

Potencialidades y desafíos para la minería del cobre chileno a 2035

Gustavo Lagos C.C.¹, David Peters N.², José Joaquín Jara D.³

Publicación de trabajo
Departamento de Ingeniería de Minería, UC
Centro de Investigaciones Estratégicas de Minería, CIEM-UC
6 de julio 2015

1. Introducción

Desde 2012 las condiciones para el desarrollo de proyectos de producción minera de cobre estuvieron lejos de ser óptimas en Chile y se estima altamente improbable que esta situación se revierta en los próximos años.

La potencialidad de la minería chilena del cobre en el largo plazo sigue intacta sin embargo, y es por ello que es relevante analizarla identificando los desafíos que esta tendría si pudiese desarrollarse en su totalidad.

Este artículo tiene por objetivo explorar las potencialidades y desafíos que se generan con una explotación acelerada de todas las reservas explotables y de algunos recursos de cobre chileno hasta 2035. *Ello se denomina “escenario total” y se examina sus efectos productivos, económicos, sociales, ambientales y políticos.*

El escenario total de explotación acelerada da lugar a una producción máxima en 2025, la que tiene probabilidad casi nula de ocurrir, pero si la explotación es menos acelerada su probabilidad de ocurrencia aumenta.

En 2012 la cartera de proyectos mineros en Chile era de 104 billones de dólares de acuerdo a la Comisión Chilena del Cobre, Cochilco (Cochilco, 2012), la que ascendió a 112 billones en el reporte del año 2013 (Cochilco, 2013). El reporte del Consejo Minero de octubre 2014 (Consejo Minero, 2014) señalaba que sus empresas socias tenían ocho proyectos en ejecución en el país, que totalizaban una inversión de US\$ 16.399 millones. Esto marcaba una caída de 45% frente a los US\$ 29.949 millones que se registraban un año antes (Pozo, 2014). Ello se sumaba a las inversiones programadas por Codelco, las que alcanzaban a cerca de 23 mil millones de dólares en el periodo de 2014 a 2018 (Ibarra, 2015).

Se entiende por proyectos en ejecución aquellos que cuentan con una Resolución de Calificación Ambiental (RCA) aprobada, de acuerdo a la Ley Ambiental 20.417 de 2010 y cuyos dueños ya aprobaron la construcción. Es decir, son aquellos proyectos

¹ Profesor Titular, Departamento de Ingeniería de Minería, UC., Centro de Investigaciones Estratégicas de Minería, CIEM-UC.

² Ingeniero de proyectos, Departamento de Ingeniería de Minería, UC.

³ Profesor Adjunto, Departamento de Ingeniería de Minería, UC.

que ya terminaron la ingeniería básica o de factibilidad, que cuentan con financiamiento para llevar adelante el proyecto, que obtuvieron los derechos de agua, los contratos de energía futuros, la propiedad minera pertinente, y los títulos de propiedad del suelo que utiliza el proyecto.

La RCA, según la legislación chilena, incluye todos los permisos ambientales y todas las exigencias que tendrá la operación tanto durante su construcción, su operación, como su cierre.

Se entiende también que los proyectos en ejecución son aquellos que no cuentan con recursos de protección en curso ante la justicia ni reclamaciones pendientes ante la autoridad administrativa.

Desde 2012 se comenzó a observar en Chile y en el resto del mundo muchas suspensiones de proyectos mineros de cobre y de otros commodities minerales. Estas suspensiones tienen causas variadas, *pero todas destilan en generar rentabilidades que no son suficientes para realizar las inversiones.*

Por una parte las suspensiones de proyectos a nivel global se originaron por políticas de los accionistas dueños de las compañías propietarias de los proyectos, debido a que ellos percibían que durante el superciclo de los commodities los gobiernos, los ejecutivos, y los empleados de sus empresas estaban superando la obtención de beneficios propios en desmedro de los dividendos obtenidos por ellos (Deutsche Bank, 2011).

En segundo lugar, las mismas compañías percibían, desde mediados de 2011, que el superciclo iba en retroceso, con precios decrecientes y una excesiva inversión propuesta por sus propios directorios, lo que conduciría a una sobreoferta en el futuro (Villagrán, 2012). A estas razones se sumaba la inflación global de costos operacionales y de inversión, generada por el aumento de la demanda por bienes, servicios y mano de obra para las operaciones y proyectos (Marticorena y Zuñiga, 2012). Enfrentados a este panorama, las compañías entendían que la única forma de mejorar su situación competitiva era incrementar la productividad y reducir los costos, y por ello pusieron en marcha acciones para lograr estas metas (EY, 2013; Pozo, 2015; Haynes, 2015; Codelco, 2014 y 2015a; El Mercurio, 2015).

En Chile hubo razones adicionales para suspender inversiones mineras, y ello comenzó a observarse con claridad después del fallo de la Corte Suprema del 28 de agosto 2012 sobre la Central Termoeléctrica Castilla y su Puerto, ubicados en la Región de Atacama. Dicho fallo dejó sin efecto las dos resoluciones de Calificación Ambiental, RCA, aprobadas en diciembre 2010, y ordenó a la empresa realizar un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) de la Central y del Puerto en forma conjunta.

Este fallo vino a sumarse a la detención de la construcción de la Central Barrancones, causada por la intervención personal del Presidente Piñera en 2010; y

a la demora de cinco años en la tramitación ambiental de la Central Punta Alcalde, la que finalmente fue aprobada en 2013 por la Corte Suprema, pero que no se construyó debido a una decisión de tipo económica por parte de Endesa, su dueña. A su vez hubo varias resoluciones de la justicia en los casos de los proyectos El Morro (Corte Suprema, 2012 y 2014a) y Pelambres, que han reducido aún más la confianza en que una vez contando con aprobaciones ambientales, los proyectos puedan construirse y funcionar.

