

# Cobre refinado

## Un buen negocio para Chile

Los autores de este documento son: Gustavo Lagos, Universidad Católica; Iván Valenzuela, Cesco; Roberto Parra, Universidad de Concepción; Mauro Valdés, Presidente Dinámica Plataforma; Jose Joaquín Jara, Cesco; Juan Carlos Salas, Universidad Católica; Juan Rayo, JRI; Leandro Voisin, Universidad de Chile.

Este trabajo responde a la preocupación de Cesco de desarrollar los temas que consideramos relevante para el futuro de la minería. Con ese objetivo nos organizamos en distintos grupos de trabajo para discutir y elaborar propuestas específicas, según sean los casos.

Agradecemos en primer lugar a los autores de este documento, como así también a muchos otros que se sintieron motivados por el tema y aportaron en el trabajo y la discusión con preguntas, datos e ideas muy enriquecedoras. En particular queremos agradecer a Gerardo Alvear, Carlos Risopatrón, Osvaldo Urzúa, Leopoldo Reyes, Jorge Bande, Roberto Parada, Juan Cariamo, Patricio Aguilera, por sus muy útiles y críticos comentarios.

# Cobre refinado

## Un buen negocio para Chile

### 1. Introducción

Uno de los temas relevantes que la industria chilena del cobre debe resolver esta década, es si el país exportará más concentrados o más cobre refinado en el futuro. En 2020, el cobre refinado que Chile exporta representa el 52% del total, participación que en los próximos 15 años podría caer hasta 21%, de no revertirse la tendencia<sup>1</sup>, la que estuvo marcada por una reducción de 12% en la fusión de concentrados<sup>2</sup> y de 25% en los cátodos electro obtenidos<sup>3</sup> entre 2010 y 2019.

La motivación principal de este trabajo es responder la pregunta ¿qué es más conveniente para Chile desde una perspectiva estratégica, exportar más concentrados o más cobre refinado en el futuro? Nuestro planteamiento es que no da lo mismo inclinarse por una u otra opción.

Una **perspectiva estratégica** se diferencia de la tradicional evaluación económica, por cuanto considera criterios que no son evaluados por esta. En el caso de las fundiciones se debe; **primero**, lograr un factor que será crítico a futuro, el de la excelencia ambiental, que implica capturar la gran mayoría de los elementos nocivos que ingresan a las fundiciones en los concentrados, evitar el transporte marítimo de estos en que

cerca de 75% de la masa es desecho, emitir menos gases de efecto invernadero a nivel global, y reducir los indicadores de ciclo de vida normados por la ISO y por Naciones Unidas. En síntesis, abrir el camino hacia una economía verde y circular. Y la economía circular implica acercar al productor con el cliente final, lo que es más factible de lograr entre una fundición refinería que entre una mina y dicho cliente. **Segundo**, generar las tecnologías y el *know how* para tratar y almacenar los elementos nocivos contenidos en los crecientemente complejos minerales de nuestras minas, y para recuperar los elementos valiosos contenidos en los concentrados resultantes, potenciar la actividad económica nacional mediante una fundición refinería de rentabilidades acordes con un negocio industrial, crear trabajos de mayor especialización y calidad que los actuales en cuanto a operación y gestión, e incentivar los equipos de investigación en estas áreas en empresas, universidades e institutos del país. En síntesis, avanzar a una economía basada en el conocimiento. **Tercero**, lograr fundiciones competitivas a nivel global, potenciando al país como un actor relevante frente al poder dominante del mercado de

<sup>1</sup> Futuro producción minera de cobre chilena 2035, Programa Economía de Minerales, UC, 2019.

<sup>2</sup> La fusión de concentrados en Chile alcanzó un máximo en 2010, de 1,65 millones de toneladas de cobre contenido en los ánodos que producen las fundiciones.

<sup>3</sup> En 2010, el 69,8% del cobre exportado por Chile era refinado en el país, ya sea por la vía tradicional (fusión y refinación) o por la vía hidrometalúrgica.

concentrados chino. **Cuarto**, la idea de tener fundiciones de excelencia debería ser un criterio fundamental para complementar la estrategia de crecimiento de la producción minera, sobre todo considerando la debilidad que se ha detectado en dicha estrategia como impulsora principal del crecimiento económico chileno. **Quinto**, lograr que este segmento de la cadena productiva recupere su sitio como un aporte importante a la economía nacional. **Y, por último**, mejorar la reputación de las fundiciones y, por ende, el de la minería en su conjunto.

La pregunta que nos hacemos en este documento es relevante, dado que las exportaciones de cobre siguen siendo por lejos las mayores del país, superando el 50% del total nacional. Por ello, mirar cuidadosamente su futura composición y segmentación es crucial.

El aumento de la exportación de concentrados se transformó en una tendencia muy marcada de estos años, debido al agotamiento progresivo de minerales oxidados -o en general lixiviables- en las grandes operaciones chilenas, y a la emergencia de fundiciones chinas que en un corto tiempo lograron la hegemonía en ese negocio, haciendo menos competitivas las fundiciones y refinerías ubicadas en otras partes del mundo, particularmente las japonesas y chilenas que solían ser las principales. Ante este hecho, las compañías mineras chilenas y muchas a nivel internacional, privilegiaron la parte extractiva del negocio minero, claramente distinguible del negocio de fundición, apuntando a reforzar la parte más rentable de su negocio. Esta decisión fue relegando un elemento esencial de la cadena de valor del cobre, como fundiciones y refinerías,

a un segundo plano en la industria nacional, y dejando este segmento al desarrollo en otros países.

La inversión en fundiciones en Chile en los últimos 30 años se destinó principalmente a tratar de mantener la capacidad operativa y dar cumplimiento a las obligaciones ambientales, pero sin un modelo de negocios definido al respecto. Ello causó el deterioro progresivo de la competitividad, la seguridad y la sustentabilidad, particularmente en las fundiciones estatales, lo que resultó a corto andar en desechar la idea de tener fundiciones de clase mundial, capaces de competir con Europa, Norte América y Asia.

Estos acontecimientos cambiaron la trayectoria de las fundiciones chilenas, las que en su conjunto no solo eran las de mayor producción en el mundo en la década de los 90 (Figura 1), sino que también estaban entre las más competitivas. En 1990 Chile lideraba la producción de fundiciones, con un 14,6% de participación global, seguido por EE.UU. con 12,9% y Japón con 11,6%. En 2018 Chile tenía 7,9% y seguía a Japón con un 8,7% y a China con un 35,3%.

La Figura 1 señala el ascenso meteórico del aumento de la producción de fundiciones en China ocurrido poco antes del comienzo del superciclo, llegando en 2019 a una producción de 4,1 millones de toneladas de cobre. La Figura también muestra el ascenso de la producción de las fundiciones chilenas entre 1992 y 2005, y la mayor producción que estas tenían respecto a las fundiciones japonesas. Posterior a 2005 se observa una fuerte declinación de la producción de fundiciones en Chile<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> El aumento observado hasta 2005 lo experimentaron las fundiciones de Altonorte (Glencore) y Chagres (AngloAmerican), mientras que la reducción de producción a partir de 2005 la experimentó principalmente la fundición de Chuquicamata. La fuerte caída de producción en 2018 y 2019 se debió principalmente a que Chuquicamata estuvo inactiva por muchos meses debido a la instalación y puesta en marcha de dos nuevas plantas de ácido.

Producción de fundiciones en Chile, Japón y China.

kt/Ton

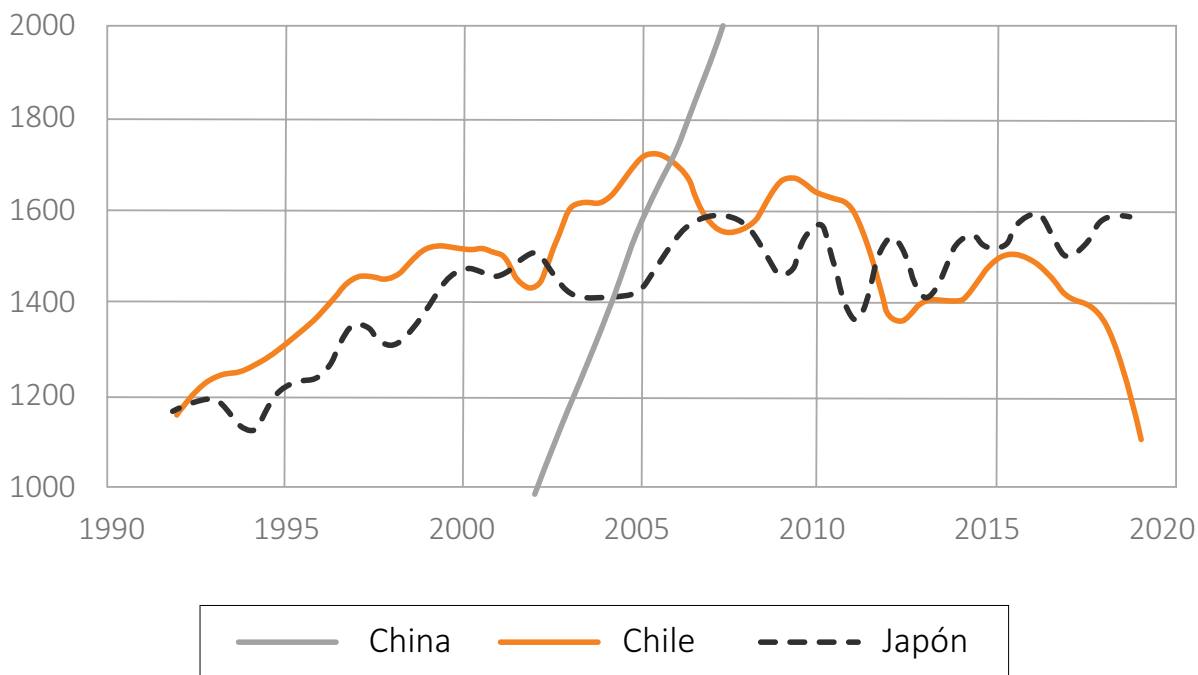


Figura 1: Producción de fundiciones de China, Japón y Chile. Fuente: Wood Mackenzie.

El tratamiento de concentrados de las siete fundiciones estatales (Altonorte y Chagres) y 2 privadas (Chuquicamata, Potrerillos, Hernán Videla Lira o Paipote, Ventanas, y Caletones) y 2 privadas fundiciones chilenas, 5 de ellas estatales (Altonorte y Chagres) se presenta en la Figura N°2 para el período 1993-2018.

Concentrado fundido en toneladas, fundiciones chilenas.

