5 se ve cómo Alemania, Italia y Estados Unidos importaron refinado en un 6%, 7% y 10% respectivamente. Por su parte Corea del Sur importó concentrado en un 7%.

## 4. Mercado de fundiciones

El mercado de fundiciones se caracteriza por recibir y tratar concentrados con leyes entre 25-28% de cobre, para generar cátodos electro-refinados. Por lo que los ingresos percibidos por la fundición abarcan desde los cargos de tratamiento y refinería hasta penalizaciones aplicadas a concentrados con alto contenido de arsénico. En esta sección se describe la participación en la producción de cobre por fundición de diferentes países, sus costos directos, la utilización global de las fundiciones, distribución de costos e ingresos.

### 4.1. Participación de mercado histórica por países en fundiciones

Desde los años 90, China comenzó a aumentar su producción de cobre por fundición resultando en más de un 10% de crecimiento anual en los últimos 30 años. Su *market share* en la producción mundial pasó desde un 4% a un 40% en la actualidad, produciendo 7,3 Mton y 6,0 Mton en 2020 y 2021, respectivamente. Su liderazgo en el mercado es debido al número de fundiciones que tienen en funcionamiento, el uso de tecnología avanzada y su compromiso con el medio ambiente que permiten capturar altos porcentajes de gases, además de gestionar sus operaciones para tener bajos costos directos, valores que se observan en la Tabla 1, comparativamente con otros países.

La Figura 6 muestra cómo ha sido la participación de diferentes países en el mercado de producción de cobre de fundición.

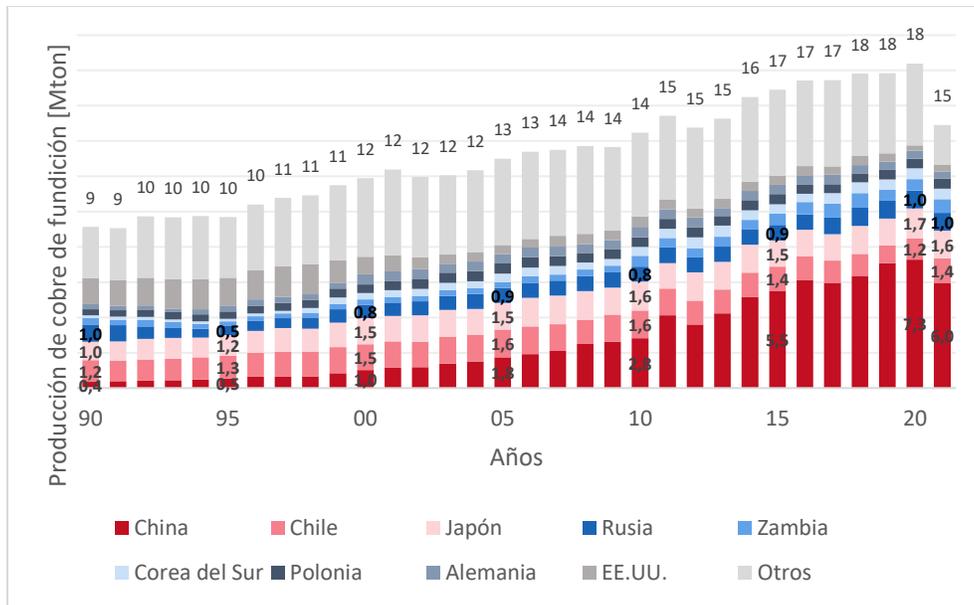


Figura 6: Producción mundial de cobre fundido seccionado por países (Fuente: World Metal Statistics, a través de anuario de Cochilco)

Por su parte, Chile ha disminuido su participación en el mercado desde un 13 % en los años 90 a un 7% en 2020, mientras que aumentó a un 9% de participación en 2021. Hasta 2003, Chile y Japón producían más que China, además en 2003-2005 Chile producía más cobre por fundición que el producido en Japón, pero con la llegada del súper ciclo que significó el alza de los precios de los *commodities* el negocio minero se centró en la producción de concentrado de cobre.

Por otra parte, se tiene que el total de producción para el año 2021 fue de 15 Mton comparada con las 18 Mton producidas en 2020, baja que responde a una ralentización debido a los efectos de la pandemia Covid-19.

Tabla 1: Cantidad de fundiciones y costos directos por país, 2021 (Fuente: WoodMac Q1 2022)

País	Número de fundiciones	Costo directo [USD/ton]
China	25	59
Chile	7	211
Japón	6	93
Zambia	5	87
Polonia	3	198
USA	3	196
Corea del sur	1	121
India	1	156
Australia	2	73
Alemania	1	154
Bulgaria	1	130
Perú	1	147
Filipinas	1	207
Indonesia	1	87



Otros	9	176
-------	---	-----

La Tabla 1 permite ver qué países como Chile, Filipinas, Polonia y Estado Unidos tienen *direct cash cost* promedio alrededor de 200 USD/ton de concentrado tratado en sus fundiciones. En contraste los países del continente asiático como China, Japón e Indonesia tienen costos menores a 100 USD/ton, incluyendo a Australia también en este grupo.

4.2. Utilización actual de fundiciones a nivel global

La capacidad de fundición existente en diferentes países varía desde menos de 5 millones de toneladas de concentrado fundido al año hasta 30, aproximadamente, en el caso de China. Se muestra cómo los países asiáticos son los que presentan una utilización mayor al 75% pero menor a un 90%, mientras que Chile tiene un valor de 71%. Cabe mencionar que la utilización se define como la razón de la producción de fundición con la capacidad instalada neta total (descontando periodo de mantención programado), sin incluir chatarra, solamente fundición de concentrado de cobre.

La Figura 7 presenta la capacidad de fundir concentrado que tienen diferentes países junto al porcentaje utilizado de dicha capacidad durante el año 2021.

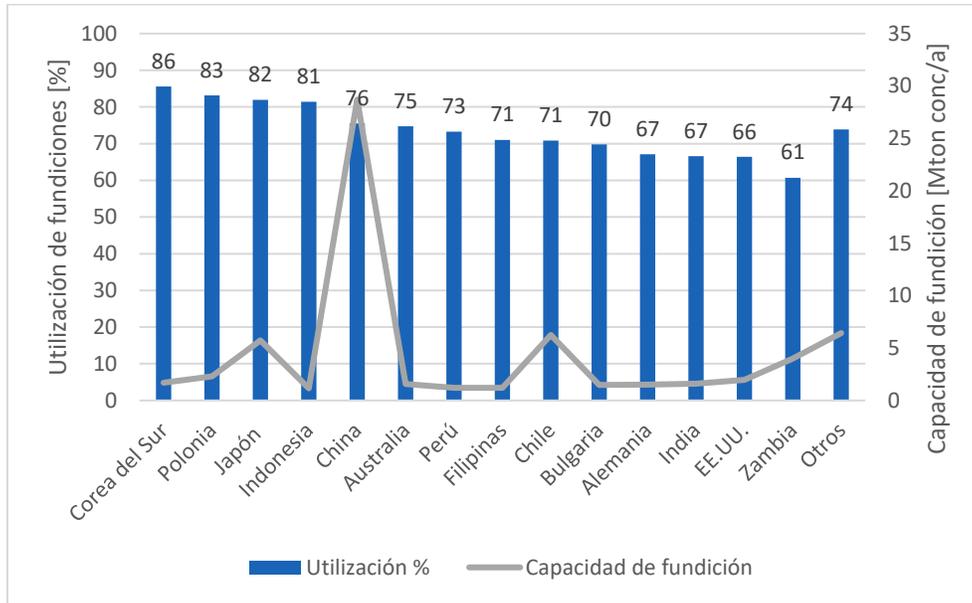


Figura 7: Utilización y capacidad de tratamiento de fundiciones por países (Fuente: Cochilco en base a datos de WoodMac, Q1 2022).

Por lo tanto, existe sobre capacidad en las fundiciones actuales a nivel global, las cuales en promedio están a un 73,4% de utilización. Esto tiene relación con una menor disponibilidad de concentrado en el mercado, lo que impacta en los cargos de tratamiento y refinería que se mencionan en una sección posterior.



En contraste con la Figura 7, la Figura 8 describe la capacidad de fundición respecto al cobre refinado que se produce, donde se ve la diferencia entre el producido solo por fundición – electro refinado y un total que incluye el generado también por electro obtención.