El escenario que se considera en este trabajo supone la superación de todas estas condiciones y obstáculos, lo que parece muy lejano por ahora.

Este trabajo expone en la sección dos los antecedentes y supuestos que permiten elaborar un escenario total de producción para la minería del cobre en Chile. La sección que le sigue elabora los supuestos bajo los que se desarrollarían los diversos yacimientos considerados en el análisis. La sección cuatro analiza los resultados de la modelación realizada. La penúltima sección analiza algunas de las principales consecuencias que tendría la ejecución del escenario total. Y se cierra el trabajo con algunos comentarios finales.

2. Antecedentes para la elaboración de un escenario total de producción de cobre de mina en Chile.

En esta sección se analiza las condiciones que deben cumplirse para un escenario total y los tiempos necesarios para que los proyectos se desarrollen hasta entrar en producción.

2.1- Condiciones para un escenario total

Son tres las condiciones para que se gatille un escenario total. Alza del precio del cobre, superación de la incertidumbre regulatoria, y obtener precios de la energía inferiores a 100 US\$/MWh.

a) Precio del cobre

Se define un escenario total aquel en que, en primer lugar, el precio del cobre es suficientemente alto como para generar rentabilidades interesantes, y así poder iniciar un proyecto nuevo o reiniciar un proyecto que había sido suspendido en cualquiera de sus etapas anteriores a la construcción. Además, la expectativa de precios futuros debiese ser positiva también, ya que usualmente pasan varios años entre la decisión de continuar con un proyecto y su puesta en marcha. Por ejemplo, en 2006 las empresas mineras tardaron al menos 18 meses en comprender las oportunidades que tenían al frente, y por ende las decisiones de nuevas inversiones tardaron en generarse hasta mediados de 2007. Cuando ya estaban en desarrollo varias iniciativas de inversión ocurrió la crisis financiera global de 2008 y la gran mayoría de las inversiones fueron suspendidas.

No obstante lo anterior, una vez comenzada la construcción de un proyecto, es muy improbable que ésta se detenga. Para sustentar un escenario total, en este trabajo se supone que el precio del cobre se elevará en forma significativa a partir de 2017. En dicho año debiese comenzar un déficit significativo de cobre en el mercado, ya que los nuevos proyectos y ampliaciones que están en ejecución se habrán puesto ya en marcha, gracias a que habrían escasos proyectos nuevos en desarrollo, y debido a que la demanda seguiría creciendo en los años siguientes a una tasa mayor que la oferta.

b) Incertidumbre regulatoria

Una segunda condición para un escenario total es haber superado la incertidumbre regulatoria existente hasta 2015.

Hasta 2004 la justicia chilena había fallado la mayoría de los recursos de protección en contra del desarrollo de proyectos, de todo orden de actividades económicas, en forma favorable a las empresas (Lagos, 2013).

Sin embargo, los primeros indicios serios de mayores exigencias ambientales por parte de un gobierno la dio el Presidente Lagos en 2003, cuando en un discurso en Puerto Chacabuco afirmó que el Proyecto Alumysa (para refinar aluminio), el mayor proyecto que había tenido el país hasta entonces, generaría impactos nocivos sobre la población de dicho lugar. Noranda, dueña del proyecto, lo retiró *inmediatamente*, antes de concluir la Evaluación de Impacto Ambiental (Beltrán, 2003; Henríquez, 2003).

Poco menos de un año después ocurrió la muerte de los Cisnes en el río Cruces, la que se atribuyó a las emisiones de la planta de Celulosa Celco (La Tercera, 2013). El impacto de este evento fue gigante en la población, y se sintió en la estructura y organismos regulatorios del país.

Sin mediar cambio legislativo o normativo alguno, a partir de 2004 la duración de las evaluaciones de impacto ambiental en todo el país comenzó a crecer, debido a un aumento sistemático del número de preguntas que la autoridad realizaba a los proyectos. El tiempo promedio que tardaba en obtenerse una RCA hasta 2003 era de aproximadamente 300 días, mientras que en 2011 dicho tiempo había llegado casi a 500 días (Lagos, 2014). No sólo el gobierno cambió de facto las exigencias, también lo hizo la justicia. Finalmente, la ciudadanía, empoderada por el superciclo y las buenas noticias económicas que este trajo al país, también hizo sentir su peso con mayores estándares y exigencias a los proyectos.

En 2005 la OCDE emitió un informe sugiriendo la creación de una Superintendencia del Medio Ambiente. Ello en el contexto de una serie de informes que indicaban los cambios que Chile debía realizar para ingresar a la organización. La institucionalidad del Medio Ambiente debía adaptarse a las nuevas condiciones de desarrollo del país, el que había alcanzado dicho año un ingreso per cápita de 17 mil

dólares ppp de 2011 (World Bank, 2015). La nueva Ley Ambiental que modificó a la Ley de Bases del Medio Ambiente fue dictada en 2010 (Ley 20.417) creando dicha institucionalidad. Los EIA de las grandes centrales de energía, HidroAysén, Barrancones, Castilla y Punta Alcalde habían comenzado. Todas ellas fueron impugnadas entre 2010 y 2014 ante la justicia o ante el Comité de Ministros del Medio Ambiente. La única que sobrevivió fue Punta Alcalde. La inversión en centrales termoeléctricas e hidroeléctricas en el Sistema Interconectado Central (SIC), que cubre desde Tal-Tal por el norte hasta Chiloé por el sur, se paralizó casi completamente (Lagos, 2014).