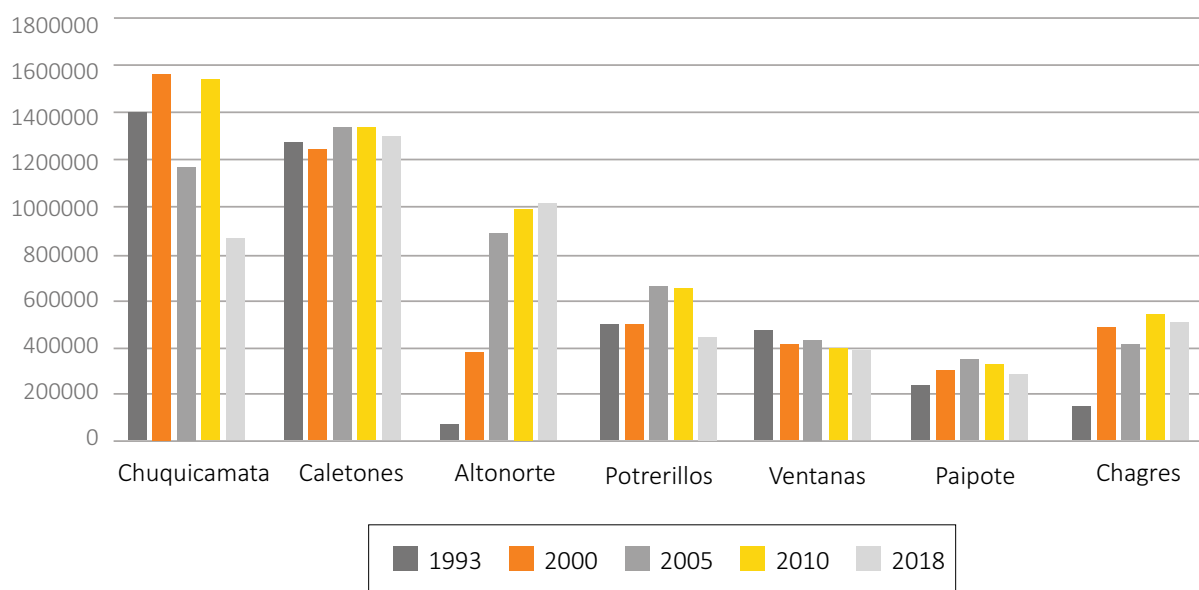


Figura 2: Concentrado fundido (toneladas) en fundiciones chilenas. Fuente: Base de datos U. Concepción, Programa de Economía de Minerales UC.

Impacta que, en ese período de casi 30 años, la capacidad de las fundiciones chilenas prácticamente se mantuvo. Dos fundiciones aumentaron su capacidad, pero el efecto neto nacional fue cero debido a la disminución de la capacidad de fusión de Chuquicamata.

Además, en Chile hay tres refinerías<sup>5</sup>, instalaciones que refinan los ánodos producidos por una fundición, dando origen a los cátodos de cobre, que constituyen cobre refinado. Este documento se refiere al conjunto de fundición y refinería, ya que, si bien estas pueden funcionar separadas, constituyen al mismo tiempo una unidad económicamente más robusta que una fundición por sí sola. Ello se basa en que la recuperación de los elementos valiosos (que pueden llegar a ser cerca de 20, dependiendo de los concentrados) se genera en la refinería, lo cual es clave para aumentar la rentabilidad del negocio.

Este trabajo aborda en la sección 2 las tendencias y escenarios del desarrollo de la producción minera del cobre en Chile, demostrando que no es posible ni conveniente sustentar una estrategia solamente basada en el crecimiento de la producción minera, ni mucho menos sólo en la exportación de concentrados.

Posteriormente, en la sección 3, se analiza lo acontecido con las fundiciones desde 1990, evidenciándose su pérdida de significación y su caída de competitividad.

La sección 4 constituye la parte central del documento, mostrando que, a pesar del mal comportamiento agregado de las fundiciones en Chile en la última década, el negocio bien manejado puede ser sustentable económica

y ambientalmente. Mostramos fundiciones exitosas en el mundo, con tecnologías similares a las chilenas, capaces de competir con las fundiciones chinas. Y además realizamos una evaluación rigurosa de un proyecto de construcción de una fundición-refinería nueva en Chile. Los números muestran rentabilidades y riesgos que, aunque difieren de los propiamente mineros, deberían ser aceptables para un negocio industrial. Indicamos que las inversiones en fundiciones nuevas no se han efectuado en Chile principalmente debido a la carencia de señales de interés por parte del Estado, y de compromisos para garantizar el abastecimiento de concentrados.

La parte final del documento contiene nuestra propuesta de generar una nueva capacidad de fundición en el país. Aquí señalamos que el esfuerzo debe ser liderado por el Estado como política pública, para coordinar esfuerzos que al mercado por sí solo, le es muy difícil de lograr. La inversión la realizan inversionistas privados, no necesariamente las empresas mineras existentes en el país, las que sí deben aportar los concentrados en condiciones de mercado, para que terceros estén dispuestos a invertir. Y para que esto último ocurra, la proactividad del Estado es imprescindible, destacando que hay ejemplos de quiebra de fundiciones privadas en el mundo por falta de suministro.

Esta propuesta es necesaria para que Chile avance en un cambio de su estrategia de desarrollo minero, asumiendo que ya no es posible expandir la producción a las tasas históricas, y que la generación de más valor pasa, necesariamente, por tener una cadena productiva más compleja, diversificada y sofisticada, lo cual no se ha podido conseguir, a pesar de algunos esfuerzos aislados.

<sup>5</sup> Las tres refinerías pertenecen a Codelco y son las de Chuquicamata, Potrerillos y Ventanas.

## 2. Tendencias y escenarios para la producción minera

Aquí analizamos los escenarios de crecimiento más probables para la minería en las próximas décadas, incorporando lo ocurrido en los últimos 30 años.

Chile llegó a tener el 37% de la producción de cobre de mina, pero en 2020 tiene sólo el 28%, y es probable que esta cifra siga disminuyendo. Esto se explica por la disminución de las leyes y creciente complejidad de nuestros yacimientos. A esto se suma una decreciente producción de cátodos versus concentrados, en parte porque los yacimientos de óxidos han comenzado a agotarse y se espera que en 2035 generen menos del 5% de la producción de cobre, mientras que en 2019 representaron 28% de ésta.

Es decir, el crecimiento de la producción futura de cobre se basará en la extracción y procesamiento de sulfuros de cobre, los que dan origen a concentrados<sup>6</sup>. Ahora bien, de no modificarse la trayectoria minera actual<sup>7</sup>, el cobre refinado exportado por Chile en 2035 podría caer a 21% del total, y el resto sería exportado en concentrados, tal como lo indica la Figura N°3.

Esta figura muestra el estancamiento de la capacidad de fusión entre 1990 y 2019, el crecimiento de la producción vía hidrometalúrgica hasta 2010, y su declinación posterior debido al agotamiento progresivo de los depósitos de óxidos de cobre. Se observa también el crecimiento de la exportación de concentrados especialmente a fines de los 90.

<sup>6</sup> Los minerales de cobre son tratados principalmente por dos vías en el mundo, dependiendo de su composición. Los sulfuros de cobre se tratan mediante flotación, lo que da origen a concentrados. Estos deben ser fundidos y posteriormente electro refinados para obtener cátodos. Este se denomina método tradicional. Los minerales oxidados, en cambio, son tratados mediante un método hidrometalúrgico, consistente en lixiviación, seguido de extracción por solventes, y por electro obtención, dando lugar a cátodos de la misma calidad de aquellos obtenidos por el método tradicional. En 2020, el método tradicional representa cerca del 80% del cobre de mina refinado a nivel global, mientras que el método hidrometalúrgico representa cerca del 20% restante.

<sup>7</sup> Que consiste en mantener la capacidad de fundición constante en el mejor de los casos, o bien de reducirla mediante el cierre de algunas fundiciones.

Las proyecciones de escenarios futuros de producción fueron elaboradas por Cochilco y por la UC. Ellos están basados en la información económica (costos, rentabilidad) obtenida de bases de datos de Wood Mackenzie, en el avance de los estudios de ingeniería, en la probabilidad de lograr aprobación de los estudios de impacto ambiental, de obtener licencia social, y en varios otros factores.

La Figura N°3 confirma que no es posible en los próximos 15 años, repetir la tasa de crecimiento de la década del 90 y hasta 2004, que fue 9,2% anual promedio. La tasa más alta de crecimiento proyectada a futuro es la de Cochilco (informe 2019) que logra 8,1 millones de toneladas de cobre en 2030, con una tasa de crecimiento promedio 2020-2030 de 3,5% anual. Lo más probable, sin embargo, es que la tasa de crecimiento anual que ocurra en la realidad esté en el rango de 1,4% a 2,1%, como indican los escenarios más probables de Cochilco y de la UC. Razones geológicas, tecnológicas, económicas y ambientales dificultan un crecimiento de más de un 2% anual en las próximas dos décadas, por lo que la minería extractiva no puede beneficiarse del boom del crecimiento, como aconteció desde la década de los 90.

La morfología de los grandes yacimientos, dispuestos con frecuencia, en forma vertical, impide en muchos casos explotarlos más rápidamente. Esto es particularmente evidente en las explotaciones subterráneas como Teniente y Chuquicamata, donde el ritmo de extracción no puede ser aumentado con las tecnologías actuales, ya que ello implicaría desarrollar niveles

de explotación a mayor profundidad, los que se explotarían simultáneamente con los niveles del Nuevo Nivel Mina en Teniente y del primer nivel en explotación subterránea en Chuquicamata. Algo parecido ocurre con los yacimientos de Andina y Los Bronces, los que, adicionalmente cuentan con obstáculos ambientales para aumentar la tasa de extracción (producción). Es importante recordar que el yacimiento de cobre de Andina-Los Bronces es el mayor del mundo en cuanto a reservas y recursos. Tampoco parece factible por ahora explotar más rápidamente el yacimiento de Escondida, debido a limitaciones tecnológicas por la altísima tasa de extracción de material, la que sobrepasa 1,5 millones de toneladas diarias en 2020. Y Escondida no es

el único yacimiento que está limitado por este factor, también lo están algunos de los otros grandes yacimientos chilenos. En síntesis, si bien Chile cuenta con lejos los mayores recursos y reservas mundiales de cobre, y en numerosos de sus grandes yacimientos estos alcanzan hasta 100 años de vida futura, al ritmo actual, la velocidad de extracción no se puede aumentar mucho más de lo planificado, en las próximas dos décadas.

Es indudable que la estrategia de crecimiento de la producción minera fue muy exitosa desde 1990 a 2004, como lo indica la Figura 3. Desde 2004 hasta 2019, sin embargo, la producción de cobre chileno creció en promedio 0,38%<sup>8</sup> anualmente, a pesar de que se desarrollaron 8 nuevas grandes minas