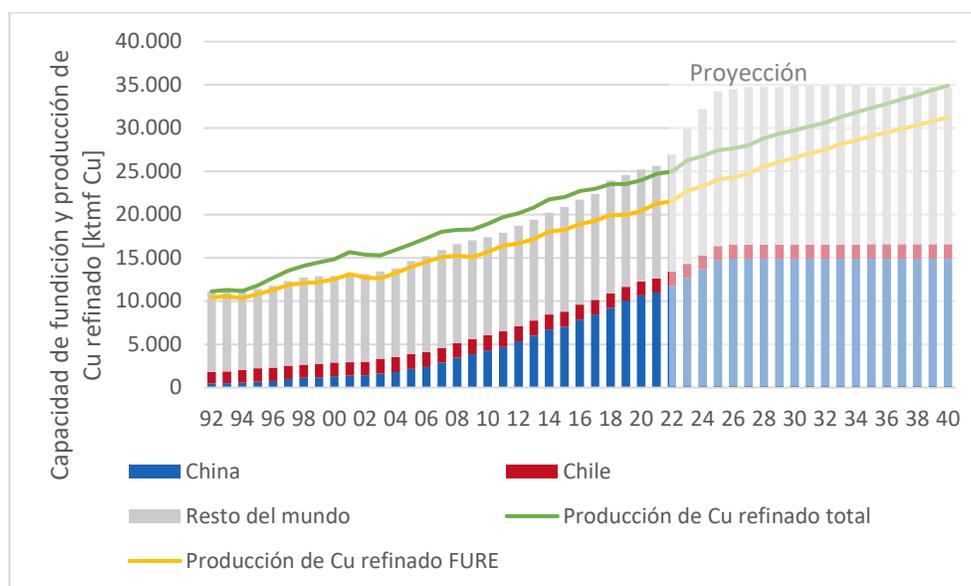


Figura 8: Capacidad de fundición y producción de cobre refinado en ktm de fino (Fuente: Cochilco en base a datos de WoodMac, Q1 2022)

Al año 92 la producción de cobre refinado total estuvo entorno a un 10.000 ktm de cobre fino, mientras que al 2021 fue de 25.000 aproximadamente, lo que significa un aumento del 60% en 30 años. La producción vía FURE desde el año 2006 comenzó a estar por debajo de la capacidad de fundición de manera más notoria, acentuándose la sobre capacidad hacia el año 2021.

La proyección indica que en los próximos años habrá más capacidad de fundición, superando la producción total de cobre refinado. Sin embargo, no hay certeza de nuevos proyectos para el desarrollo de nuevas fundiciones desde el año 2025 por lo que se observa cómo se mantiene constante la capacidad desde dicho año, en cambio sí hay proyección de aumento en producción global de cobre, por lo que las líneas verde y amarilla son crecientes.

#### 4.3. Distribución de costos por fundición

Costos directos de fundición en dólares por tonelada de concentrado fundido se muestran en la Figura 9, donde se contrastan los valores de China y Chile con respecto a los cuartiles. Se aprecia cómo las fundiciones chinas son las de menores costos directos, las cuales se encuentran por debajo del costo promedio de la industria con 114 USD/ton de concentrado para el año 2021, mientras que un 84% de ellas esta entorno al primer cuartil de costos.

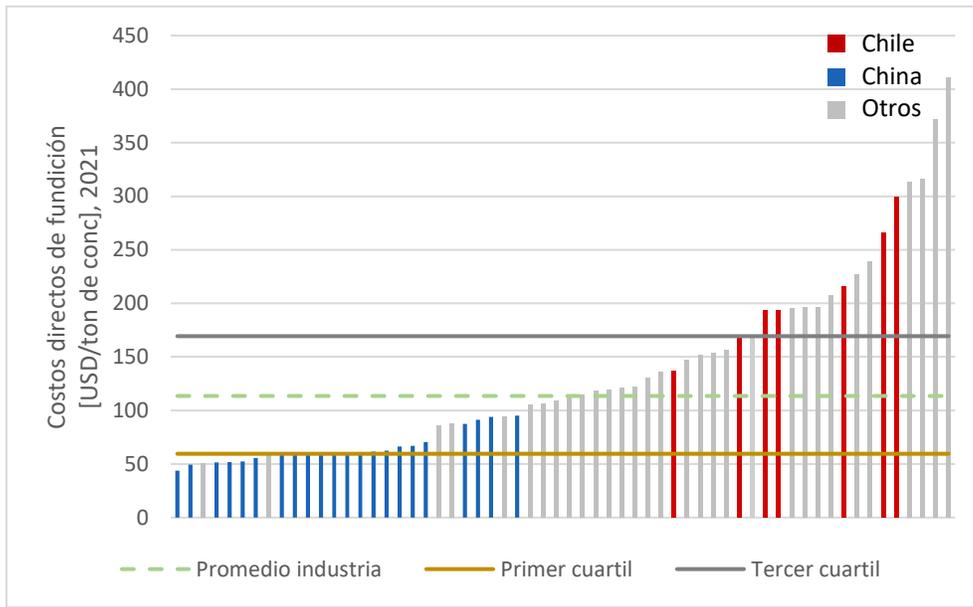


Figura 9: Costos directos de fundiciones comparación entre Chile y China (Fuente: WoodMac, Q1 2022)

Por su parte en Chile, las fundiciones operativas poseen elevados costos directos, donde 5 de las 7 fundiciones están por sobre el tercer cuartil, alcanzando un costo de casi 300 USD/ton en la operación menos eficiente.

La Figura 10 presenta la variación de costos cuando las fundiciones se integran localmente.

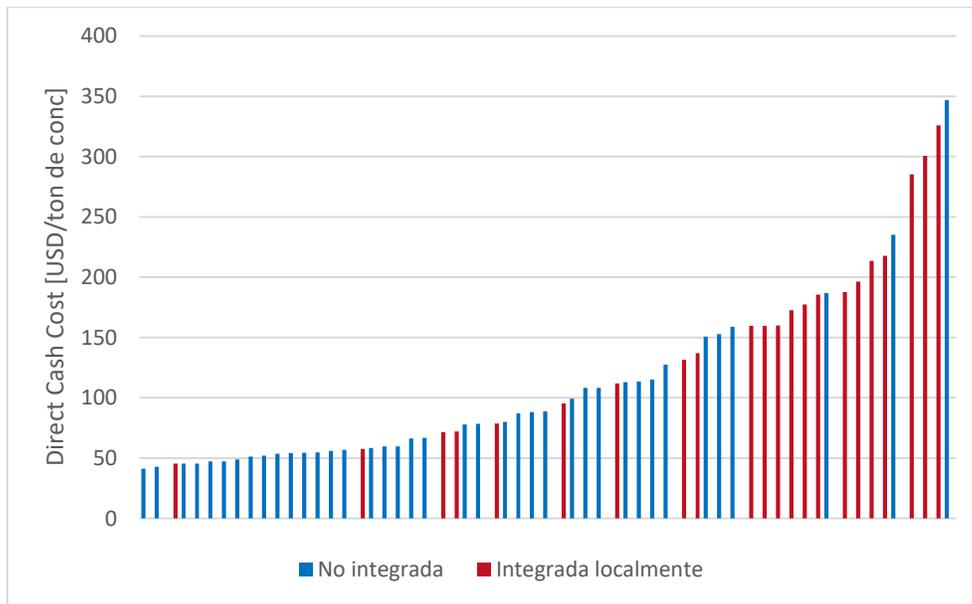


Figura 10: Costos directos de fundiciones cuando están integradas (o no) localmente (Fuente: WoodMac, Q1 2022)

Que una fundición no esté integrada hace referencia a que funciona como un proceso industrial independiente, donde no funciona como una etapa intermedia en el lugar que es desarrollado el



proceso minero, por lo que puede recibir concentrado de diversos orígenes. En caso de que esté integrada corresponde a que su operación está incorporada de manera directa a la cadena de procesos posteriores a la extracción mina y procesamiento.

Se ve en la Figura 10 que las fundiciones que están integradas localmente con la operación de la mina tienden a tener los costos directos más elevados, desde 150 USD por tonelada de concentrado fundido y por sobre el costo promedio de la industria.

En la Figura 11 se presentan los costos de fundiciones chilenas actualizados al año 2021, mientras que la Figura 12 se incluye los costos de fundiciones para cuartiles y media mundial.

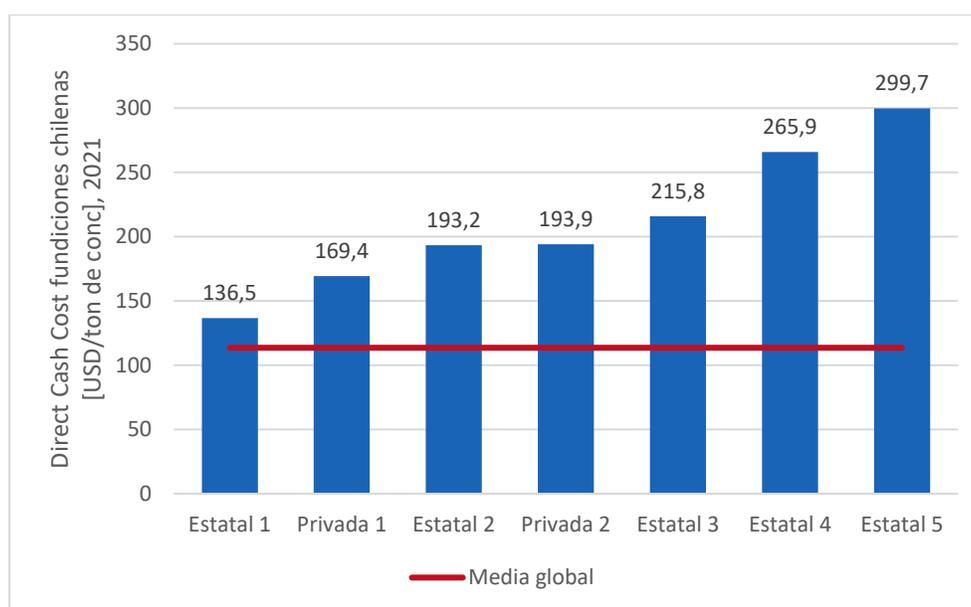


Figura 11: Costos directos de las fundiciones chilenas (Fuente: Cochilco en base a datos de WoodMac, Q1 2022)

Las fundiciones chilenas se encuentran sobre el costo promedio global de las fundiciones del mundo y 5 de ellas sobre el tercer cuartil de costos. Lo que se traduce en operaciones poco eficientes, además si se considera un ingreso promedio esperado de 200 USD/ton de concentrado procesado solo dos de las fundiciones tendrían resultados operacionales positivos, mientras que otras dos estarían cerca del margen y 3 de ellas se encontrarían en una posición de pérdida. En la Tabla 2 se observa cómo operaciones estatales menores en capacidad productiva tienen costos elevados. A su vez la última a pesar de tener gran capacidad muestra el costo más alto.