Al mismo tiempo la justicia y la nueva institucionalidad ambiental detenían, entre 2012 y 2014, la construcción de las minas Pascua Lama y el Morro. A fines de 2014 la Corte Suprema utilizó un artículo del Código Civil para dictaminar que el Tranque de Relaves El Mauro, perteneciente a Minera Los Pelambres de Antofagasta Minerals, era una obra nueva, con lo que debía reponerse el escurrimiento natural de las aguas al Estero Caimanes en el que se encuentra el Tranque (Corte Suprema, 2014b). En 2015 el Juez de Los Vilos (Juzgado de Los Vilos, 2015), pequeña localidad ubicada en la costa cercana al tranque mencionado, dictaminó que debía derribarse la pared del tranque de más de 200 metros de altura y trasladar los relaves a otro sitio. Hasta el momento de escribir este artículo la Corte de Apelaciones de La Serena no había fallado la apelación interpuesta por Minera Los Pelambres (Los Pelambres, 2015).

Estos ejemplos son una muestra de que el problema principal del sistema de evaluación ambiental del país no radica en que la duración promedio de aprobación de los proyectos se haya elevado a cerca de 500 días, sino que persiste la incertidumbre una vez aprobadas las RCA.

El fallo sobre el tranque El Mauro ha dejado diáfano que los miembros que integran la Corte Suprema *están muy lejos de tener una comprensión común de la Ley Ambiental*, no están dispuestos a dejar las decisiones ambientales técnicas en manos de los Tribunales Ambientales, y siguen utilizando las amplias posibilidades de la legislación civil para cuestionar los desarrollos mineros y energéticos, donde ocurre más de la mitad de la inversión del país.

La imposibilidad de identificar una tendencia en los fallos ambientales de la Corte Suprema en los últimos 5 años es lo que impide asignar un riesgo regulatorio ambiental a los proyectos y, en cambio, amerita adjudicarles una incertidumbre en este ámbito.

En la definición de escenario total se requiere que la incertidumbre regulatoria sea superada, al menos desde el momento de tomar la decisión de construir el proyecto y hasta la puesta en marcha. Ello supone condiciones políticas e institucionales que están lejos de alcanzarse en la actualidad.

c) Precio de la energía

Una tercera condición para llevar adelante los proyectos considerados en este estudio es el costo de la energía, el que no debería exceder 100 dólares por Mega Watt-hora (MWh). Lograr este precio está asociado con el aumento de la oferta de energía, cuestión que depende de la incertidumbre regulatoria indicada anteriormente. En el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) se habían logrado precios inferiores a 100 US\$/MWh a marzo 2015. La tendencia del precio de la energía no era predecible a dicha fecha (Comisión Nacional de Energía, 2015). En el caso del SIC, desde el año 2010 a la fecha el costo de la energía se ha mantenido por sobre dicha barrera, a excepción de los meses de febrero, marzo y abril de 2014 y 2015, con valores que bajaron hasta US\$ 90/MWh (Comisión Nacional de Energía, 2015).

2.2- Tiempos de espera para puesta en marcha

La Figura 2.1 muestra las etapas, la duración y riesgo en cada etapa en promedio estimados para desarrollar un gran proyecto minero.

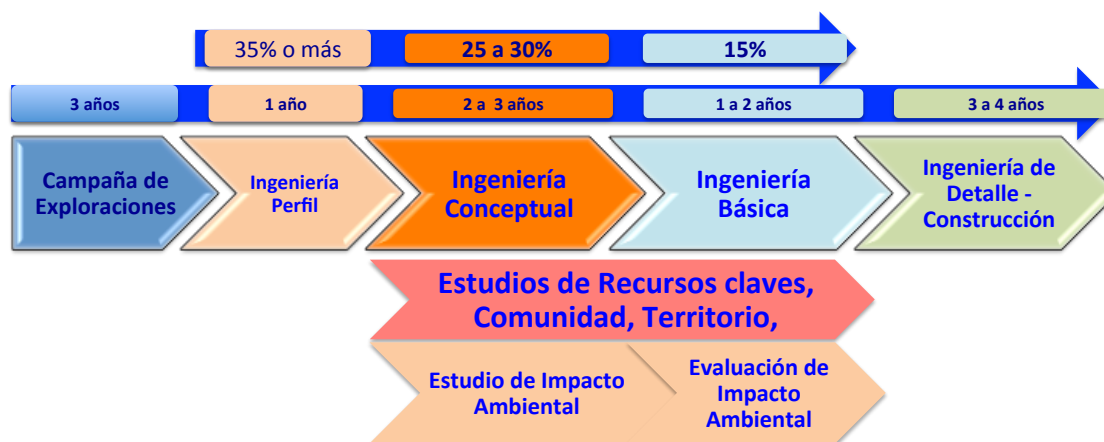


Figura 2.1: Etapas de un proyecto minero. La fila superior indica el riesgo existente al fin de cada etapa, y la segunda fila indica la duración estimada de cada etapa.

El riesgo indicado dice relación con el grado de conocimiento del yacimiento, del mercado, de los costos, de la aprobación ambiental y adquisición de los permisos y derechos que todo proyecto requiere, y de las condiciones que imperarán al momento de puesta en marcha. Por ello, en la medida que cada etapa se acerca al momento de puesta en marcha e incorpora la información anterior, el riesgo del proyecto se reduce. El riesgo incide en el valor presente neto (VPN) del proyecto.