### Producción de cobre Chile, 1990-2019, escenarios futuros, UC- Cochilco – 2020-2035

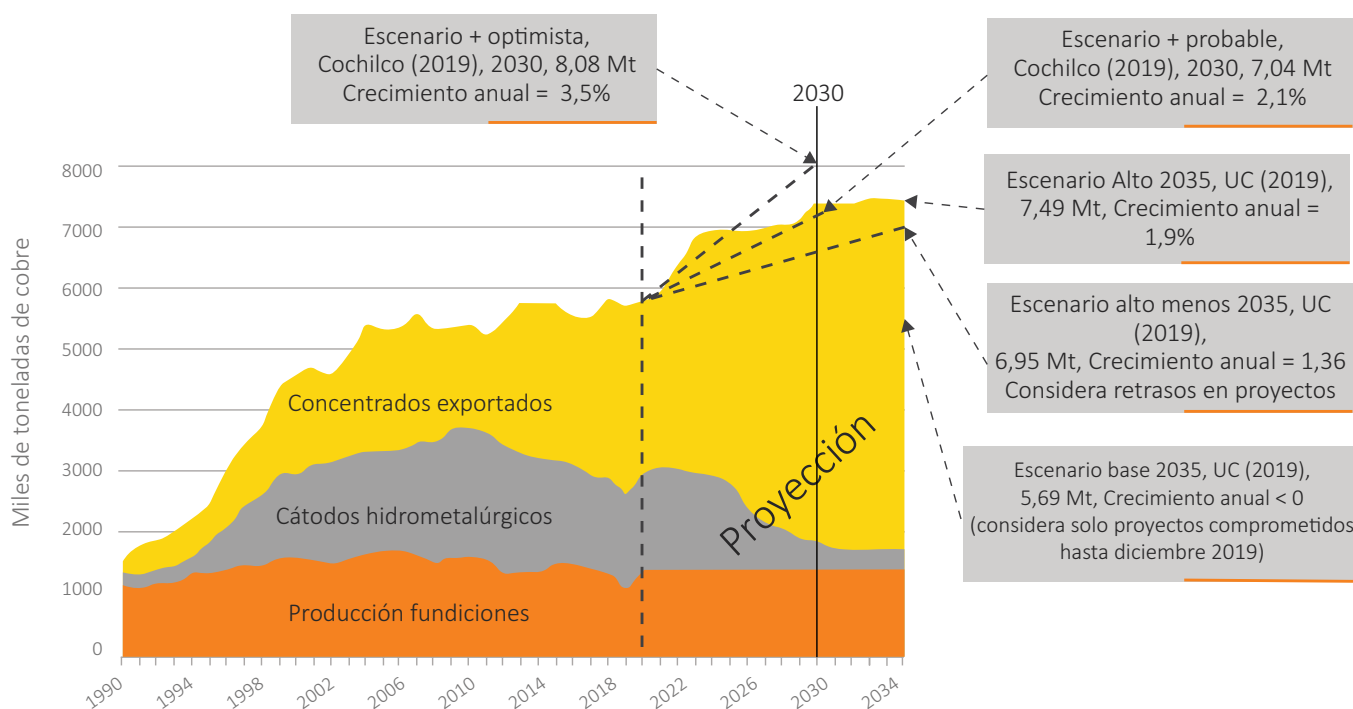


Figura N°3: Producción histórica de concentrados fundidos en Chile, exportados, y de cobre lixiviado (hidrometalúrgico). Se incluye también varias proyecciones de producción futura realizados por Cochilco y la UC en 2019. Fuentes: Programa Economía de Minerales UC, Cochilco.

<sup>8</sup> El crecimiento de la producción de cobre chileno 2004-2018 fue 0,5% debido a que dicha producción en 2019 bajó con respecto a la de 2018.



en este periodo, incluyendo Esperanza, Gabriela Mistral, Spence, Sierra Gorda, Caserones, Antucoya, Ministro Hales, y Andacollo. Sin el desarrollo de estas minas, la producción del país habría caído 885 mil toneladas o un 15% de la producción de Chile. En definitiva, estas cifras indican que el crecimiento más optimista que podría esperarse en el periodo 2004-2035 sería 1,03% promedio anual.

Anticipamos que los obstáculos identificados (geológicos, económicos, tecnológicos y ambientales) para que la expansión futura supere las tasas de crecimiento indicadas en la Figura 3 en los próximos 15 años, son prácticamente inevitables con las tecnologías actuales. Entonces, observamos aquí una dificultad seria para expandir la producción de las minas existentes, a pesar de disponer de amplias reservas.

El hecho de que la minería del cobre en el

país tenga un cierto techo en su crecimiento en los próximos 15 años, asociado a su mal comportamiento en la productividad vis a vis el resto de los sectores productivos, nos lleva a pensar que difícilmente la minería podría seguir siendo el motor del crecimiento del país, como lo fue en la década de los 90 y en el superciclo<sup>9</sup>.

Las proyecciones de crecimiento de la economía chilena hasta 2027, 2037 y 2050 del Banco Central de Chile, en su documento “Crecimiento tendencial: proyección de mediano plazo y análisis de sus determinantes” de septiembre 2017, tienden a confirmar lo anterior. El sector recursos naturales<sup>10</sup> (RRNN) crece considerablemente menos que el “Resto” de la economía. En su proyección a 2027 considera que en el escenario base, el resto de la economía crece 3,4%, los RRNN crecen 2%, haciendo un total de 3,2% para el conjunto. (Ver Tabla N°1).

**Tabla N°1: Proyecciones de crecimiento del PIB chileno del Banco Central, septiembre 2017.**

Proyección de crecimiento tendencial  
Método función de producción, 2017-2050

	Capital	Fuerza trabajo	Horas trabaj.	Índice calidad	Factor trabajo	PTF	PIB resto	PIB RRNN	PIB total
<b>Esc. Pesimista</b>									
2017-2026	<b>3,0</b>	<b>1,1</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,7</b>	<b>1,1</b>	<b>0,9</b>	<b>2,9</b>	<b>2,0</b>	<b>2,8</b>
2017-2036	2,6	0,8	-0,6	0,6	0,8	0,8	2,6		
2017-2050	2,4	0,6	-0,4	0,5	0,5	0,9	2,4		
<b>Esc. Base</b>									
2017-2026	<b>3,4</b>	<b>1,3</b>	<b>-0,4</b>	<b>0,8</b>	<b>1,6</b>	<b>0,9</b>	<b>3,4</b>	<b>2,0</b>	<b>3,2</b>
2017-2036	3,0	1,0	0,4	0,7	1,3	0,9	3,0		
2017-2050	2,7	0,8	-0,4	0,6	1,0	0,9	2,7		
<b>Esc. Optimista</b>									
2017-2026	<b>3,7</b>	<b>1,4</b>	<b>-0,2</b>	<b>0,9</b>	<b>2,1</b>	<b>0,9</b>	<b>3,8</b>	<b>2,0</b>	<b>3,6</b>
2017-2036	3,4	1,2	-0,2	0,8	1,8	0,9	3,5		
2017-2050	3,0	0,9	-0,2	0,7	1,3	0,9	3,1		

Fuente: Banco Central de Chile en base a CASEN, INE y OCDE.

<sup>9</sup> Debido al aumento del precio.

<sup>10</sup> RRNN está conformado por la minería, electricidad, gas, y agua.



Esta preocupación por el dinamismo del sector y su impacto en el conjunto de la economía se viene planteando ya hace un tiempo. En 2014 el Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo publicó Minería y Desarrollo Sostenible de Chile: Hacia una Visión Compartida, donde proponía una minería de futuro que fuese: “Virtuosa, Inclusiva y Sustentable”. El Programa Alta Ley<sup>11</sup>, creado en 2015, al amparo del esfuerzo anterior, ya mencionaba la necesidad de introducir cambios en la dinámica del sector para avanzar en esa “minería del futuro”. En su Hoja de Ruta 2015-2035 recogió tres metas principales: i) que Chile produjera 7,5 millones de toneladas anuales promedio de cobre a 2035, ii) pasar de un 40% de la producción en los primeros cuartiles de costos a nivel mundial a un 80%, y iii) cuadruplicar el número de proveedores exportadores de clase mundial logrando exportaciones por US\$4.000 millones anuales.

Por ello, y en línea con esos objetivos, afirmamos que es imperioso que la minería nacional desarrolle una estrategia complementaria al crecimiento de la producción de cobre. Un aspecto de esta estrategia complementaria consiste en desarrollar toda su cadena de valor, hasta cobre refinado, e incluso más allá.

No somos los primeros en realizar un análisis de esta naturaleza.

Habiendo transcurrido 5 años desde el lanzamiento de esta política, no es observable un avance claro en el cumplimiento de alguna de dichas metas. La coyuntura del coronavirus lo podría hacer aún más difícil.

Por otra parte, el Informe de Productividad de la Gran Minería del Cobre (GMC) elaborado por la Comisión de Productividad Nacional (2017),

concluyó que “la productividad total de factores (PTF) de la economía chilena en su conjunto se desaceleró de 2.3% anual en los años 1990, a 0.1% al año en los años 2000. Causa fundamental, aunque no exclusiva, fue la caída en la productividad minera. Esta caída se debió fundamentalmente a la reacción que el súper ciclo de precios del cobre indujo en las empresas, y que llevó a priorizar el nivel de producción por sobre otros criterios”. Sabemos, sin embargo, que la producción avanzó marginalmente durante el superciclo, es decir, si bien la industria intentó aumentar la producción significativamente, no lo logró. La Comisión de Productividad concluyó que en los 15 años transcurridos entre 2000 y 2014 la producción de cobre se elevó 19%, pero para ello se requirió 79% adicional de energía, 157% adicional de mano de obra y 178% adicional de inversión en capital.

Es decir, el Informe de Productividad de la GMC, sustancia nuestra afirmación que la minería requiere de cambios profundos para poder transformar en valor y riqueza el tremendo potencial geológico del que disponemos. Está claro que seguir haciendo lo mismo ya no es suficiente. No es casualidad que el Informe ya citado concluye con un buen número de recomendaciones (53) para el sector público y privado, que considera como las bases de una estrategia minera que asegure la continuidad del sector, su expansión y su adaptación a los nuevos desafíos tecnológicos y exigencias sociales. Es decir, este informe reconoce que hay un problema en la estrategia de desarrollo del sector, y propone modificaciones relevantes a ésta.

Sabiendo que el tema es muy complejo y con múltiples aristas, nuestro enfoque es concentrarnos en un aspecto específico de ese nuevo camino requerido. La propuesta de crear una nueva

<sup>11</sup> Iniciativa público-privada, fue creada en 2015 como Programa Estratégico de Especialización Inteligente de Corfo, y fue manejado por Fundación Chile, hasta que se convirtió en Corporación Alta Ley, la que tiene su sede en el Ministerio de Minería.

fundición refinera, genera un conjunto de señales, todas las cuales son coherentes con la nueva estrategia requerida por el sector.

### 3. Evolución de las Fundiciones en Chile: 1990-2019

A partir de los años 90 se pueden distinguir tres periodos en el desarrollo de las fundiciones.

**El primero, entre 1992 y 2002**, estuvo determinado por la necesidad de cumplir con la nueva norma ambiental del Decreto 185 de 1992, que implicó realizar una inversión promedio de US\$ 170 millones por año (moneda 2018) entre 1990 y 2002, en las 5 fundiciones estatales.

En 1990, las 5 fundiciones estatales capturaban muy poco del azufre que ingresaba a ellas, resultando esto en altísimas emisiones de anhídrido sulfuroso a la atmósfera. En 1990 la fundición de Paipote capturaba 24% del azufre, Ventanas el 18%, Chuquicamata el

36%, Potrerillos el 4% y Caletones menos del 6%.

Fue ello lo que motivó la creación de los planes de descontaminación. La emisión de azufre en la forma de anhídrido sulfuroso genera la acidificación de la atmósfera, de la lluvia y, eventualmente, del suelo, de los cursos de agua, de la infraestructura, y de la flora y fauna.

Como resultado de las inversiones realizadas a comienzos de la década de los 90, la captura de anhídrido sulfuroso se incrementó fuertemente, cerca de 72% en Potrerillos en 2002 y a máximos de 87% en Ventanas y Paipote. Estas capturas siguieron aumentando en todas las fundiciones hasta cerca de 90% en promedio en 2009, excepto en Chuquicamata.