Tabla 2: Concentrado procesado en fundiciones chilenas y participación respecto a producción total (Fuente: WoodMac, Q1 2022)

Fundición	Producción [kton/año], 2021	Participación producción [%]
Estat 1	273	5
Privada 1	475	9
Estat 2	1.467	27
Privada 2	1.116	20
Estat 3	662	12
Estat 4	386	7
Estat 5	1.100	20

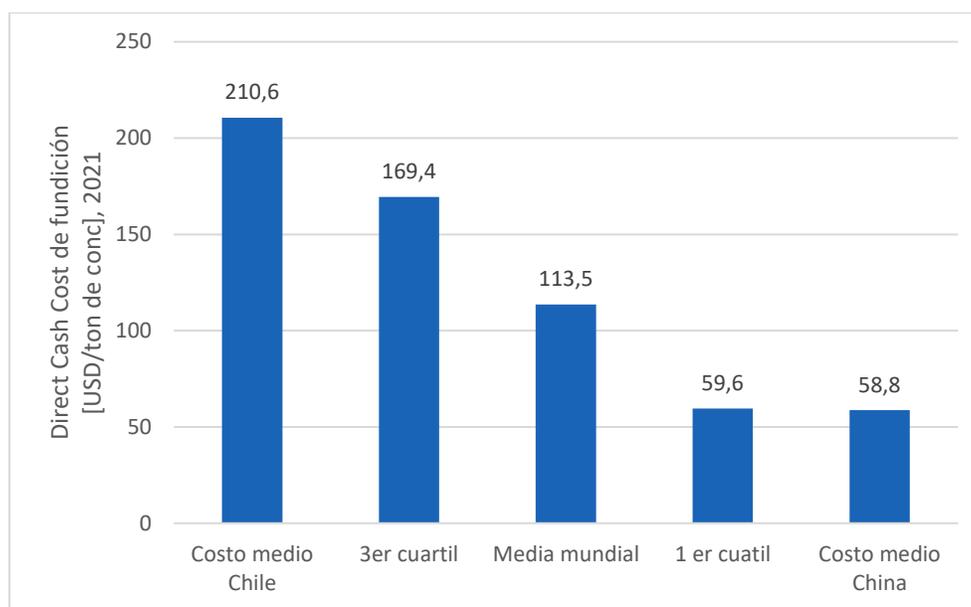


Figura 12: Costo directo de fundición y media mundial (Fuente: WoodMac, Q1 2022)

Según lo que se observa en la gráfica anterior, las fundiciones chilenas deberían disminuir en un 46% los costos directos para llegar a la media global, lo que se traduce en -97 USD/ton de concentrado tratado. En contraste con China que posee un costo medio muy por debajo de la media mundial de 59 USD/ton de concentrado.

#### 4.4. Desglose de estructura de ingreso del negocio de fundición

Si analizamos los costos directos de las fundiciones respecto de la capacidad de planta que tienen, es posible identificar que, en la medida que la capacidad de la planta de fundición es mayor, los costos directos tienden a disminuir (Figura 13).

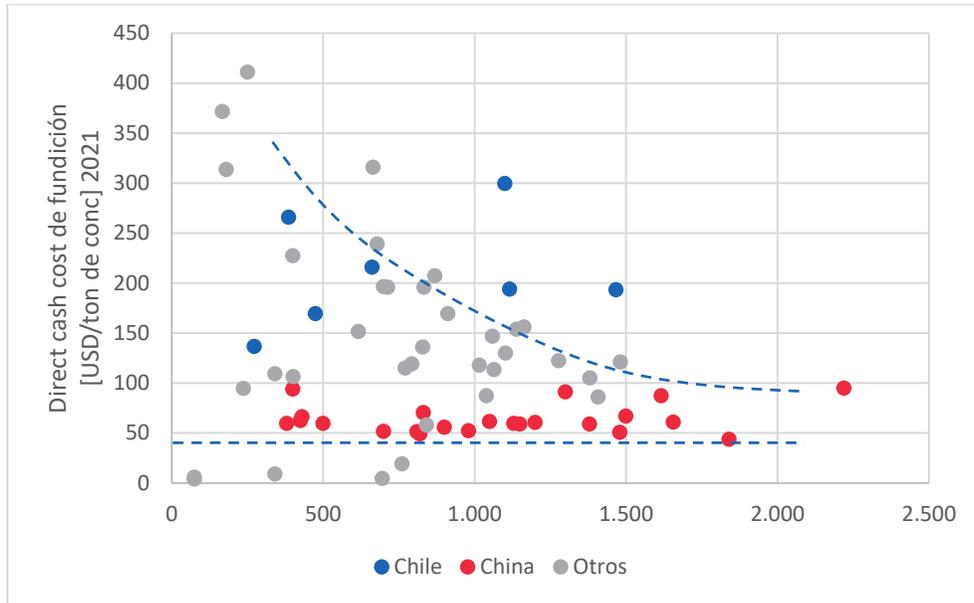


Figura 13: Costo directo de fundición vs. Capacidad de fundición (Fuente: Cochilco en base a datos de WoodMac, Q1 2022)

En el gráfico los círculos representan las fundiciones del mundo, en la medida que dichas fundiciones tienen un mayor tamaño para tratar una mayor cantidad de concentrado de cobre medido en kton, el costo directo o C1 de la fundición disminuye, junto con la dispersión de los mismos. El costo cash es menos de 140 USD/ton sobre ~1,3 Mton de concentrado tratado.

En las fundiciones chilenas lo anterior no aplica completamente ya que su costo es mayor a pesar de su capacidad de tratamiento, mientras que en China independiente del tamaño de la fundición sus costos se mantienen bajos de igual manera.

Por su parte la Figura 14 permite identificar donde se genera mayor ingreso en la fundición, el cargo de tratamiento o TC que es cubierto por el vendedor del concentrado representa un 38% del ingreso total, seguido de la ganancia de metal con un 34% y luego el ingreso por la venta de ácido con un 27%.

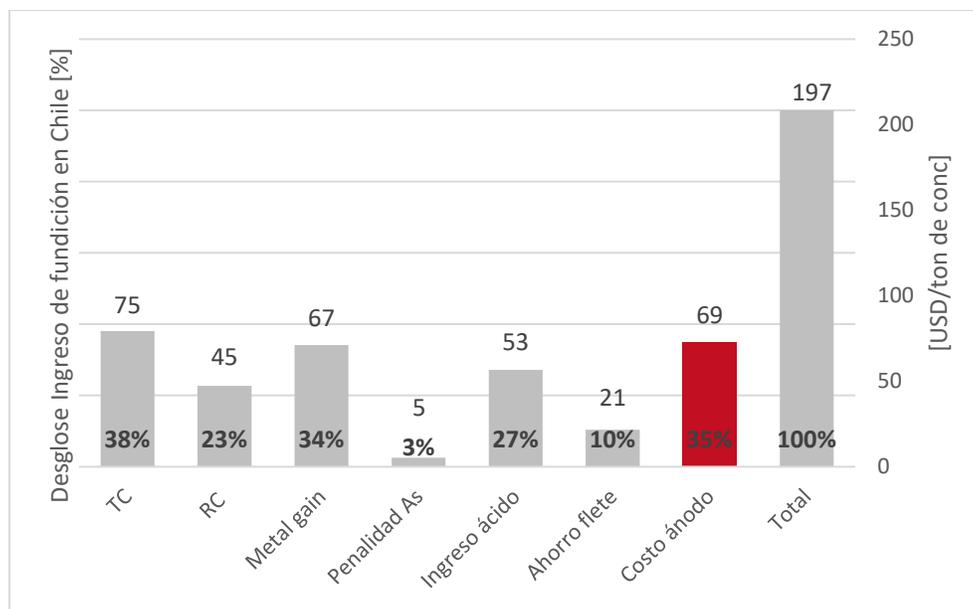


Figura 14: Desglose del Ingreso percibido por una fundición (Fuente: Cochilco)

El cargo de refinería como ingreso es de un 23%, mientras que el costo de procesar el ánodo para la producción de cátodo es de 69 USD/ton de concentrado que se resta al ingreso total y por ello la barra está en rojo.

El ahorro que es generado por flete es pequeño, hace referencia al dinero ahorrado al no transportar el concentrado al puerto, luego no pagar las tasas del transporte marítimo y el valor asociado al seguro.