Algunos de los proyectos considerados en el escenario total aún no inician ingeniería conceptual, y por ende deben esperar entre 7 y 9 años para su puesta en marcha (Tabla 3.1). Por otro lado, es importante considerar que la etapa de construcción concentra aproximadamente 80% de la inversión. La Tabla 3.1 estima el tiempo hasta puesta en marcha de los proyectos que se consideran en este

artículo. El tamaño del proyecto y su dificultad relativa para obtener un RCA también se consideró en este mismo listado.

La Tabla 3.1 incluye aquellos proyectos nuevos o ampliaciones considerados en el estudio, en que el tamaño mínimo considerado es una planta concentradora de 35 mil toneladas de mineral por día (35 ktpd), la que da origen a una producción de cerca de 50 mil toneladas anuales de cobre fino (50 ktpa).

El escenario total se desarrolla a partir de 2017 cuando supone que se eleva el precio del cobre y se superan los obstáculos regulatorios, de tal forma que se logra una producción máxima de la minería del cobre chileno en 2025.

En la sección 3 se discutirán los supuestos realizados para cada uno de estos proyectos, así como las razones para excluir otros proyectos que no figuran en la lista.

3- Supuestos sobre los yacimientos

Se considera en **primer lugar** que las explotaciones de óxidos y sulfuros secundarios mediante lixiviación, extracción por solventes y electro obtención (Lix/SX/EW) llegarán a su término⁴, en la gran mayoría de los casos, antes de 2030.

Ello significa que hay un incentivo económico para comenzar la explotación de los sulfuros de cobre que se hallan bajo estos depósitos⁵, ya que de esta forma se evitan altos costos de cierre. Algunas de las mismas instalaciones que usan las explotaciones de óxidos serían utilizadas por las nuevas plantas concentradoras, lo que reduce el monto de la inversión para esos proyectos.

Las minas de óxidos que no cierran antes de 2030 serían:

- Tesoro y Encuentro Óxidos son dos minas contiguas, la segunda de las cuales aprovechará la planta de la primera cuando se agoten sus minerales oxidados. La puesta en marcha de Encuentro Óxidos ocurriría a mediados de 2017.
- Escondida agotaría los óxidos en 2025, pero no así el ROM (Run Off Mine: mineral con baja ley de cobre que se extrajo de la mina y que fue enviado a grandes pilas sin el proceso previo de chancado y aglomeración), el que seguiría proveyendo soluciones a la planta de SX/EW. En 2020 se considera que entraría en explotación la mina Pinta Verde, contigua a Zaldívar, en la vecindad de Escondida. Esta mina tiene importantes reservas de óxidos y alimentaría sus minerales a las pilas dinámicas de Escondida para copar en la

⁴ Entre las minas que cerrarían sus operaciones de óxidos antes de 2030 figuran Quebrada Blanca, Cerro Colorado, El Abra, Radomiro Tomic, Chuquicamata óxidos, Spence, Antucoya, Sierra Gorda, Mantos Blancos, Lomas Bayas, Gabriela Mistral, Zaldívar, y Mantoverde.

⁵ Todos los yacimientos mencionados en la nota anterior.

capacidad de planta que provee 300 mil toneladas de cátodos por año hasta 2025. De ahí en adelante la producción de cátodos mediante SX/EW comienza a reducirse.

- Un tercer caso es Chuquicamata Óxidos, que era alimentada por Mina Sur, contigua a Chuquicamata, la que cerró su explotación en 2014. El ROM proveniente de esta mina podría proporcionar soluciones a las plantas SX/EW hasta 2019. En 2020 se abriría la explotación de las minas Quetena – Genoveva, óxidos que servirían para alimentar soluciones a las plantas de SX/EW de Chuquicamata. Esto último ocurriría si los costos de operación de estas nuevas minas fuesen competitivos, lo que pasa por establecer costos laborales inferiores a los actuales de Chuquicamata. Sin embargo, la producción mediante lixiviación bajaría sustancialmente con respecto a la producción de cátodos obtenida por esta vía hasta 2014.

La Tabla 3.1 indica el primer año a partir del cual no habría producción mediante Lix/SX/EW en los yacimientos de óxidos actuales o futuros.

En **segundo lugar** se considera que casi todos los depósitos hipógenos (sulfuros primarios) ubicados bajo los grandes yacimientos de óxidos conocidos serán explotados en un escenario total (ver Tabla 3.1), y que su puesta en marcha estaría dada por el número de años requeridos para cumplir todas las etapas indicadas en la Tabla 3.1, a partir de 2017.

Una característica de casi todos los yacimientos de sulfuros chilenos es que tienen mayores recursos y reservas que los yacimientos de óxidos que estaban sobre ellos, de tal forma que pueden producir más allá de 2035.

Una segunda característica de los yacimientos hipógenos es que su ley comenzará a bajar a partir del momento en que se pongan en marcha, ya que casi todos tendrían leyes de cobre mayores en las secciones superiores más cercanas a la superficie. Un aspecto significativo de la explotación de estos yacimientos es que lo que normalmente fija la capacidad de producción de cobre fino es la capacidad de la planta concentradora, ya que las operaciones de las minas, con algunas excepciones importantes, podrían ser expandidas más fácilmente que las plantas (a menores costos y plazos).

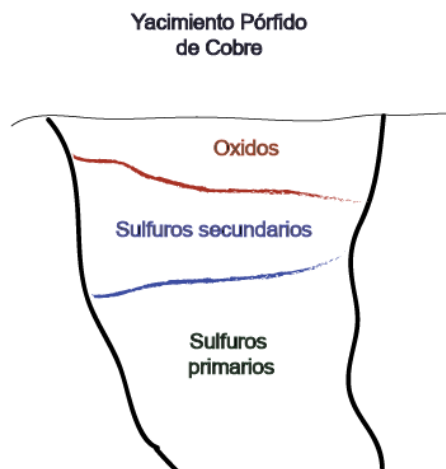


Figura 3.1: Representación típica de yacimientos de pórfidos cupríferos

No se incluye explotación de los hipógenos para Mantoverde ni Antucoya, para los que no se cuenta con información. Es probable, sin embargo, que estos yacimientos tengan potencial hipógeno explotable económicamente.