La Figura N°4 muestra la captura de azufre como proporción del total de azufre ingresado en los concentrados fundidos<sup>12</sup>. Se observa que todas las

Emisiones de azufre como % del total de azufre ingresado

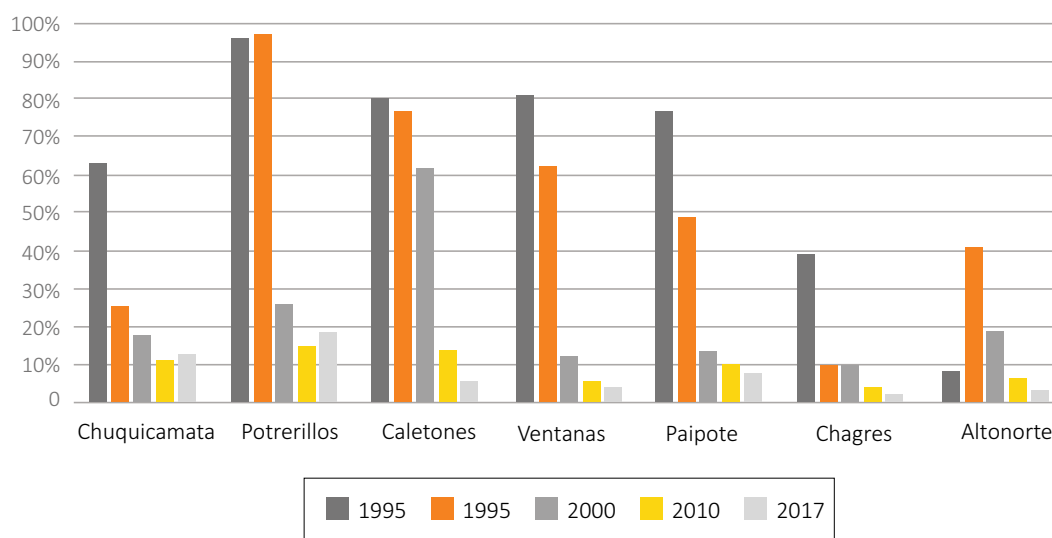


Figura 4: emisión de azufre de las fundiciones chilenas como porcentaje del azufre total ingresado a ellas en los concentrados en años seleccionados: 1990, 1995, 2000, 2010, 2017<sup>13</sup>: Fuente: Base datos PEM, UC, memorias de empresas, y Cochilco.

<sup>12</sup> El SO2 en emisiones puede ser expresado también como contenido de azufre. Una tonelada de azufre es equivalente en peso a dos toneladas de SO2.

<sup>13</sup> Se muestra datos de 2017 ya que 2018 y 2019 fueron anómalos debido a la paralización importante de la fundición de Chuquicamata, la que estaba reemplazando sus dos plantas de ácido. Ello significó una reducción de producción muy relevante, lo que se aprecia también en las Figuras 1 y 2.

fundiciones redujeron en forma muy importante sus emisiones de azufre (y también las de arsénico).

**El segundo período, entre 2004 y 2013,** se caracterizó por el superciclo del precio de los *commodities*, y por no haber nuevas exigencias ambientales en materia de emisiones. Entre 2003 y 2013, la inversión en las 5 fundiciones estatales se redujo a dos tercios del período anterior, US\$ 121 millones por año (moneda 2018), y, adicionalmente, las inversiones de las compañías mineras se focalizaron casi exclusivamente en tratar de incrementar la producción de concentrados.

Durante el superciclo, la estrategia de las empresas mineras en todo el mundo fue aumentar la producción de las minas, ya que ese segmento de la cadena de valor aumentó mucho de valor. La mayoría de las compañías mineras descuidó o incluso

intentó salir del segmento de fusión y refinación, ya que éste se gestiona principalmente por el monto de los cargos (tarifas) de fusión y refinación que se mueve con casi total independencia de los precios de los *commodities*<sup>14</sup>. El enorme crecimiento de la capacidad de fusión en China (ver Figura N°1) lanzó los cargos de tratamiento y refinación spot a cerca de cero en 2007 y 2008, resultando ello en pérdidas económicas para prácticamente todas las fundiciones del mundo, excluidas algunas fundiciones chinas que recibían importantes subsidios y que desarrollaron nuevas tecnologías que les permitieron tener los menores costos de operación del mundo. En todo caso, este boom de la industria china de fundiciones deterioró los márgenes de esa industria por un largo período, y favoreció los márgenes de los productores de concentrados. La Figura N°5 muestra los cargos de tratamiento (fusión) y refinación entre 2001 y 2020.

Combined treatment and refining charges for copper concentrate

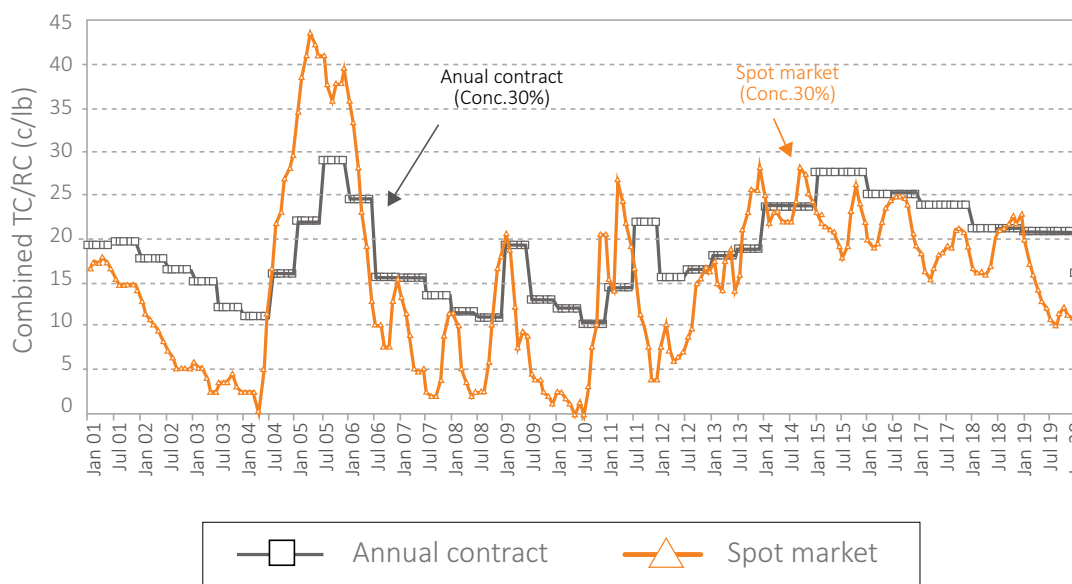


Figura 5: Cargos de tratamiento (fusión) y refinación para concentrados con 30% de cobre, precio de contratos anuales y precio spot. Fuente: CRU, Incomare, Base de datos Programa de Economía de Minerales, UC.

<sup>14</sup> El cargo de tratamiento o fusión es pagado por el vededor de concentrados a la fundición – refinería. Esta vende el cátodo a al cliente final. El cargo o tarifa de tratamiento es bajo cuando hay exceso de capacidad de fundición en relación a los concentrados disponibles para ser tratados. Y dicho cargo es alto cuando hay muchos concentrados en relación a la capacidad de fundición existente.

Alimentado por las condiciones excepcionales del precio del cobre en el superciclo, se produjeron dos hechos que evidencian el cambio de estrategia ocurrido en el desarrollo de las fundiciones estatales.

El primero fue el abandono de uno de los esfuerzos de innovación más importantes de la minería chilena, el Convertidor Teniente (CT), originado a mediados de los 70, el que culminó en los 80 y 90 con la instalación de CTs en todas las fundiciones estatales, en México, Zambia y Tailandia. A poco andar Codelco renunció, sin embargo, a seguir desarrollando el CT y decidió focalizarse en el negocio minero, poniendo fin al programa de desarrollo de este equipo, y desarticulando el de profesionales y académicos que trabajaban en ello.

El segundo hecho fue en 2003, cuando Codelco abandonó el proyecto de la Fundición y Refinería de Mejillones, que venía impulsando desde fines de los 90. La decisión se tomó a pesar de que las ingenierías básicas establecieron la factibilidad del proyecto y de contar con un buen socio inversionista y controlador (Nippon Mining).

Las decisiones de poner fin a estos dos desarrollos fue un balde de agua fría para la capacidad de diseño e ingeniería de la industria nacional. Más allá de su significado económico, ello representó un retroceso profesional y tecnológico del país en un área tradicionalmente fuerte como la metalurgia, pérdida que ha permanecido invisibilizada hasta hoy.

Las dos fundiciones privadas, sin embargo, siguieron adelante con sus planes de desarrollo, aumentando su capacidad (Figura 2), reduciendo sus emisiones (Figura 4), y manteniendo su competitividad.

La fundición de Chagres invirtió en aumentar la captura de gases más allá de lo exigido en los planes de descontaminación, posiblemente impulsada por su emplazamiento en el valle agrícola de Catemu, logrando llegar a 95% en 2006, y a 97,4% en 2017. Para ello había instalado un horno Flash Outokumpu en 1995. Esta fundición construiría un edificio alrededor de sus reactores de fusión en los próximos años, para aumentar la captura a 99% o más.

La fundición de Altonorte comenzó sus operaciones bajo el nombre de fundición de Refimet, en 1993, con tecnología antigua (horno de reverbero). Posteriormente, cuando fue adquirida por Noranda, empresa canadiense, instaló un convertidor Noranda en 2000, bastante similar al Convertidor Teniente, pero superior en desarrollo por cuanto lo había transformado en un reactor continuo, lo que implicaba reducir las emisiones fugitivas. La instalación de este equipo fue aparejada con un incremento importante en capacidad de fusión (Figura N°2). Posteriormente Noranda fue adquirida por Glencore, la que continuó inversiones para emitir menos azufre que lo exigido por el Decreto 28, llegando a capturar 97,3% del azufre en 2018.

**El tercer período, entre 2014 y 2019**, estuvo determinado por las exigencias del Decreto 28 de 2013, que definió que las fundiciones de cobre chilenas debían capturar a diciembre 2018 al menos el 95% del anhídrido sulfuroso que generaban. Si bien era un avance importante, fue una meta tímida comparada con el 97% promedio de captura de SO<sub>2</sub> que lograban las fundiciones en el mundo en 2016. El Decreto 28 fue elaborado a partir de 2011 por el naciente Ministerio del

Medio Ambiente (MMA) y surgió con fuerza, justamente, debido a la falta de avances ambientales en las fundiciones de cobre, una vez cumplidos los planes de descontaminación en 2002.

La inversión de Codelco fue de US\$ 2.200 millones (moneda 2018) entre 2015 y 2018. Enami, por su parte invirtió US\$ 54 millones en la fundición Paipote en este periodo, para cumplir con el Decreto 28.

En este tercer periodo, la inversión promedio por año superó en más del doble a la de cualquier otro periodo en las fundiciones estatales. Esta importante inversión no se tradujo en mayores capacidades de producción, y no sabemos aún si ésta se traducirá en una mayor competitividad.

En síntesis, estos antecedentes demuestran que las inversiones en las fundiciones estatales se focalizaron casi exclusivamente en cumplir con las exigencias de las regulaciones ambientales que impuso el país desde 1992 en adelante. El superciclo resultó en una pérdida de importancia de la competitividad de las fundiciones estatales, no así de las dos fundiciones privadas. Este aspecto será discutido en la sección 4.

La sección siguiente describe la evaluación económica y ambiental que se realizó para una nueva fundición refinera. También presenta indicadores económicos relevantes para las fundiciones chilenas y de referencia en el periodo 1993-2019, que sugieren la factibilidad de recuperar el estándar económico del negocio de las fundiciones en el país. Finalmente discute un conjunto de ventajas que tiene la instalación de una nueva fundición refinera en el país.