Las fundiciones chilenas reciben ~200 USD por tonelada de concentrado tratado; TCRC, recuperación de metales e ingreso por ácido son las principales partidas.

Cabe mencionar que el gráfico se encuentra basado en un escenario que incluye parámetros del año 2020 como un precio del cobre de 303 cUSD/lb y para el ácido de 60 USD/ton, pero que durante el año 2021 y 2022 han variado, aumentando sus valores por lo que el *metal gain* e ingreso por ácido podrían aportar a elevar el ingreso total de la fundición.

En la Figura 15 se muestra cómo han variado desde el año 2000 al presente los valores para los cargos de tratamiento y refinería combinado (TCRC), mientras que en la Figura 16 dichos cargos se expresan como un porcentaje del precio del cobre. Son relevantes ya que en conjunto representan más de un 60% de ingreso para la fundición.

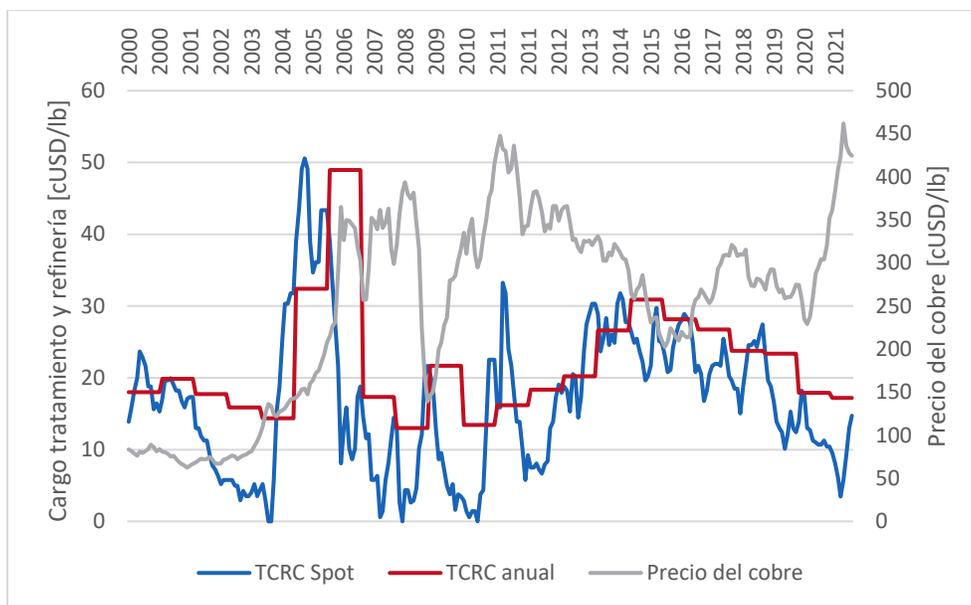


Figura 15: Variación histórica (últimos 21 años) de los TCRC y del precio del cobre (Fuente: Cochilco)

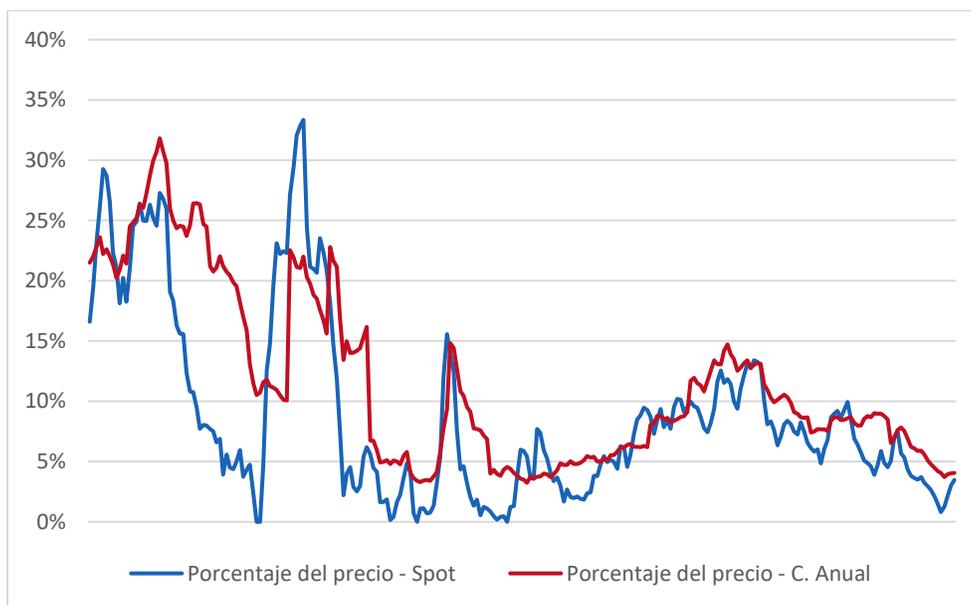


Figura 16: Variación del TCRC como porcentaje del precio del cobre (Fuente: Cochilco)

El TCRC spot hace referencia al precio de cargo que se fija en una compraventa de concentrado durante el día, por ello se observa una fluctuación significativa con respecto al cargo fijo pactado en un contrato anual, mientras este último tiene líneas planas año a año, el spot refleja fluctuaciones que se pueden registrar mes a mes. En general se ve que el valor spot está por debajo del anual.

Se observa que el precio del cobre no tendría relación directa con los cargos de tratamiento y refinera aplicados a los contratos de concentrado, al menos desde el año 2006-2007 el precio del cobre se volvió independiente de las fluctuaciones del TCRC ya que hubo una actualización en dicha época de cómo se fijaba el cargo de TCRC, ya que previo a esos años el cargo era un 10% del precio



del cobre, que al comenzar a subir aumentó el ingreso para las fundiciones pero no favorecía a los vendedores de concentrado. Lo anterior también se refleja en la Figura 16 donde los cargos TCRC como un porcentaje del precio del cobre ya desde el año 2010 estaban por debajo de un 15%, y en el año 2021 alrededor de un 5% para los valores fijos pactados en los contratos anuales de compra de concentrado, así como en el precio fijado spot.

Por otra parte, se ve también en la Figura 15 cómo desde 2015 comenzaron a disminuir los valores para estos cargos TCRC, dado que la disponibilidad de concentrados de cobre era menor en particular en el 2020 debido a la pandemia, lo que hizo bajar las tasas debido a que las fundiciones necesitan funcionar en principio a su completa capacidad para generar sus ingresos, y al haber menor concentrado disponible, las fundiciones bajan los cargos de tratamiento y refinación a los vendedores de concentrado con tal de que se procese dicho concentrado en su fundición y no en otra.

Debido a que el ácido sulfúrico es un subproducto relevante del proceso de fundiciones, se presenta en la Figura 17 el precio promedio anual del ácido en Chile y en la Figura 18 un balance del mercado entre producción de ácido y consumo interno hasta el año 2030.

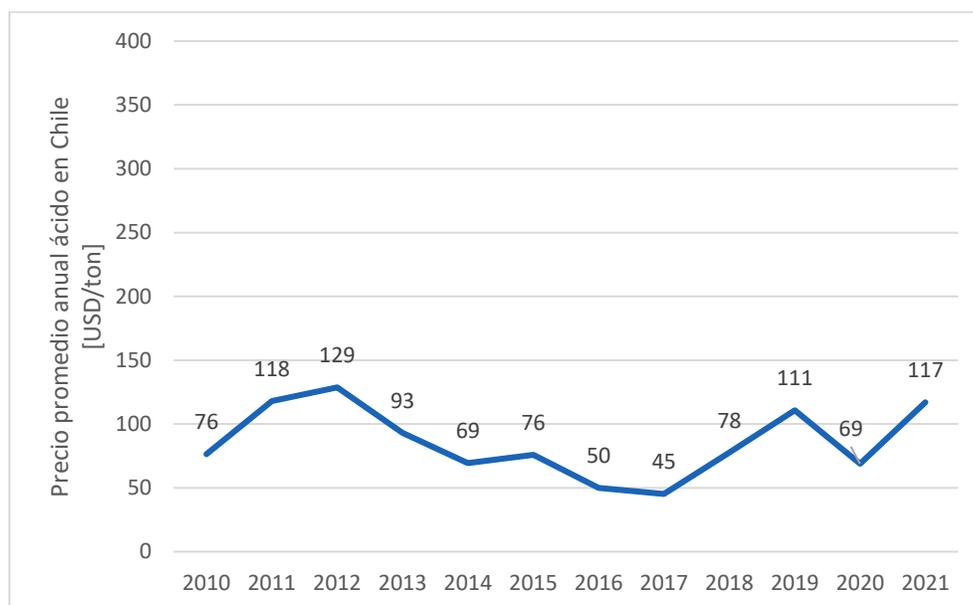


Figura 17: Precio promedio anual de ácido en Chile (Fuente: Anuario de Cochilco, 2021)

El precio del ácido sulfúrico es volátil, pudiendo variar de acuerdo a la demanda local. Los productores de ácido se ubican cerca de la demanda para minimizar costos y riesgos de transporte. La cantidad de ácido producida por el tratamiento de una tonelada de concentrado de cobre es en promedio 879 kg, variando en un rango entre 842 y 942 kg en función del contenido de azufre en el concentrado.