Por otro lado, todas las nuevas plantas concentradoras o sus expansiones requerirían agua desalinizada o de mar, con excepción de Andina, la que tendrá que analizar su disponibilidad de agua fresca. Ello hace imperativo que el costo de la energía sea más competitivo que en la actualidad.

Escenario Optimo	Estado de Desarrollo del Proyecto							
	Año Cierre	Año puesta en marcha	Producción máxima de cobre fino, ktpa.	Ingeniería Conceptual (2 a 3 años)	EIA (2 a 3 años, concurrente con Ingeniería Básica)	Ingeniería Básica (2 años y más)	Ingeniería Detalle y Construcción (2 a 4 años)	Tiempo mínimo estimado puesta en marcha (años)
Collahuasi expansión concentrados		2024	781	Listo	No	No	No	7
Collahuasi óxidos	2031							
Quebrada Blanca óxidos	2021							
Quebrada Blanca hipógeno		2021	288	Listo	No	Listo	No	4
Cerro Colorado óxidos	2026							
Cerro Colorado hipógeno		2025	185	No	No	No	No	7
El Abra óxidos	2028							
El Abra hipógeno		2023	251	En curso	No	No	No	6
Radomiro Tomic óxidos	2020							
Radomiro Tomic hipógeno concentradora 1		2019	205	Listo	En calificación	Listo	En curso	4
Radomiro Tomic hipógeno concentradoras 1 + 2		2022	366	Listo	En calificación	Listo	En curso	7
Chuquicamata rajo concentrados	2021							
Chuquicamata subterráneo concentrados		2019	375	Listo	Listo	Listo	En curso	4
Chuquicamata óxidos	2020							
Quetena Genoveva óxidos		2020	62	En curso	Listo	No	No	5
Spence óxidos	2029							
Spence hipógeno		2023	197	En curso	No	No	No	6
Tesoro / Encuentro óxidos		continúa	100	Listo	Listo	Listo	En curso	1
Esperanza Sur (DMC Etapa I) concentrados		2019	146	Listo	En calificación	En curso	No	4
Encuentro sulfuros+ Esperanza Sur (DMC Etapa II) concentrados		2024	210	Listo	En calificación	En curso	No	5
Esperanza concentrados		Continúa	212					
Antucoya óxidos	2025							
Sierra Gorda óxidos	2029	2019	32	Listo	Listo	Listo	No	4
Sierra Gorda expansión concentrados		2019	239	En curso	No	No	No	4
Mantos Blancos concentrados	2024							
Mantos Blancos óxidos	2024							
Lomas Bayas óxidos	2029							
Lomas Bayas hipógeno		2023	76	En curso	No	No	No	6
Gabriela Mistral óxidos	2028							
Gabriela Mistral hipógeno		2024	162	No	No	No	No	7
Zaldívar óxidos	2029							
Zaldívar hipógeno		2022	174	Listo	No	No	No	5
Escondida óxidos / reemplazo por Pinta verde		Continúa						
Escondida OGP2 concentrados		2023	1415	No	No	No	No	8
Rajo Inca (Salvador) concentrados		2020	215	En curso	No	No	No	5
Mantoverde óxidos	2018							
Candelaria concentrados	2029							
Cerro Casale concentrados		2022	185	Listo	Listo	Listo	No	4
Relincho concentrados		2022	216	Listo	No	Listo	No	5
El Morro concentrados		2021	162	Listo	Demorado	Listo	No	5
Copaquire concentrados		2023	151	No	No	No	No	7
Inca de Oro concentrados		2020	50	Listo	No	No	No	5
Pelambres expansión I concentrados		2019	426	Listo	En curso	Listo	No	3
Pelambres expansión I y II concentrados		2023	689	Listo	No	No	No	5
Carmen de Andacollo concentrados	2031	2022	101	En curso	No	No	No	5
Andina expansión I concentrados		2020	324	Listo	Demorado	En curso	No	3
Andina expansión I+II concentrados		2022	486	Listo	No	semi	No	6
Andina expansión I+II+III concentrados		2025	659	Listo	No	semi	No	10
Vizcachitas concentrados		2021	80	No	No	No	No	6
El Teniente comienzo explotación NNM		2020	428	Listo	Listo	Listo	En curso	5
El Teniente expansión de NNM y de concentradora		2024	611	No	No	No	No	7

Tabla 3.1: Estimación de vida útil de operaciones existentes y de fechas de inicio y estatus de los principales proyectos mineros en Chile. La columna 2 indica año de cierre o primer año después de la última producción, columna 3 indica año de puesta en marcha. La columna cuatro indica la máxima producción total anual de cobre fino obtenida por las diversas expansiones, las columna 5 a 8 indican el estado de los proyectos en cuanto a ingeniería, construcción, y EIA. La columna 9 indica el tiempo mínimo estimado entre el año en que se reanudan algunas de las actividades indicadas en columnas 5 a 8 y año de puesta en marcha.