## 4. Una nueva fundición moderna y limpia en Chile es necesaria y posible.

### 4a- Es un negocio rentable.

El estudio económico realizado, muestra que una nueva fundición refinera tiene una rentabilidad (TIR) de 12,9%, con los supuestos indicados en la Tabla 2, lo que es un valor bien aceptable para un negocio industrial de largo plazo. La fundición tiene una capacidad de un millón de toneladas de concentrado, es decir 280 mil toneladas de cobre, lo que la sitúa cerca de Altonorte en cuanto a capacidad. La refinera tiene una capacidad suficiente para tratar todos los ánodos producidos por la fundición. Los costos directos se asumen 21,5% mayores que el costo directo de las fundiciones de referencia en 2019. Los cargos de tratamiento y refinación son de 23,8 c/lb combinados (fusión + refinación), superiores al valor de mercado, que estaba cerca de 20 c/lb a fines de 2019, y que bajó a 16 c/lb en marzo 2020. La tendencia futura, sin embargo, es que el exceso de fundiciones va a ir reduciéndose hasta que el valor del TCRC sea del orden de 24 c/lb en el largo plazo.

En el estudio se asume que la fundición ahorra el 50% del costo del flete marítimo de concentrado a China. El otro 50% del ahorro lo percibe la empresa minera que le vende el concentrado. Un aspecto que no es evidente en la Tabla 2, es que mientras mayores son las impurezas tóxicas del concentrado, aumenta la rentabilidad y el VPN.

La refinera electrolítica produce cátodos y barro anódico. Este último contiene oro, plata, y unos 15 elementos adicionales que al ser recuperados de manera competitiva, mejora la rentabilidad del negocio. En esta evaluación, no incluimos plantas

Tabla Nº2: Supuesto de la evaluación económica de la fundición refinería

Concentrado tratado (millones de toneladas /año)	1	Ahorro de flete para fundición refinería ubicado en Chile (%)	50
Ley de cobre del concentrado (%)	28,5	Costo operacional fundición (c/lb)	23
Tasa de descuento (%)	8	Precio ácido sulfúrico largo plazo (US\$/ton)	50
Recuperación de cobre en fundición (%)	98	Costo operacional refinería (c/lb)	5
Recuperación de cobre en refinería (%)	99,95	Inversión fundición (MUS\$)	1000
TC concentrado limpio (US\$/ton de concentrado seco)	90	Inversión refinería (MUS\$)	700
Cargo de refinación (c/lb)	9	Precio barro anódico (US\$/kg)	125
Cargo tratamiento y refinación combinados (c/lb)	23,8	Valor Precio Neto (VPN), concentrados 80% limpios (MUS\$)	704
Transporte marítimo a China (US\$ ton concentrado húmedo)	50	Tasa Interna de Retorno (TIR), concentrados 80% limpios. (%)	12,9

Fuente: U. de Concepción, Cesco, UC.

para recuperar oro, plata y otros elementos.

#### 4-b En Chile es posible instalar una nueva fundición refinería competitiva

Adicionalmente nos preguntamos si en el contexto dominante de las fundiciones chinas, es económicamente viable establecer una nueva fundición ubicada en Chile. Y para ello hicimos un análisis comparativo de las fundiciones chilenas con un grupo de fundiciones internacionales de excelencia.

Como criterio para la comparación se eligieron fundiciones con buen comportamiento económico ambiental, con tecnologías standard, y que enfrentan costos de mercado. (Por ello se dejó fuera a fundiciones chinas). En la comparación se incluyó a la fundición de Huelva, ubicada en la ciudad de Huelva en España, la fundición de Aurubis ubicada en la ciudad de Hamburgo, Alemania, la fundición de Garfield, ubicada en la vecindad de la mina de

Bingham Canyon, en Utah, Estados Unidos, y la fundición de Tamano, ubicada en Japón. Tres de estas cuatro fundiciones tienen tecnologías iguales a la de la fundición de Chuquicamata y de Chagres, y sólo la fundición de Garfield es de tecnología más avanzada. Las cuatro fundiciones de referencia capturan más del 99,8% de los gases y son rentables.

La evidencia de estas fundiciones, todas rentables y sustentables ambientalmente, muestra que en un contexto muy competitivo las fundiciones pueden ser atractivas. Es decir, que en un negocio estrecho, marcado por una gran agresividad comercial de los competidores chinos, con tecnologías tradicionales y no de punta como algunas fundiciones chinas, y enfrentando condiciones de mercado para todos sus costos, pueden generar resultados positivos, tanto en términos económicos como ambientales. El manejo tecnológico es clave, la automatización de las operaciones de transporte de materiales entre

equipos, la continuidad de las operaciones, el estado de mantenimiento de los equipos, la adición oportuna de concentrados y reactivos, las mezclas adecuadas de concentrados y chatarra para lograr cumplir con las regulaciones ambientales y con las metas económicas, la disciplina laboral en las operaciones por parte de trabajadores e ingenieros, el conocimiento y experiencia de operadores, son variables claves, junto a muchas otras. Una fundición puede entrar en la zona de pérdidas económicas si no tiene concentrados que copen

cerca de 90% de su capacidad durante el año. Por ello la disponibilidad de concentrados suficientes es clave para su sustentabilidad económica, y los equipos de expertos comerciales que negocian y compran concentrados son cruciales.

Llama la atención que, en los treinta años, desde comienzos de los 90 hasta el año 2019, la capacidad de las fundiciones chilenas prácticamente se mantuvo, mientras que en su conjunto las fundiciones internacionales analizadas duplicaron

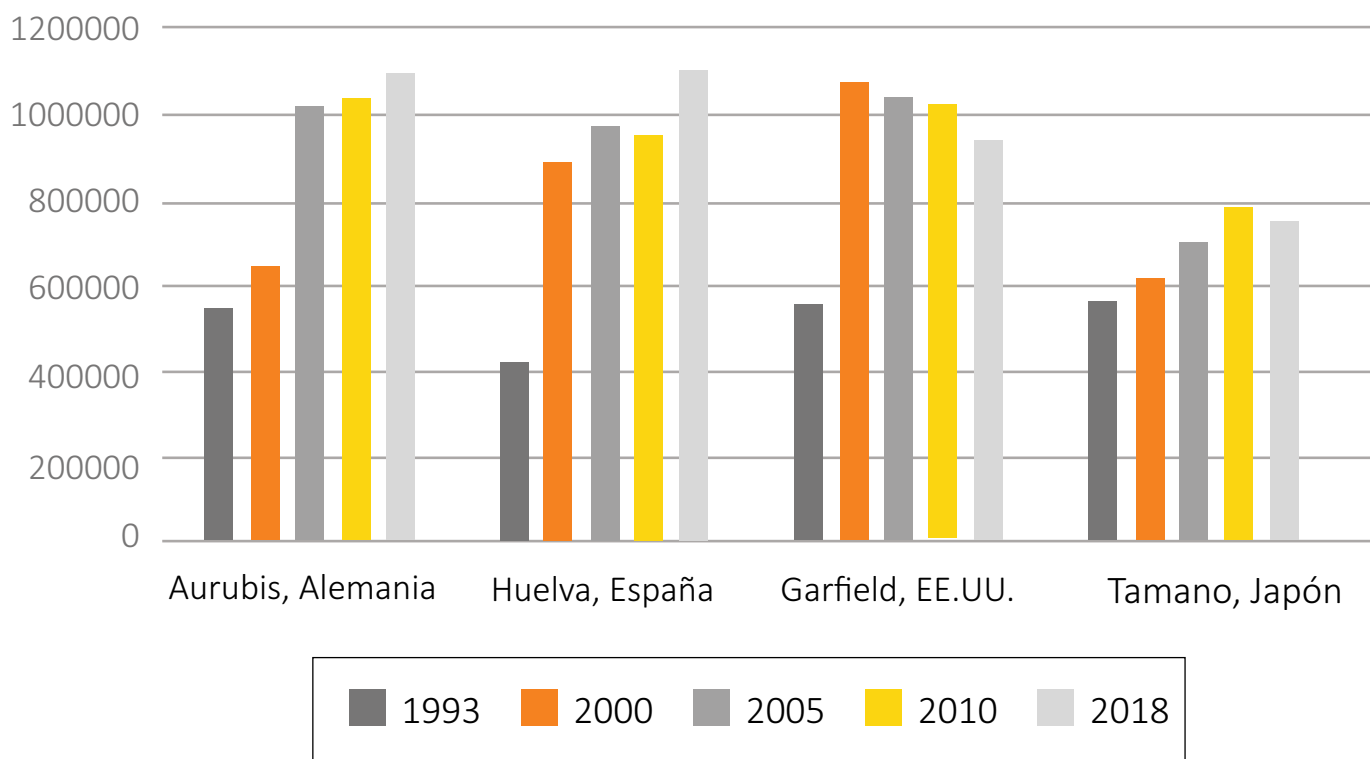


Figura 6: Tratamiento de concentrados de fundiciones de referencia (toneladas)<sup>15</sup>, Fuente: Base de datos U. Concepción, Programa de Economía de Minerales UC.

<sup>15</sup> Una tonelada de concentrados contiene entre 25 y 26 % de cobre, el resto es azufre y hierro



su producción. (Figura N°6).

La Figura N°7 muestra la evolución de los costos directos<sup>16</sup> promedio de las fundiciones chilenas, de las tres mejores fundiciones chilenas y de las cuatro fundiciones de referencia, entre 1993 y 2018. Más allá de presiones de costos en energía y mano de obra y del deterioro de las tarifas que enfrentaron todas las empresas, hubo fundiciones capaces de hacer contención de costos y lograr utilidades económicas. Es decir, el factor gestión fue determinante.

Podemos distinguir en la Figura 7, dos grupos muy diferenciados. Uno, integrado por tres fundiciones chilenas, con resultados positivos en ambas dimensiones (línea gris en Figura 5), aunque menores que las internacionales, y un segundo grupo que constituye el promedio de las fundiciones chilenas (línea naranja en Figura 7), con malos resultados económicos.

La Figura 8 muestra los márgenes operacionales (cash) obtenidos por las fundiciones chilenas, por las tres mejores fundiciones chilenas (desde la

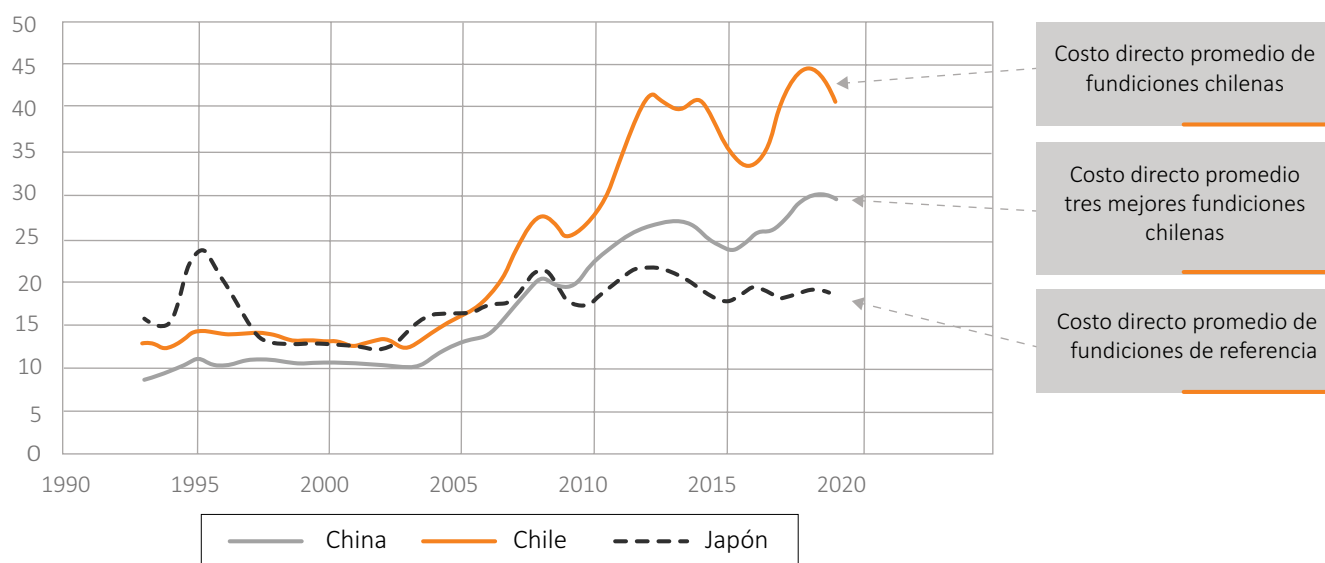


Figura 7: Costos directos promedio de las fundiciones chilenas, de las tres mejores fundiciones chilenas, y de cuatro fundiciones de referencia (Aurubis, Tamano, Huelva, y Garfield). Fuente Brook Hunt y WoodMackenzie, Base de datos de la U. de Concepción y del Programa de Economía de Minerales UC.