En la Figura 17 se observa cómo desde el año 2017 el precio del ácido sulfúrico en las importaciones nacionales ha tenido un aumento sostenido. En particular llama la atención cómo se dispara durante el año 2021, con un valor promedio de 117 USD/ton de ácido, en contraste con el año 2020 donde el precio no superó los 70 USD/ton de ácido. Lo anterior se debió a problemas de suministro



internacional, ya que con la pandemia hubo menor movimiento portuario y restricciones de ingreso a los países, por lo que el precio subió en respuesta a una menor oferta disponible. Otro aspecto que se puede mencionar es el incremento en el precio de los combustibles debido al conflicto entre Ucrania-Rusia, lo que en consecuencia ha tenido impacto en el aumento del valor de los fletes marítimos.

La Figura 18 presenta la proyección para el balance del mercado de ácido sulfúrico en Chile.

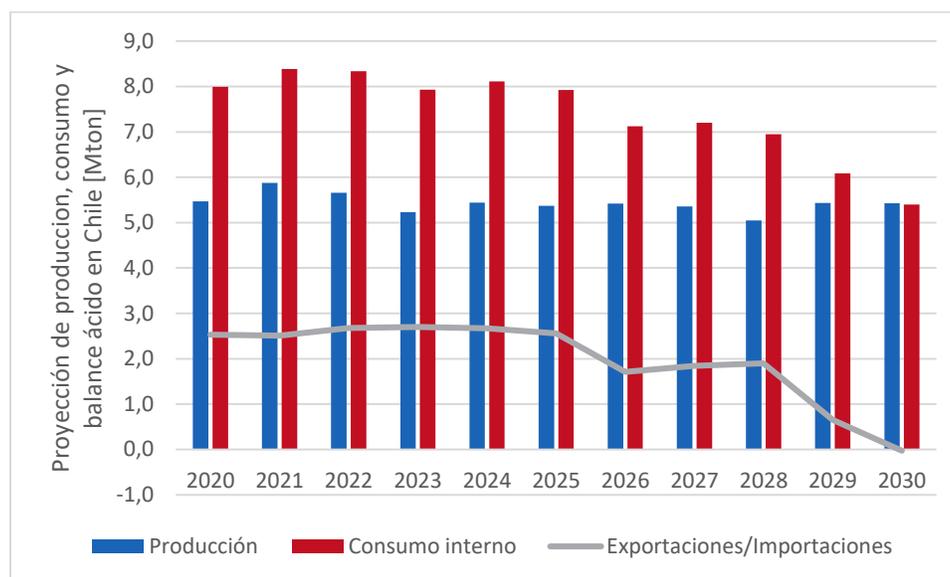


Figura 18: Balance del mercado de ácido sulfúrico en Chile (Fuente: Cochilco)

Chile históricamente ha sido un importador neto de ácido, donde la minería del cobre consume ~94% del ácido a nivel nacional, mientras que el restante se utiliza en sectores forestales y minería del yodo/nitratos.

Las tasas de consumo de ácido en operaciones hidrometalúrgicas han crecido desde 2014, aunque no necesariamente hayan incrementado las leyes promedio del mineral lixiviado en el país. La variabilidad de las tasas queda determinada por la operación, su tamaño de producción, el tipo de mineral procesado u otras variables exógenas que afecten los procesos.

El balance se realiza para el periodo observado en la Figura 18 donde no se ve que se pase de un estado de producción/consumo en déficit a uno con excedente durante la próxima década. No se considera que para un periodo posterior se haya extendido la vida de algún yacimiento que opere vía hidrometalurgia debido a la mejora del precio que afecte al balance. Se observa que para el año 2030 la producción de ácido se equipara con el requerimiento de consumo y que desde 2024 comienza a decrecer el consumo interno por el cese de operaciones tipo hidro.

Posterior al año 2030, Chile podría pasar a ser exportador neto de este subproducto de fundiciones. Es importante que se comercialice, en caso de no existir otras actividades que demanden ácido de manera local, puede ir a actividades extranjeras que lo requieran por ejemplo agricultura en la producción de fertilizantes o en la producción de cátodos SxEW que va en aumento en Perú, ya que en caso contrario los ingresos para las fundiciones se verían afectados.

## 5. Distribución de disponibilidad de concentrado en Chile

La minería desarrollada dentro del país está distribuida en varias regiones, principalmente en la zona norte, en este capítulo se refleja en qué regiones se produce mayor cantidad de concentrado de cobre destinado a exportación, así como también la demanda y producción de ácido. Dado la relevancia del costo que pueda significar para el vendedor de concentrado exportar concentrados del tipo complejos, también se muestran valores para el contenido de As en los concentrados y penalizaciones aplicadas según la ley de esta impureza.

### 5.1. Demanda de ácido, concentrado de exportación por región y cantidad de arsénico.

La Figura 19 corresponde a la demanda y producción de ácido por región en kton, se observa cómo la región de Antofagasta tiene la mayor demanda de ácido dado que las operaciones mediante procesos de hidrometalurgia se ubican mayormente hacia el norte del país, siendo los mayores consumidores de ácido. También se ve cómo la región de Atacama es la que sigue en un segundo lugar respecto al requerimiento de ácido.

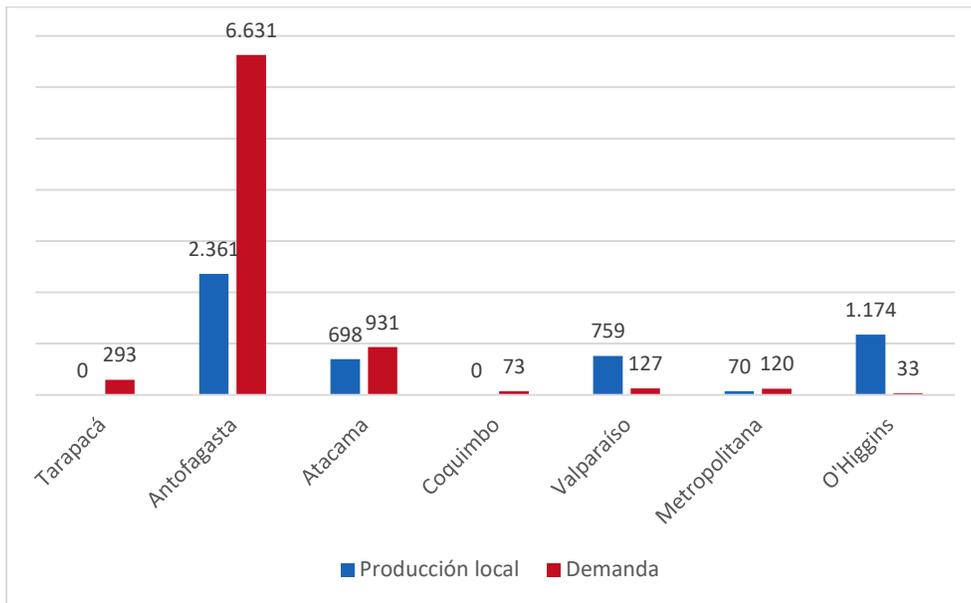


Figura 19: Demanda y producción de ácido sulfúrico por región (Fuente: Anuario de Cochilco, 2021)

Nuevamente en la región de Antofagasta se ve la mayor producción local de ácido, debido a que cinco de las siete fundiciones en Chile se ubican en el norte, mientras que las dos restantes se encuentran en Valparaíso y la región de O'Higgins donde se refleja un aumento en la producción de ácido para esta última respecto a Valparaíso ya que la capacidad de la fundición es mayor y por ende se captura más azufre.

La Figura 20 muestra la distribución del concentrado de exportación por región, junto a la participación de cada una en la producción de concentrado.

En la región de Antofagasta se generan alrededor de 5,9 Mton de concentrado de exportación, lo que se traduce en que esta región tiene una participación de un ~50% con respecto al total país, la

región que le sigue es Tarapacá con un ~16% de participación y luego la región de Coquimbo con un ~13%. Si se miran las mineras que más aportan a la producción nacional de concentrado se encuentra en primer lugar Escondida con 3,4 Mton y luego Collahuasi con 2,0 Mton, valores para el año 2021.

En el caso de que se instalara una nueva fundición, sería recomendable fuera en Antofagasta ya que la mayor cantidad de concentrado se genera en dicha zona, así como también la mayor demanda de ácido lo que ahorraría en costos de transporte.