Las consideraciones respecto a algunos de los nuevos yacimientos de sulfuros y a las expansiones de los actuales yacimientos son:

- **Collahuasi:** En primer lugar contempla una expansión marginal de su producción de concentrados desde la capacidad actual de su concentradora de 153 ktpd a 160 ktpd, lo que sería logrado en 2019. Posteriormente agregaría una nueva concentradora de 180 ktpd, llegando a una capacidad total de 340 ktpd. La puesta en marcha de esta expansión ocurriría en 2024.
- El complejo minero **Centinela** creado por Antofagasta Minerals está conformado por Esperanza, Esperanza Sur, Tesoro y Encuentro. La mina Encuentro Sulfuros sería puesta en marcha en 2024 lo que incluye la explotación de Encuentro Óxidos, cuyo depósito se encuentra situado sobre los sulfuros y que debería entrar en explotación en 2017. Las minas Esperanza y Esperanza Sur están ubicadas muy cerca una de otra. Esperanza entró en operación en 2011 y en 2017 se concluirá un plan de optimización que elevará su capacidad de tratamiento a 105 ktpd. Se prevé que Esperanza Sur, que tiene leyes más altas que Esperanza, y Encuentro Sulfuros procesen su mineral en una nueva planta concentradora que comenzaría operar en 2019 con una capacidad de 100 ktpd alimentada solo por Esperanza Sur en los años iniciales y por Encuentro Sulfuros posteriormente (2024), cuando la capacidad de la planta sería ampliada a 180 ktpd (Centinela, 2015). Los óxidos de Esperanza Sur y de Encuentro se seguirán procesando en la Planta ex Tesoro.
- **Codelco Norte**, compuesto por el rajo Chuquicamata, la mina subterránea Chuquicamata, Radomiro Tomic (RT), la Mina Ministro Hales, La Mina Sur de óxidos, y las minas Genoveva y Quetena, conforman un complejo difícil de optimizar. Aquí hay no sólo que considerar la capacidad de cada mina sino las capacidades de las plantas concentradoras y de las plantas de SX/EW, las que ya fueron analizadas. En la actualidad hay dos plantas concentradoras, la de Chuquicamata con una capacidad nominal de 180 ktpd, y la de Ministro Hales, de 50 ktpd. A ello hay que sumar las dos concentradoras de 100 ktpd cada una que construirá RT. La primera comenzaría en 2019 y la segunda en 2022 en este escenario total. La alimentación de mineral de RT a la concentradora de Chuquicamata continuaría hasta que el “ramp-up”⁶ (9 años) de la mina subterránea este completado a fines de la próxima década, ya que una vez que se ponga en marcha esta mina deberá detenerse la explotación del rajo, que está inmediatamente encima. Ello significa un serio problema para Chuquicamata ya que sin alimentación del rajo Chuqui y con exigua alimentación de la mina subterránea a la concentradora de Chuquicamata, la producción bajaría considerablemente, elevando los costos. Por ello la alimentación de mineral de RT a la concentradora de Chuquicamata durante los nueve años de “ramp-up” de la mina subterránea debería continuar, lo que es posible. La Mina Ministro Hales (MMH)

⁶ Crecimiento incremental.

- continuará su explotación al mismo ritmo hasta 2034, debido a que no pasará a explotación subterránea en el período comprendido entre 2015 y 2034.
- También en **Codelco Norte** ya no se utiliza la totalidad de la capacidad de la planta concentradora de Chuquicamata, lo que llevó a los sindicatos de dicha División a identificar y proponer la explotación de la fase 46 del rajo, la que tiene altas leyes de cobre y que permitiría proveer mineral a la planta concentradora de Chuquicamata en forma rentable en los años 2017 a 2020, que son los de menor producción futura en esta División. El total de cobre fino aportado por esta fase 46 sería de 203 mil toneladas de cobre (Pérez-Cueto, 2015; Diario Financiero, 2015).
 - **Minera Escondida** instalaría una nueva concentradora, OGP2 (150 ktpd), la que empezaría su funcionamiento en 2023, lo que coincidiría con el último año de producción de la concentradora Los Colorados, la que debería ser demolida. La capacidad de Minera Escondida (MEL) para producir cobre fino no crecería sustancialmente por sobre la que tendrá en 2018 tras la puesta en marcha de su concentradora OGP1, debido a la reducción de la ley de cobre del mineral.
 - **Pelambres**: En 2012 se contemplaba una expansión al doble de su capacidad, para llegar a cerca de 860 mil toneladas de cobre fino contenido por año. En 2013 la empresa anunció que antes de la gran expansión haría una pequeña expansión, desde 175 a 205 ktpd, la que entraría en producción en 2019. En el escenario creado la gran expansión ocurriría más adelante, para entrar en operación en 2023 con una capacidad total de 330 ktpd.
 - La mina **Los Bronces** seguirá su explotación hasta 2034 sin ampliaciones de por medio. Esto último sería posible de acuerdo a los recursos minerales que tiene disponibles, aunque la ley del mineral está proyectada fuertemente a la baja desde 2023 en adelante.
 - **Relincho**, proyecto de cobre-molibdeno ubicado en la Comuna de Vallenar y propiedad de Teck, comenzaría a producir en 2022 con reservas para 14 años de producción a una capacidad de 173 ktpd.
 - **Andina** sería ampliado en este escenario total en tres etapas, la primera de ellas llevando la capacidad de la concentradora desde los 94 ktpd actuales llegando a 120 ktpd en 2021. Una segunda etapa parte al año siguiente, llevando la capacidad a 180 ktpd. Y la tercera expansión llevaría a la capacidad a 244 ktpd la que tendría puesta en marcha en 2025. Este yacimiento tiene grandes reservas con ley 0,81%, lo que permitiría que durante muchos años no existiese caída en su producción. La producción de cobre fino se mantendría en 660 mil toneladas de cobre desde 2026 en adelante. Una cuarta expansión es posible, añadiendo otra concentradora de 120 ktpd para llevar su producción a cerca de 1 millón de toneladas de cobre contenido en concentrados por año. Esta última expansión no se considera en este trabajo.