<sup>16</sup> Los costos directos incluyen los salarios, la energía, los insumos de operación, la mantención y otros costos del sitio.

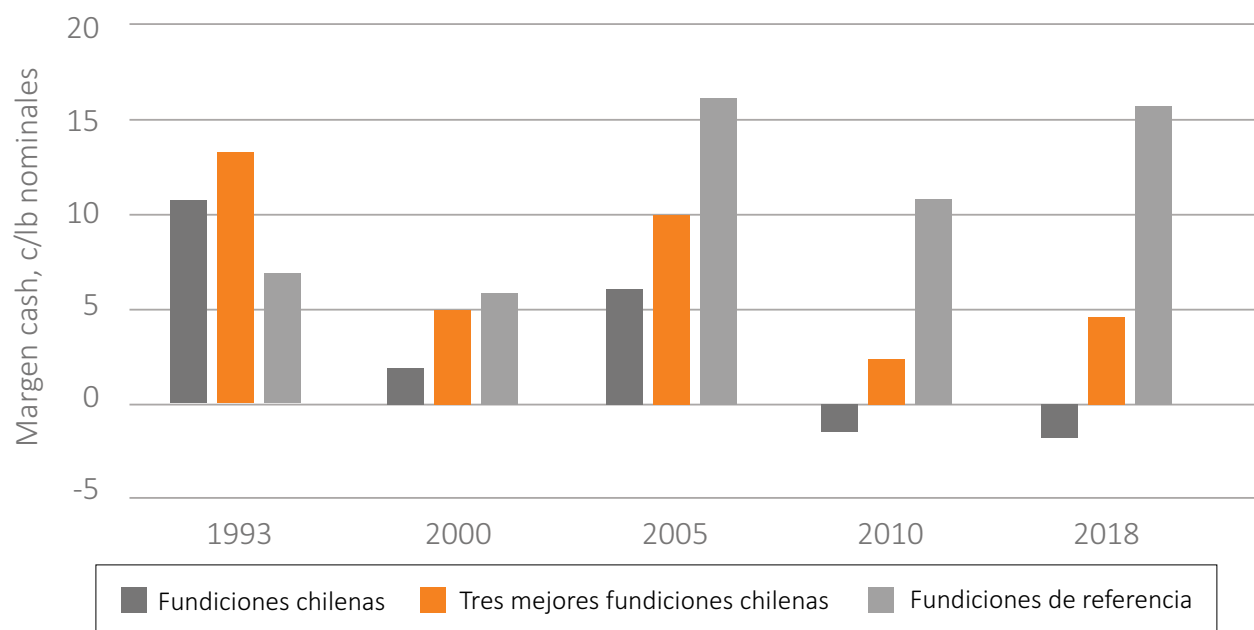


Figura 8: márgenes operacionales (cash) obtenidos por las fundiciones chilenas, por las tres mejores fundiciones chilenas (desde la perspectiva económica), y de las fundiciones de referencia. Fuente: Brook Hunt, Wood Mackenzie, Bases de datos U. Concepción, Programa de Economía de Minerales UC.

perspectiva económica), y por las fundiciones de referencia.

Se observa en la Figura N°8 que en promedio las mejores fundiciones chilenas tuvieron resultados positivos, a pesar de que una de ellas es de tamaño muy inferior a lo requerido para ser competitiva.

En resumen, sea por el análisis de rentabilidad de una fundición nueva usando todos los parámetros de mercado, o sea por lo que acontece con la operación de fundiciones internacionales y algunas chilenas, la conclusión es que el negocio puede ser bueno, y que ello depende fundamentalmente de la gestión de inversiones, operaciones y muy especialmente gestión comercial.

#### 4c- Es un aporte al medio ambiente

##### **Reduce la emisión de Gases Efecto Invernadero**

Una fundición-refinería ubicada en la costa de

China cerca de Shanghai que importa concentrados desde Chile, emitiría un 27% más de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel global que una instalación idéntica ubicada en la costa de las regiones de Atacama o de Antofagasta. Ello porque fundir en China significa usar una matriz energética más intensiva en combustibles fósiles (70,1% en 2018) que en Chile (55,7% en 2018, y fuertemente a la baja). A ello se suma la contribución a los GEI del transporte marítimo de concentrados, que contienen aproximadamente 75% de residuos, lo que implica emitir 4 veces más GEI que transportar cátodos. Es decir, la huella de carbono de una fundición instalada en Chile es menor a una similar instalada en China en la actualidad, y tenderá a una mayor diferencia debido al gran potencial de energías renovables en el desierto chileno y a la revolución tecnológica (y de precios) que está en pleno desarrollo en la producción de energía y

combustibles solares.

Ello tiene una alta probabilidad de continuar brindándole a Chile una ventaja por sobre China, de acuerdo a las proyecciones que se conocen del progreso de la matriz energética china y chilena. Este hecho señala la importancia de aprovechar la enorme ventaja de la radiación solar del norte de Chile, lo que aumentaría los beneficios ambientales de la matriz chilena con respecto a la China no sólo en la emisión

de gases efecto invernadero, sino que los otros indicadores ambientales que se señala más adelante.

La Figura N°9 muestra la emisión de gases efecto invernadero (GEI) por tonelada de cobre tratado, para una fundición – refinería ubicada en la costa de China, y una fundición refinería ubicada en la costa de Chile. Para obtener este valor, así como otros indicados más adelante, se realizó una evaluación de ciclo de vida (ECV) de acuerdo a las

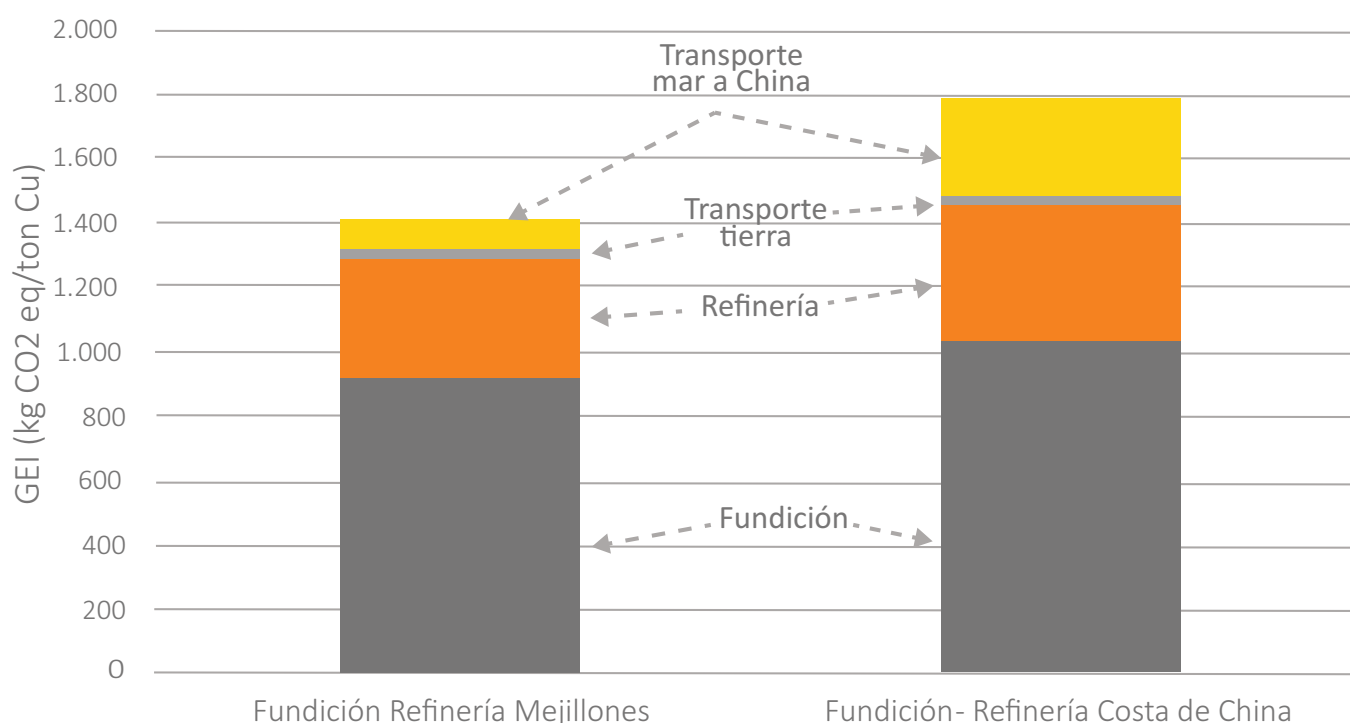


Figura 9: GEI emitido por tonelada de cobre tratado en fundiciones ubicadas en costa de Chile y costa de China. Fuente: Software Gabi 9.2.0.58, database schema 8007, modelado de acuerdo a protocolos CML 2001, ISO 14044:2006, Programa de Economía de Minerales, UC.

normas ISO 14044:2006.

La misma comparación hace que los potenciales de acidificación, eutroficación, de ozono fotoquímico y la demanda de energía primaria serían de 73%, 103%, 80% y 11% superiores, si la fundición estuviera ubicada en China. La Tabla 3 muestra los resultados de la modelación en el software Gabi 9.2.0.58.