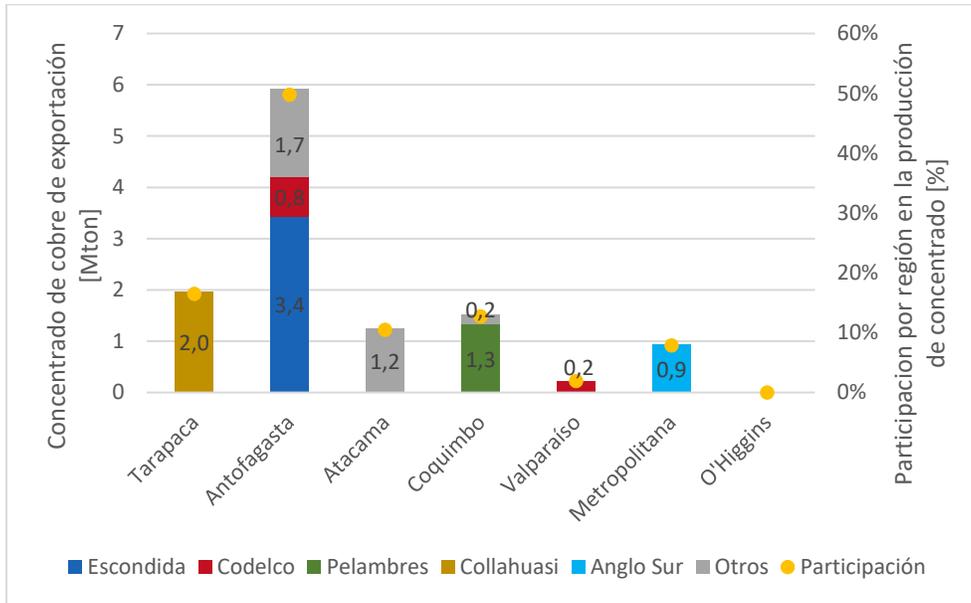


Figura 20: Concentrado de exportación por región (Fuente: Anuario de Cochilco, 2021)

Se observa en la Figura 21 las variaciones de leyes de arsénico en los concentrados de exportación para el año 2020 y 2021.

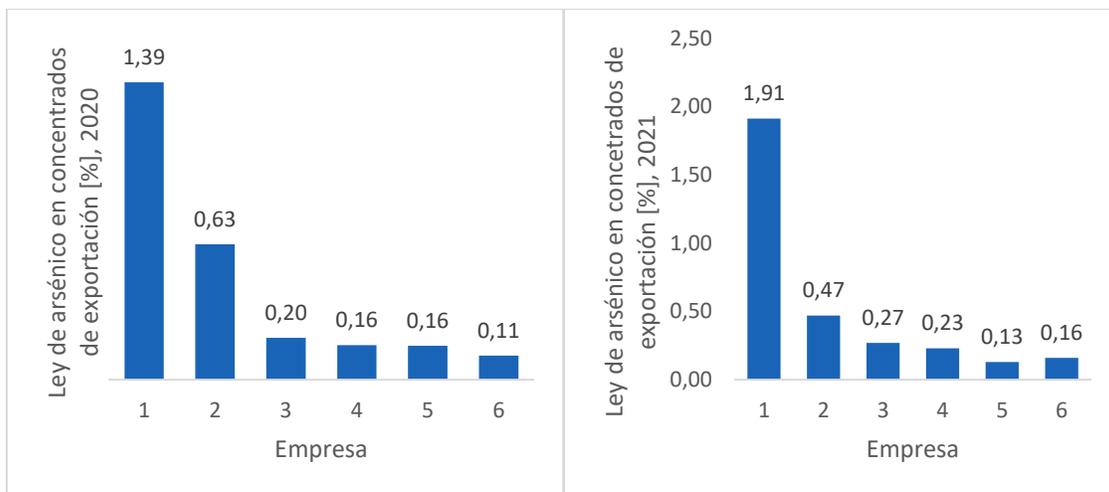


Figura 21: Ley de arsénico en concentrados de cobre de exportación por empresa (Fuente: Cochilco informe trimestral, 2021)



Los concentrados se consideran tipo complejos cuando tienen un contenido de arsénico sobre 0,5% de As, se aprecia en la Figura 21 cómo en el año 2020 (gráfico izquierda) dos empresas generaron concentrados de exportación con una ley de arsénico superior por lo que al ser complejos la penalización que aplican las fundiciones que tratan este concentrado es más alta. La distribución de valores de penalización se observa en la Figura 22.

Estos concentrados con altas leyes de arsénico provienen de empresas que extraen mineral desde yacimientos del norte del país. En el año 2021 solo la empresa 1 supera la ley de 0,5% de As, esto muestra también la heterogeneidad de los depósitos donde las leyes de As varían aumentando o disminuyendo para un año diferente en la misma empresa.

En la Figura 22 se muestra la penalización a la venta de concentrado en función del contenido de arsénico.

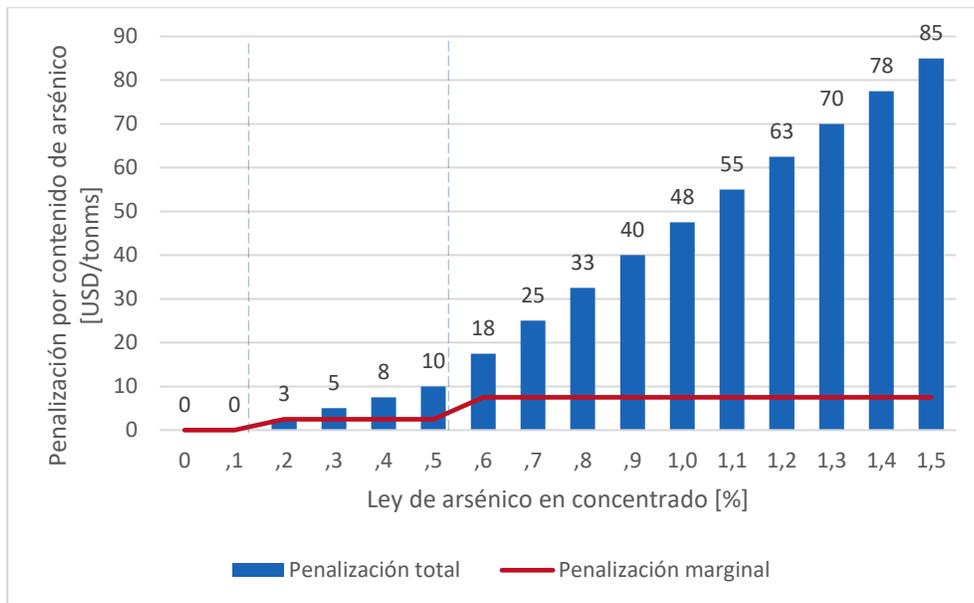


Figura 22: Valor de penalización por contenido de arsénico en concentrado (Fuente: Cochilco informe trimestral, 2021)

Se observa que cuando la ley de arsénico aumenta su contenido en un 0,1% en el concentrado de cobre, el valor que se penaliza aumenta también, en principio cuando la ley es desde 0,2% la penalización aumenta 2,5 USD/0,1% de As y desde una ley de arsénico de 0,6% el incremento es de 7,5 USD/0,1% de As, lo que se aprecia en la curva roja de penalización marginal. En la Figura 21, las empresas nacionales 1 y 2 en el año 2020 pueden tener una penalización de 77,5 y 17,5 USD/ton respectivamente. Mientras que en 2021 la empresa 1 puede llegar a 115 USD/ton.



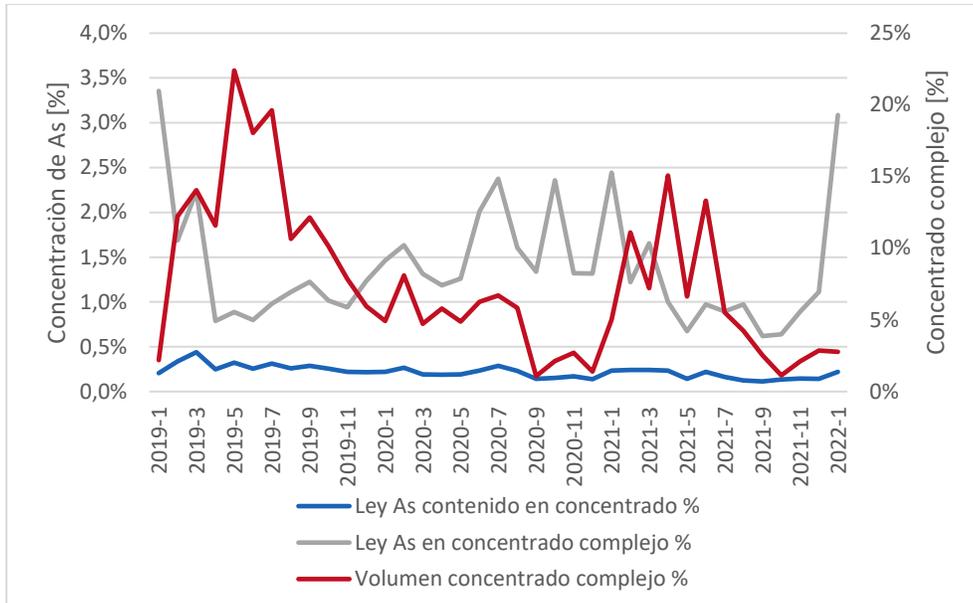


Figura 23: Variación de leyes de arsénico en concentrado entre 2019 y 2022 (Fuente: Cochilco informe trimestral, 2021)

La variabilidad de As en la Figura 23 representa que el contenido del mismo en los concentrados es diferente mes a mes, que el volumen del concentrado complejo respecto al concentrado total generado alcanzó más de un 20% durante el año 2019, mientras que desde 2021 ese valor ha ido en disminución con menos de un 5%, en contraste con la ley de As promedio en el concentrado complejo que es cercana al 1% para el año 2021. En el caso de la ley de As contenido en el concentrado total no supera el 0,5% para el mismo año, con un valor promedio de 0,2%.