4- Resultados

Las Figuras 4.1 a 4.4 muestran la producción futura de cobre fino de Chile y de sus regiones en las cuales hay actividad significativa, en un escenario total entre 2015 y 2035.

Se observa que las Figuras 4.1 a 4.3 muestran cimas en la producción, las que se producen para ambos casos en 2025. En cambio la Figura 4.4 tiene un plateau a partir de 2025. Lo primero ocurre por el llamado “síndrome de la montaña”, que es el desconocimiento actual de yacimientos y condiciones que podrían continuar el crecimiento productivo desde 2025 en adelante. En la historia de Chile hay una sola cima productiva duradera, y esa ocurrió hacia fines del siglo XIX debido a la obsolescencia tecnológica de la producción del cobre en el país y por la falta de capitales o falta de voluntad para emplear los capitales existentes en instalar y aplicar las nuevas tecnologías disponibles a esa fecha.

La baja productiva duró dos décadas, hasta que las inversiones de empresas norteamericanas en El Teniente y Chuquibambilla comenzaron a rendir frutos hacia fines de la segunda década del siglo XX.

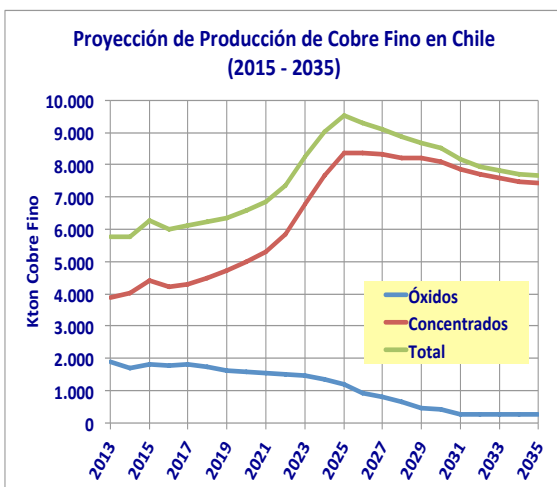


Figura 4.1: Producción de cobre fino de Chile en escenario total.

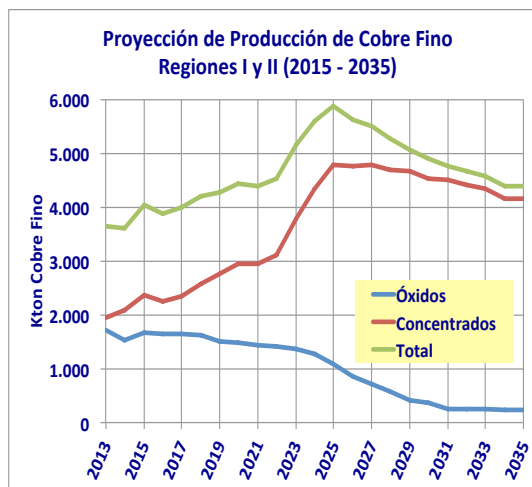


Figura 4.2: Producción de cobre fino de las Regiones de Tarapacá (I) y de Antofagasta (II) en escenario total.

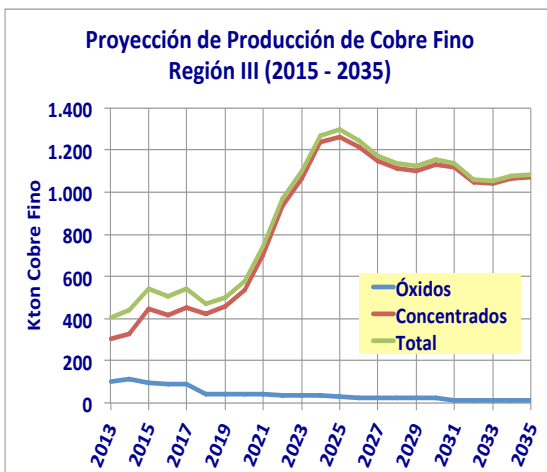


Figura 4.3: Producción de cobre fino de La Región de Atacama en escenario total.

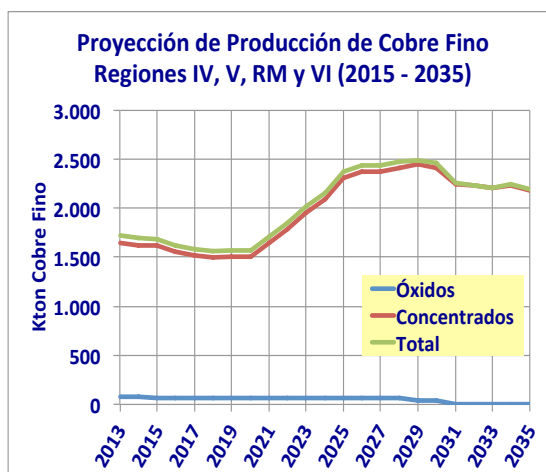


Figura 4.4: Producción de cobre fino de las Regiones de Coquimbo (IV), de Valparaíso (V), Metropolitana y de O'Higgins (VI) en escenario total.

La Figura 4.5 muestra porcentualmente la variación de producción de las tres regiones analizadas. Se observa que las regiones I y II reducen su participación desde 65% en 2015 a 57% en 2035 mientras la región III y la macro región IV a VI+ Metropolitana, aumentan su participación en la producción en dicho período.