La Evaluación de Ciclo de Vida y los indicadores que esta metodología origina generan la trazabilidad de

los procesos y materiales utilizados. Estos criterios son aplicados crecientemente por fabricantes del más diverso ámbito de productos a nivel global. Ya existen legislaciones en Europa y Asia que recomiendan, e incluso exigen, ciertos estándares al seleccionar materiales que componen los productos fabricados. Ello es parte de la economía verde que está en auge, y que en el futuro se avizora que prohibirá sistemáticamente el uso de productos que no cumplan estándares dados para los indicadores obtenidos mediante ECV. Este sólo

(CML 2001 – Jan. 2016) Indicadores LCA	Chile SEN 2018, con crédito de ácido Con crédito	China 2018, con crédito de ácido
Potencial de acidificación (AP) [kg SO2 eq./ton Cu)	7,57	13,15
Potencial de eutroficación (EP) [kg Phosphate eq./ton Cu)	0,62	1,26
Gases Efecto Invernadero (GWP 100 years) [kg CO2 eq./ton Cu)	1.408	1.784
Potencial de depleción de ozono (ODP, steady state) [kg R11 eq./ton Cu)	2,64E-11	1,97E-11
Potencial fotoquímico de creación de ozono (POCP) [kg Ethene eq./ton Cu)	0,40	0,72
Demanda total de energía (gross cal. value) [MJ/ton Cu)	23.199	25.836
Energía primaria de recursos no renovables (gross cal. value) [MJ/ton Cu)	17.642	21.988
Energía primaria de recursos renovables (gross cal. value) [MJ/ton Cu)	5.558	3.848

Tabla 3: Indicadores ambientales ECV de fundiciones (por tonelada de cobre tratado) ubicadas en costa de Chile y costa de China. Fuente Gabi 9.2.0.58, database schema 8007, modelado de acuerdo a protocolos CML 2001, ISO 14044:2006, Programa de Economía de Minerales, UC.

factor favorece la instalación de más fundiciones en Chile siempre que se cumpla con altos estándares ambientales.

**4d- Es un aporte tecnológico para mejorar la cadena de valor de la minería y avanzar en la economía circular, base de la industria futura**

Una fundición con capacidad para fundir un

millón de toneladas de concentrados crearía 570 empleos directos permanentes de alta especialización y calidad<sup>17</sup>, así como cerca de 1.500 empleos adicionales debido a los encadenamientos productivos. Los proveedores de esta nueva fundición tendrían requerimientos más especializados y de calidad superior a los que se ofrecen en Chile en la actualidad.

<sup>17</sup> Suponiendo que la productividad laboral (ton/persona) en la fundición sería el doble que el promedio de las productividades actuales en las fundiciones chilenas.

Por otra parte, una moderna fundición se inscribe en los esfuerzos de mejorar la competitividad de la minería, que enfrenta serios desafíos para bajar sus costos junto con la necesidad de adoptar tecnologías y procesos cada vez menos contaminantes.

El acceso a los mercados en el futuro será con materias primas y productos trazables, reciclables e inmersos en cadenas de producción limpia (economía circular), tanto por exigencias regulatorias como por exigencia de clientes finales o de la cadena de valor intermedia (por ejemplo, vehículos eléctricos, electrodomésticos, celulares, etc). Sin una metalurgia moderna y avances en el entendimiento de nuevos materiales, y la inserción de la minería en la lógica de estas nuevas tendencias y de estas cadenas de conocimiento, nuestro país tendrá cada vez un rol más periférico en el mercado mundial. Junto a otros esfuerzos, la mantención de la actividad metalúrgica en Chile permitirá ir generando una masa crítica más diversificada y dinámica de empresarios, profesionales y trabajadores que sean capaces de discutir, incidir y participar en las actividades económicas emergentes en esta nueva economía, contribuyendo al crecimiento del sector tecnológico minero exportador, que lamentablemente no fructificó mayormente en las últimas dos décadas.

Si ello se logra y en la eventualidad de que las reservas y recursos de cobre crezcan a tasas menores, habrá una importante industria que podrá tomar el relevo económico de la minería tradicional. Los grandes yacimientos de cobre chilenos tienen muchas décadas de vida aún, pero ello no puede demorar la decisión de avanzar más rápidamente a la construcción de un potente sector tecnológico minero exportador, al estilo del que tiene Australia. Es impensable pensar en

desarrollos tecnológicos significativos, que muevan la aguja, sin que un área tan importante y de tanta excelencia histórica, como fueron las fundiciones, esté involucrada en forma principal.

### **Aporte en la recuperación de subproductos**

Los subproductos se exportan en los concentrados. Los contenidos de elementos menores constituyen una oportunidad para optimizar el negocio. En efecto, las fundiciones chinas declaran que al menos el 15% de sus utilidades proviene de la comercialización de 15 diferentes subproductos asociados a los elementos menores. De igual forma, muchas fundiciones se están abriendo al tratamiento del *e-waste*, anticipándose a lo que se prevé será una tendencia mundial: la reutilización y reciclaje de elementos de valor en la economía. Además, el uso de escorias en obras civiles o como aditivo para el cemento hace prever que las fundiciones que hoy tienen los mejores indicadores de negocio, generen en los próximos años mínimos residuos haciendo de la economía circular una práctica (altamente) rentable.

### **El aumento de la capacidad de fundición aumenta la generación de ácido sulfúrico.**

Ello posibilitará la explotación de múltiples recursos mineros de baja ley y alto consumo de ácido que hoy día no pueden ser tratados por razones económicas. Chile dispone de más de 20 mil millones de toneladas de estéril, gran parte de ellos con contenidos importantes de cobre, que podrían ser explotados mediante hidrometalurgia si hay abundancia de ácido a bajo precio. Ello aprovecharía la enorme capacidad de estas plantas hidrometalúrgicas que quedarán sin uso cuando se agoten los óxidos de cobre, cuestión que parece inevitable.

#### 4e- Manejo de riesgo País

Otra ventaja de construir una nueva fundición refinera es que Chile dejaría de perder participación en la fusión de concentrados globales, como ha ocurrido en las últimas dos décadas. El gran auge chino en la capacidad de fusión mundial (con 35,3% en 2018) implica un riesgo estratégico para Chile, que dependerá cada vez más de la exportación de concentrados. China ya tiene poder de mercado para aumentar los cargos de tratamiento y refinación. Y más aún, sus fundiciones actúan como cartel al negociar dichos cargos cada año. Aunque esta amenaza sea eventual y que, de concretarse no tendría un efecto duradero, no puede descartarse. Por ello, el informe de la Comisión Presidencial para el futuro de las fundiciones que operó en 2015-2016 indicó que el país no debería, bajo ninguna circunstancia, reducir su capacidad de fusión. Si bien este informe quedó en los escritorios de los ministros de la época, sus recomendaciones siguen plenamente válidas.

La fragilidad de las cadenas logísticas, demostrada en la crisis del coronavirus, muestra la necesidad de los países de tomar ciertos seguros que, antes de esta crisis aparecían totalmente innecesarios.

#### 4f- Riesgos del transporte marítimo de concentrados

La exportación de concentrados tiene un riesgo potencial en caso de suspensión temporal de ventas por problemas de mercado (como el coronavirus), bajos precios puntuales (como una crisis financiera) y restricciones marítimas, como nuevas regulaciones de la Organización Marítima Internacional. Cualquiera de estas restricciones podría resultar en la paralización de faenas mineras

que exportan concentrados, ya que la capacidad y tiempo de almacenamiento de estos es muy limitado (3 a 4 semanas), mientras que la capacidad de almacenar cátodos (cobre refinado) es altísima. Es lo que ocurrió en China en enero y febrero 2020, cuando la pandemia del coronavirus detuvo las cadenas de suministros, pero permitió la llegada de concentrados a las fundiciones de ese país. Estas fundiciones procesaron los concentrados y los refinaron dando lugar a cátodos, los que no pudieron ser transportados a los clientes hasta marzo-abril, y, por ende, debieron ser almacenados en los patios de las refineras electrolíticas. Ello, sin embargo, no fue un problema que amenazara en forma permanente a la industria, sólo significó un retraso en los despachos a los clientes finales.

#### 4g- Efecto reputación

Un resultado evidente del menoscabo productivo y ambiental de la mayoría de las fundiciones chilenas y particularmente estatales, fue un deterioro en la percepción del país sobre estas instalaciones, las que son vistas como atrasadas y contaminantes. Como consecuencia, a la población le cuesta creer que una fundición pueda ser una instalación moderna, limpia y segura, como ocurre en otros países, con un daño reputacional que tiende a afectar al conjunto de la actividad minera.

Si tuviéramos fundiciones como las de Aurubis o Huelva, ambas localizadas en los centros de ciudades europeas importantes (Hamburgo y el puerto andaluz de Huelva), la industria chilena del cobre en su conjunto, mejoraría enormemente su imagen en el país.

Estas fundiciones no solo tienen utilidades, sino

que tienen estándares ambientales y comunitarios muy altos, que incluso van más allá de lo que exige la norma.

Cuando una industria es responsable en forma sistemática, gana credibilidad frente a la opinión pública, y también frente al regulador; pero basta que una parte de su cadena de valor tenga falencias ambientales importantes, como las fundiciones chilenas, para que las comunidades y los reguladores desconfíen y asuman que la industria entera opera en forma negligente en otros terrenos.

## 5. Nuestra propuesta

Esta propuesta no pretende resolver todos los problemas de la minería actual, sino que intenta dar una señal poderosa de cambio hacia una minería verde, que avance a una economía circular, más tecnologicada, y basada en el conocimiento.

Nuestra propuesta es construir una fundición refinera de última tecnología, de excelencia ambiental, financiada y operada por privados y que en principio sea independiente de una empresa minera en particular. Esta debería ubicarse en la costa o a corta distancia de la costa de la Región de Atacama o de Antofagasta.

Cerrar las fundiciones o dejarlas abandonadas, sin reponer su capacidad productiva con fundiciones sustentables económica y ambientalmente, además de los impactos negativos en empleo calificado, significaría el término de una parte significativa de la metalurgia extractiva en Chile. Se perdería un conocimiento clave, no solo para acercarnos más a los nodos de generación de valor vinculados a los usos finales del cobre, a los nuevos materiales y aleaciones, sino a capacidades para desarrollar soluciones de una minería competitiva,

con desafíos tecnológicos cada vez más complejos, algunos de los cuales tienen que ver justamente con el desarrollo de nuevos procesos metalúrgicos, tanto piro como hidrometalúrgicos.

Las ventajas de tener una fundición refinera independiente, no dependientes de una empresa minera, son varias. Primero, su éxito depende de la gestión operativa propia y del flujo de inversión anual sin subsidios de una mina; segundo, debe buscar fuentes de ingreso adicionales, por ejemplo, utilizar cobre reciclado, recuperar el calor para mejorar su eficiencia energética, recuperar subproductos y procesar impurezas; tercero, el riesgo financiero de operar una fundición es menor que el riesgo de tener una mina de cobre. Y, por último, los salarios de una instalación industrial son menores que los de una gran mina. De hecho, el aumento de los costos laborales registrado durante el superciclo de la minería se replicó en las fundiciones integradas, aunque estas no eran rentables.

Por ello, el anuncio de Codelco en enero 2020, de crear una Vicepresidencia de Fundiciones, es una señal promisoría, pues sugiere que estas instalaciones podrían volverse más competitivas a través de un manejo separado del negocio de las minas en la empresa. Hasta ahora las fundiciones de Chuquicamata, Potrerillos y Caletones dependen de las divisiones de Chuquicamata, Salvador y Teniente, respectivamente. Entonces se da la paradoja que estas divisiones tienen 2 negocios a cargo del mismo ejecutivo, uno que produce concentrados (operación mina-planta), y otro que produce cátodos (operación fundición-refinera), siendo el primero muy manejable y altamente rentable y el segundo complejo y con pérdidas. Es obvio que el ejecutivo dará atención al negocio



rentable y evitará involucrarse en el negocio que siempre genera pérdidas.

Proponemos que la nueva fundición refinera sea preferentemente desarrollada por una empresa de experiencia internacional, con capacidad para operarla en forma rentable y ambientalmente sustentable. Proponemos que esto ocurra ahora, con objeto de remontar rápidamente la negativa carga reputacional que generó la declinación de las fundiciones estatales en las últimas décadas. Ello contribuirá a avizorar un nuevo camino para una minería más compleja y diversificada y amigable con el medio ambiente.