## 6. Captura de valor agregado

En este último capítulo se revisa la variación del precio de cobre histórica en los últimos 30 años, junto a la proyección hacia el año 2030. Los costos C3 promedio se observan para las operaciones mineras del país y finalmente se presenta un análisis de sensibilidad donde destacan las diferentes etapas que capturan mayor valor dentro del negocio minero.

### 6.1. Precio del cobre y costo C3

La Figura 24 describe cómo el precio del cobre ha variado históricamente hasta el año 2021, con lo que se proyecta su comportamiento para la próxima década. Se observa que desde el año 90 el precio del cobre estuvo fluctuando por debajo de los 200 cUSD/lb, mientras que es desde 2005 a 2006 donde se ve cómo crece el precio real, desde 232 a 411 cUSD/lb respectivamente.

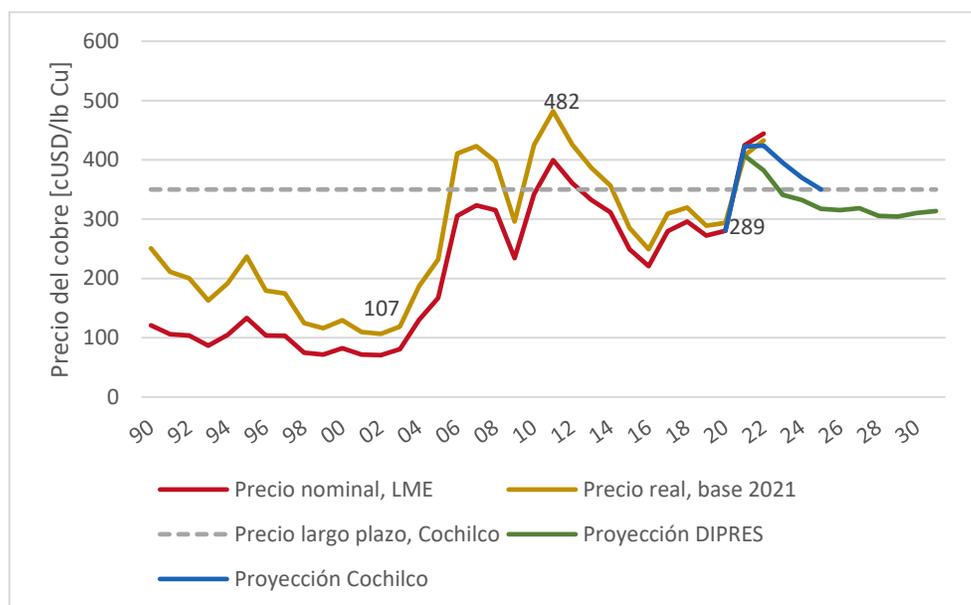


Figura 24: Variación del precio del cobre en los últimos 30 años y su proyección a 2030 (Fuente: Cochilco, LME, DIPRES)

Además, la Figura 24 muestra cómo entre 2002 – 2011 el precio del cobre aumentó su valor en 4,5 veces, alcanzado los 482 cUSD/lb en el 2011, mientras que en el año 2020 tuvo una baja hasta los 289 cUSD/lb debido a los efectos de la pandemia.

Durante 2022 alcanzó en los primeros meses hasta un valor 424 [cUSD/lb], pero que actualmente se encuentra en baja debido a la inflación, el aumento del precio del dólar y el conflicto Ucrania-Rusia. La proyección al año 2025 realizada por Cochilco indica que el precio se estabilizaría entorno a los 350 cUSD/lb.

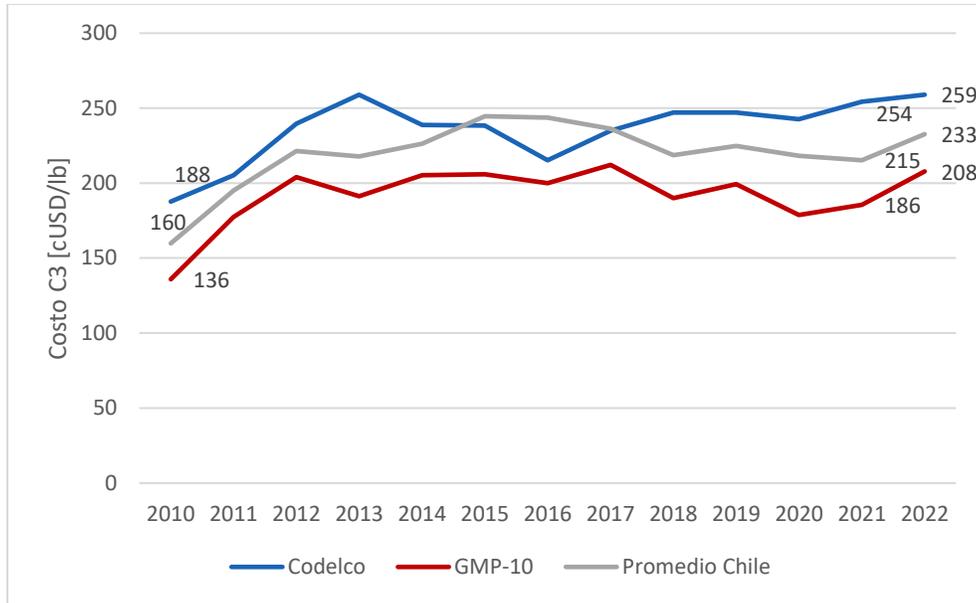


Figura 25: Costos C3 promedio de las fundiciones en Chile (Fuente: WoodMac, Q1 2022)

Los costos C3 de las empresas mineras en los últimos 12 años se han incrementado de manera considerable en un ~27% al año 2021, se observa cómo para el año 2022 en curso han aumentado respecto al 2021, debido a variables como los aumentos en costos de energía, labores, combustibles, transporte, etc.

Se ve también cómo el costo promedio para las operaciones de Codelco está sobre la media de los costos C3 en Chile.

### 6.2. Distribución de captura de valor y análisis de sensibilidad

La Figura 26 muestra el ingreso y costos en la distribución de valor para FUREs en Chile, el porcentaje aportado por cada ítem es función del precio del cobre en el largo plazo.



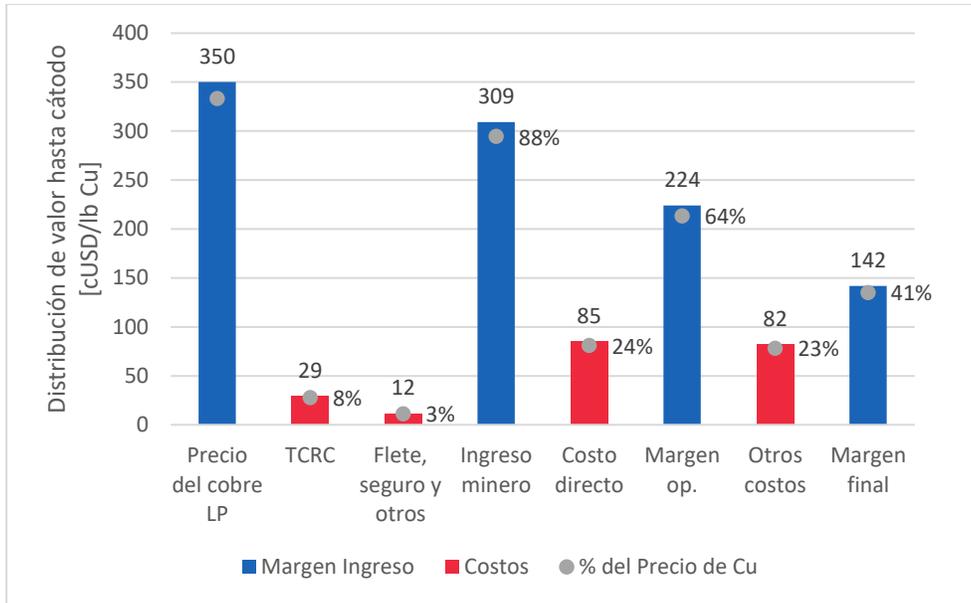


Figura 26: Distribución del valor capturado hasta cátodo (Fuente: Cochilco en base a datos de WoodMac, Q1 2022)

La distribución de valor descrita en la Figura 26 corresponde a los ingresos que se perciben en el negocio minero, así como los costos o cargas ya sean por tratamiento y/o fletes.

Las fundiciones y refinерías en Chile tienen costos en promedio de 35,4 cUSD/lb, mientras que el global es ~26 cUSD/lb. Lo anterior se traduce en un margen de ganancia debido a la fundición refinерía de 21,9 cUSD/lb en el caso de Chile, pero que se debe a otros ingresos tales como bonos por contenido de Au, Ag, Nickel y cátodo *premium*, ya que los cargos de tratamiento y refinерía por sí solo no cubren el costo de las fundiciones chilenas.

La Tabla 3 muestra el análisis de sensibilidad considerando los costos promedio de las fundiciones en Chile.

Tabla 3: Análisis de sensibilidad de valor capturado (Fuente: Cochilco)

Precio Cu	TCRC [cUSD/lb]							
	15	20	25	30	35	40	45	50
250	82%	74%	66%	58%	51%	43%	35%	27%
300	89%	85%	80%	76%	72%	67%	63%	58%
350	92%	89%	86%	83%	80%	77%	74%	71%
400	94%	91%	89%	87%	84%	82%	80%	77%
450	95%	93%	91%	89%	87%	85%	83%	81%
500	95%	94%	92%	90%	89%	87%	86%	84%

En la Tabla 3 se aprecia cómo al variar los cargos de tratamiento y refinерía vs el precio de cobre, se modifica el porcentaje de valor capturado por el minero. Este análisis de sensibilidad indica que el valor capturado en el margen final minero es poco sensible a los cambios en el TCRC, para precios del cobre desde 350 cUSD/lb. Además, muestra escenarios donde para un valor pequeño fijo de



TCRC junto a un precio del cobre alto, el valor del negocio se lo lleva la mina o el proceso minero, no la fundición. Sin embargo, para precios del cobre más bajos y TCRC más elevados como 40 cUSD/lb, el valor capturado por la fundición ya subiría a más de un 50%.

Es importante mencionar que para realizar este análisis se asume que el “cash cost” varía con el precio, en la mitad de la variación porcentual del cambio del precio según caso base de largo plazo y el costo de “Flete y seguro” se asume fijo.

Lo destacado en azul dentro de la Tabla 3 es el escenario actual al año 2022, en verde lo que podría ser un escenario de largo plazo y en rojo un escenario pesimista donde el valor para el minero se vería afectado.

La Figura 27 la distribución de valor capturado entre mina y fundiciones, para el promedio de Chile, China y el global.

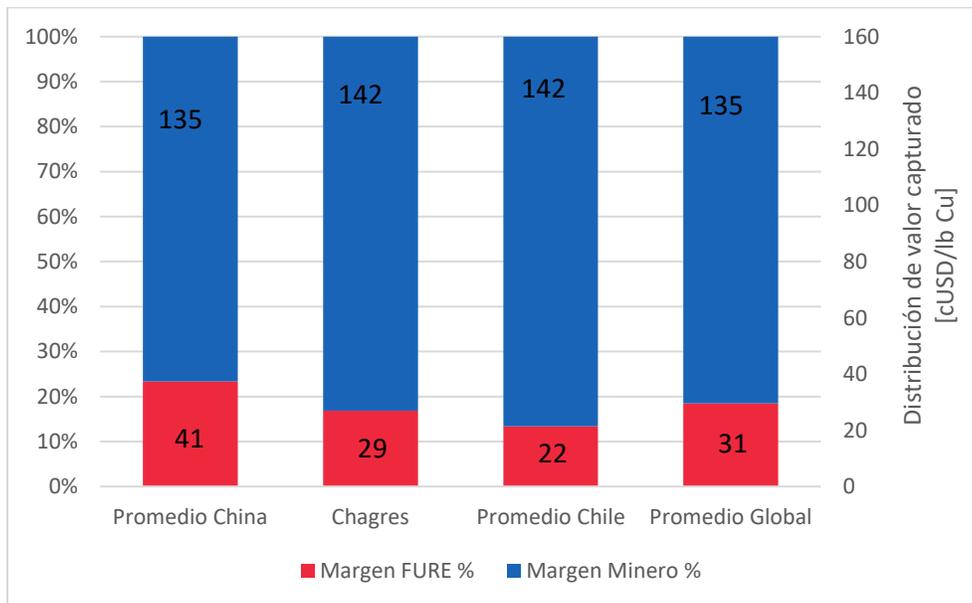


Figura 27: Distribución de valor capturado, comparación entre Chile, China y Global (Fuente: Cochilco en base a datos de WoodMac, Q1 2022)

Se observa el contraste de la captura de valor entre las operaciones mineras chilenas y las fundiciones locales y globales, donde dentro de la cadena de valor del negocio minero serían la mina y el procesamiento los que capturan más de un 80% del valor del cobre en el largo plazo.

En China el valor capturado por la minería es de 77% y el 23% restante le corresponde a la fundición-refinería, lo que equivale a 135 y 41 cUSD/lb Cu tal como se ve en la Figura 27. En el caso global el valor capturado es de 82%, mientras que de 87% cuando se consideran los costos promedios de las fundiciones chilenas, es decir, solo un 13% del valor del cobre corresponde a ingresos para las fundiciones, el caso de la fundición privada Chagres la captura de valor en la fundición es mayor que el promedio nacional con 17%. Cabe mencionar que la distribución de valor estimada con valores promedio de la industria se considera sobre la base del valor del cobre, pero el negocio FURE obtiene utilidades por más elementos.



## 7. Comentarios finales

El cobre producido desde el procesamiento vía fundiciones en 2021 fue de 18 Mton a nivel global, China lidera el mercado con un 40% de participación el que ha crecido sostenidamente en los últimos 30 años debido al aumento en su capacidad de tratamiento de concentrados con la incorporación constante de nuevas fundiciones. Por su parte, Chile participó en dicha producción con un 9% para el mismo año.

El contexto global respecto a la eficiencia de las fundiciones en el mundo es que de la capacidad nominal instalada solo se utilizó un 73% en promedio el año 2021. Las fundiciones de países asiáticos son las más eficientes con valores entre 86 – 76 % de utilización, mientras las chilenas se encuentran en torno a un 71%. Por lo anterior se habla que existiría sobrecapacidad en las fundiciones actuales. La proyección indica que este exceso se mantendrá hacia el año 2030 y que la producción de refinado vía FUREs sería creciente por mayores cantidades de concentrado producido (por el aumento del tratamiento de sulfuros) pero por debajo de la capacidad nominal de fundición.

En términos de costos directos, las fundiciones en Chile muestran baja competitividad respecto a otras en el mundo, sus costos están sobre el promedio de la industria del mercado de fundiciones situado en 113,5 USD/tonelada de concentrado tratado. Cinco de las siete fundiciones nacionales se encuentran en el cuarto cuartil de costos considerando que la más costosa es estatal con un valor de 299 USD/ton de concentrado para el año 2021. En contraste, China posee un costo promedio de 59 USD/ton para sus fundiciones, donde ~80% se encuentra bajo el primer cuartil de costos.

Cabe mencionar que el modelo de costos beneficia más a fundiciones que se encuentran no integradas localmente con el proceso minero, es decir, fundiciones que funcionan como proceso industrial independiente si tienen costos directos más bajos.

Los ingresos percibidos por la fundición en Chile, se sustentan principalmente con los cargos de tratamiento y refinación (TCRC) que conjuntamente representan un 61% del ingreso total. Otros aportes relevantes vienen dados por la ganancia del metal con un 34% y la venta del ácido producido con un 27%. Además, al ingreso se le descuenta el costo de producir el cátodo que representa un 35%.

En el mercado global de concentrados se generaron 21,3 Mton de cobre mina, donde Chile lidera con una participación de 27%. De este cobre se exporta como concentrado un 67% hacia China y 23 % a otros países asiáticos, además para la exportación de refinado chileno también China es el principal importador con un 33%. La proyección es que el concentrado exportado chileno aumente a un 70% hacia el año 2030.

El ácido como subproducto que aporta de manera importante al ingreso de las fundiciones, tuvo un precio promedio de importación de 117 USD/ton en el año 2021, cuya mayor demanda y producción se genera en la región de Antofagasta.

El análisis de sensibilidad evidenció que en las condiciones actuales de mercado con el precio del cobre en alza y los cargos tratamiento y refinación bajos, el valor del negocio del cobre es concentrado mayormente por el proceso minero, incluso más de un 80% considerando los elevados costos de las

fundiciones chilenas. En un escenario donde los TCRC aumenten y el precio del cobre sea menor la participación en el negocio para la fundición sería más de un 50%.

Aunque la perspectiva actual en el mercado no es totalmente favorable para el negocio de las fundiciones, generar un aumento de capacidad de fundición local permitiría diversificar la cartera exportadora del país, en particular la estatal y de pequeña-mediana minería, ya que un 70% de la capacidad instalada es estatal (63% Codelco, 7% ENAMI). Actualmente un ~26% de las exportaciones de Codelco son en forma de concentrado de cobre mientras que ENAMI exporta el 100% de sus productos en forma de cátodo.

Es importante señalar la importancia de incorporar nuevas tecnologías en las fundiciones nacionales operativas, dado las futuras modificaciones para las normas medioambientales que serán más exigentes en términos de captura de gases y emisiones de carbono.

Los resultados del análisis incluido en este informe, permiten concluir que para la generación de retornos adecuados, se deberían alcanzar niveles de costos significativamente menores que los niveles actuales de las fundiciones chilenas. Probablemente no es posible en el corto plazo alcanzar los niveles de las fundiciones chinas, pero se debe avanzar en tecnología y en modelos de gestión.

Cochilco en su objetivo de contribuir al diseño y evaluación de políticas públicas, entrega este informe y que buscará actualizar de manera sistemática para generar información de valor para el monitoreo permanente de la política de fundiciones del país.



Este trabajo fue elaborado en la  
Dirección de Estudios y Políticas Públicas por

**Ada Contreras Pinto**

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Con la colaboración de

**Cristián Cifuentes González**

Coordinador de Estrategias y Políticas Públicas

**Jorge Cantallopts Araya**

Director de Estudios y Políticas Públicas

Agosto / 2022