En Chile y en países vecinos, hay suficientes concentrados y habrá más en el futuro, para alimentar esta fundición.

Existen ventajas significativas en localización de este proyecto, que significan un menor costo en transporte entre 8 y 10 centavos de dólar por libra de cobre, que es la diferencia entre exportar cátodos y concentrados. Ello favorecerá a las mineras que operan en el país, ya que también contribuirá a la reducción de sus costos. En términos de tamaño, dada la existencia de importantes economías de escala, la fundición refinera debiera tener una capacidad similar a la de Caletones o de Chuquicamata, para ser rentable.

**Proponemos una acción proactiva y consistente del Estado, como catalizador de una decisión de este tipo. Que no ocurra lo de siempre, que llegue un nuevo gobierno y revierta lo hecho.** Proponemos que el gobierno impulse este proyecto mediante la creación de un grupo de profesionales de alto prestigio, compuesto por técnicos, economistas y abogados que

puedan materializar exitosamente una licitación internacional o lograr negociaciones con invitaciones a empresas de excelencia en esta materia. Este “Equipo de Tarea” debería ser elegido en forma transparente, privilegiando la competencia en su selección.

Proponemos que se concreten convenios con Codelco y con la industria minera privada en Chile, y posiblemente en Perú, para asegurar el suministro de concentrados para la nueva fundición refinera a precios de mercado. **Un análisis detallado de los concentrados disponibles en Chile indica que ello tendría externalidades económicas positivas para la minería privada y también para Codelco. La participación de las grandes empresas mineras chilenas, siendo deseable, no debería ser un requisito crítico para que el negocio se viabilice.**

Proponemos que, para ello, el gobierno disponga de un terreno de propiedad del Estado o adquirido a terceros, en las regiones de Atacama o Antofagasta, con una tramitación ambiental, informada, clara y transparente a la ciudadanía, sobre beneficios e impactos que incluya además una propuesta de valor compartido. La proactividad del Estado en esta materia es crucial para asegurar que el sitio seleccionado para la nueva fundición adquiera una licencia social.

Esperamos que esta propuesta fortalezca la realización de otras actividades tecnológicas, aguas abajo de la producción de cátodos, por ejemplo, para la recuperación de metales y elementos valiosos, para el desarrollo de nuevos procesos para el tratamiento de los crecientemente complejos minerales de nuestros yacimientos, y de otros aspectos tecnológicos asociados a la extracción de cobre.

En particular, esperamos que esta propuesta fortalezca la relación entre los productores de cobre chilenos y los clientes finales, entendiendo y satisfaciendo las crecientes exigencias de estos de abastecerse de cobre proveniente de una minería verde y circular. En este sentido, parece clave fortalecer la vinculación de la cadena de valor del cobre chileno a las energías renovables, a la electromovilidad, y a tecnologías que mitiguen los efectos de la extracción de cobre sobre el cambio climático.

## 6. En resumen

**Proponemos que el Estado impulse, no financie ni opere, la construcción de una fundición - refinería de tecnología de punta con los más altos estándares ambientales, ya que generará un conjunto de beneficios económicos, tecnológicos, ambientales, de capacidades humanas, estratégicas y sociales para la industria minera y para el país, y al mismo tiempo, no implica costos para la industria minera.**

Que el Estado, cree un grupo técnico de trabajo de alto nivel, para impulsar este negocio.

Las empresas mineras pueden participar en la propiedad de este negocio si así lo eligen, precisando que su principal aporte lo constituye el compromiso de venta de concentrados a largo plazo. El negocio de la fundición refinería debe ser manejado por una empresa de excelencia mundial en fundiciones y refinerías de cobre.

El Estado debe garantizar que todas las condiciones indicadas se cumplan respecto a localización del proyecto, evaluación y protección ambiental, abastecimiento de concentrados y consulta a las comunidades y otros grupos de interés, de forma que este se concrete exitosamente en un plazo breve.

## 7. Epílogo

Hace muchos años que la idea de una nueva fundición daba vueltas en los especialistas del área, que veían como el país retrocedía en un ámbito en el que se alcanzaron muy buenos logros. En Cesco tomamos este desafío analizando el tema desde una perspectiva más global de la minería y que considerara los nuevos desarrollos de los mercados. Y nos hicimos dos preguntas:

-¿Es necesario para el país la existencia de fundiciones modernas, limpias y competitivas?

-¿Es viable esa industria en términos económicos?

La discusión sobre fundiciones es muy pertinente, pues permite abrir una conversación sobre el futuro de la minería en nuestro país, después de más de 30 años que la estrategia minera ha apuntado en lo central a un solo objetivo, - aumentar la producción de cobre y exportar concentrados.

Las condiciones en que se desenvuelve la minería han cambiado drásticamente en este período. Los yacimientos más relevantes han alcanzado su madurez, con una caída importante en sus leyes y sin descubrimientos significativos. Pero, además, las exigencias ambientales, sociales y económicas han crecido fuertemente, lo que ligado a la presión de costos pone a la industria en un nuevo y difícil escenario.

Un solo indicador respecto a la competitividad que ilustra lo anterior. En la década de los 90, la producción de cobre de Chile estaba en el segundo cuartil de costos, mientras que hacia el año 2017 sus costos correspondían al cuarto cuartil\*.

La minería, tradicional motor de la economía chilena está perdiendo su dinamismo, tanto por

\* Chilean Copper Mining Costs. Jorge Cantallop. Chilean Copper Commission, Dec, 2017.

menores tasas de crecimiento, (0,38% anual desde 2004), como por una productividad que crece menos que el promedio de la economía. Y las perspectivas a futuro no se ven halagüeñas. Según las proyecciones del Banco Central al año 2027 el sector recursos naturales crecería al 2%, comparado con el “Resto”, que lo hace a un 3,4%.

Lejanos están los tiempos en que la producción de cobre crecía a tasas del 9% anual y con productividades que empujaban al conjunto de la economía. La minería para seguir creciendo y aportando valor acorde a sus recursos necesita una nueva mirada, ya no basada exclusivamente en el aumento del tonelaje de concentrado producido. El desafío es generar al país más valor por unidad de cobre producido. Como veremos más adelante, el crecimiento de la minería chilena en términos de producción de cobre fino tiene importantes limitantes y, por lo tanto, para mantener vigente su potencial de crecimiento y desplegar todos sus efectos virtuosos, es necesario pensar en toda la cadena de valor. Ello ha sido sugerido en varios documentos durante los últimos años: Minería, Una Plataforma de Futuro para Chile y Roadmap Tecnológico para la Minería, versión 1.0 y 2.0.

Claramente hay un problema de consistencia en un país con una industria minera que sigue siendo “world class” y con fundiciones propias del tercer mundo, lo cual tiene fuertes impactos reputacionales que afectan a todo el sector. Sorprende que, en casi 30 años, la capacidad de las fundiciones chilenas se haya estancado, mientras que la producción de concentrados del país más que se triplicó.

Y cuando hablamos de fundiciones no estamos volviendo al pasado, pensando en la producción de cátodos. La revolución tecnológica de la que

somos testigos, con nuevos requerimientos de los mercados y con el tema ambiental como exigente *driver*, lleva a una nueva forma de hacer minería. La integración en cadenas productivas es un imperativo, especialmente en lo relativo a la cadena de valor de la energía renovable, electro movilidad, metalurgia y nuevos materiales, entre otros.

El acceso a los mercados, requisito de la nueva competitividad, exigirá cada vez más materias primas y productos trazables, reciclables e inmersos en cadenas de producción limpia (economía circular). Y esto requiere una base productiva, tecnológica y del conocimiento que permita hacer efectivo los conceptos anteriores, que son justamente los generadores de valor. Así, por ejemplo, y pensando en una nueva fundición 2.0, además de los concentrados, se requiere de un procesamiento de subproductos, de chatarra, incluyendo la electrónica y de otros materiales que pueden integrarse al flujo productivo. No está demás señalar que el éxito de la explotación minera del futuro exigirá conocimientos metalúrgicos cada vez más complejos junto al desarrollo de nuevos materiales y aleaciones. Sin eso quedaremos cada vez más circunscritos a exportar concentrados y cada vez más lejos de los mercados intermedios y finales, que es donde se apropia la mayor parte del valor generado por la actividad.

En este sentido la propuesta sobre una nueva fundición es un punto de partida para discutir sobre el futuro de la minería en nuestro país. ¿No existe nada distinto, nada mejor posible? Si las condiciones están cambiando radicalmente, ¿tenemos que seguir haciendo lo mismo? Lo único que tenemos claro es que no es posible repetir la tasa de crecimiento de la producción de la década

del 90 y hasta 2004, que fue 9,2% anual promedio. Necesitamos pensar distinto y en grande.

Hemos estado, en algún sentido, estacionados por un largo período. El país le exige más a la minería. ¿Toda esta discusión de minería verde, economía circular, son solo palabras, o son movimientos tectónicos en curso para los cuáles tenemos que prepararnos cómo país?

Sabemos que los cambios no son fáciles. Por un sí hay mil peros. Pero en el caso de Chile hay muchos argumentos que apuntan a tener instalaciones con un alto estándar ubicadas en las cercanías de los yacimientos. Desde el riesgo de depender tan críticamente de un solo mercado y de posibles rupturas de la cadena logística, hasta ahorros en fletes, acceso a conocimiento comercial y tecnológico estratégico. Y qué decir del tema ambiental, ¿vamos a seguir transportando por mares y carreteras millones de toneladas de concentrados con solo 25% de cobre y el resto basura?

Lo relevante del ejercicio realizado en Cesco es que, más allá de lo necesario que resulta una nueva fundición para nuestro futuro como país, pareciera ser viable económicamente. Para ello revisamos experiencias de fundiciones internacionales y que compiten exitosamente con sus pares chinas. Adicionalmente, se hizo una evaluación de un proyecto nuevo de una fundición/refinería instalada en Chile, con tasas de retorno atractivas para inversionistas industriales. Una clara ventaja competitiva la constituye la localización cerca de los yacimientos, lo que significa ahorros significativos en fletes, los que

se estiman en cerca de 10 centavos por libra de cobre. A esto se suma los menores impactos ambientales y el favorable resultado en la lucha en contra del calentamiento global provocado por la matriz energética de Chile, que se vuelca a gran velocidad a la generación renovable al compararse por ejemplo con la de China.

En esta visión de fundiciones eficientes, limpias ambientalmente, que recuperan subproductos y reciclan chatarra, con incorporación de capitales y tecnologías de avanzada en el mundo, existe un amplio campo de cooperación con las grandes compañías mineras exportadoras de concentrados. Sin duda es de su conveniencia poder procesar sus concentrados cerca de sus instalaciones, en condiciones de mercado, sin necesidad de transporte carretero, almacenamiento, carguío, especialmente cuando hay presencia de impurezas.

Avanzar en esta línea supone una acción proactiva y consistente del Estado, como articulador inicial y catalizador de una decisión de este tipo. El financiamiento de un proyecto industrial como éste, debe venir de inversionistas privados interesados en rentabilidades atractivas de largo plazo y con riesgos menores que los del negocio minero. Y con operadores experimentados en el concierto mundial.

En resumen, tenemos que seguir avanzando y discutir con potenciales interesados e inversionistas, pero creemos que esta es una aventura que vale la pena. Requiere de inversionistas pioneros, capaces de manejarse en la complejidad de los negocios actuales y con ganas de hacer cosas significativas que marquen huellas.