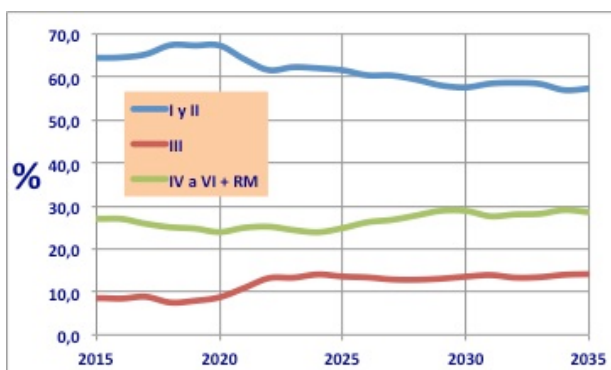


Figura 4.5: % de participación regional en la producción de cobre nacional.

Por último, en este escenario total, Codelco reduciría su participación en la producción de cobre del país desde un tercio⁷ en 2014 a un cuarto en 2020, para remontar posteriormente hasta 26% en 2025 y 31% en 2035. La producción de Codelco ganaría terreno frente al resto del país después de 2020 porque comenzarían a producir los proyectos estructurales y porque las leyes de cobre de sus yacimientos se reducirían menos que la de el resto de los yacimientos del país.

5- Discusión

⁷ Considerando su participación de 24,5% en Los Bronces y de 49% en El Abra.

Un escenario total como el desarrollado en este trabajo permite extraer numerosas conclusiones sobre el futuro minero del país.

Esta discusión incluye seis ámbitos. El primero es identificar algunas consecuencias que dicho escenario tendría sobre el mercado, aunque este no es un objetivo del trabajo. Segundo, las limitaciones de los yacimientos gigantes. Tercero, el país como productor y exportador de concentrados. Cuarto la energía, el uso de agua y la generación de relaves. Quinto, los costos y la productividad. Y finalmente, el impacto en el desarrollo del país.

5.1- Oferta, demanda y precio.

La Figura 5.1 muestra la nueva producción chilena y mundial entre 2015 y 2035, en un escenario total para Chile. Se consideró aquí un crecimiento anual promedio de la demanda y oferta de cobre de mina de 2,9% entre 2015 y 2025, y de 2,2% entre 2025 y 2035. Estos valores pueden ser considerados conservadores por cuanto en los últimos cinco años (2009-2014) la demanda creció en promedio 4,1% anual mientras que la producción de cobre de mina lo hizo en 2,8%. El crecimiento de la producción de mina entre 2014 y 2019 está proyectado en 4,5% anual promedio debido a la puesta en marcha de numerosas nuevas minas en el mundo (ICSG, 2015).

De acuerdo a la Figura 5.1 la producción mundial de cobre de mina sería casi cuatro millones de toneladas adicionales en 2025 con respecto a 2015, mientras que en 2035 el diferencial con respecto a 2015 aumentaría a 12 millones de toneladas. En este escenario total, Chile aportaría en 2025, cerca de tres millones de toneladas adicionales de las cuatro que produciría el mundo, mientras que a partir de este año Chile comenzaría a reducir su producción de tal forma que en 2035 el país solo aportaría 1,5 millones de toneladas adicionales a las que producía en 2015, mientras el resto del mundo debería producir el resto, es decir 10,5 millones de toneladas.

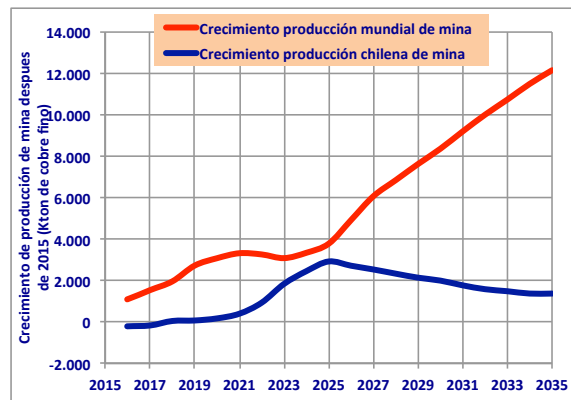


Figura 5.1: Nueva producción chilena y mundial a partir de 2015 en escenario total para Chile.

El escenario desarrollado contempla que las condiciones de precio serían también favorables para desarrollar proyectos en otros países con capacidad potencial de

producción de cobre de mina. Ello no implica necesariamente, sin embargo, que las condiciones políticas y sociales de dichos países serían propicias.

De todas maneras, dichas condiciones de precio podrían llevar a generar una sobreoferta de cobre a nivel global a partir de la próxima década, haciendo caer el precio en forma significativa hacia 2025, e incluso antes.

Por ello, lo más probable es que el desarrollo de nueva capacidad de mina a nivel global se cree primero a partir de aquellos yacimientos que generen la mayor renta, muchos de los cuales no están ubicados en Chile. En ese escenario, sólo algunos de los yacimientos chilenos estarían en los primeros lugares de la lista, y el resto quedaría a la espera de mejorar su rentabilidad. Esto no está considerado en el escenario total para Chile analizado en este trabajo.

5.2- Yacimientos gigantes superaron a la tecnología

El escenario desarrollado permite observar que con el conocimiento actual de sus yacimientos el país podría aumentar su producción hasta cerca de 10 millones de toneladas de cobre fino en 2025.

Después de 2025 la producción decrecería debido a la carencia de nuevos mega descubrimientos, al agotamiento de las reservas de óxidos y a la reducción de las leyes de cobre en los yacimientos del norte del país, no así en los de la zona central.

Las restricciones de emplazamiento y forma de los grandes yacimientos haría compleja la expansión posterior a 2025, porque si bien tienen reservas y recursos que alcanzan hasta fines del presente siglo, su ritmo de explotación no podría crecer sustancialmente con las tecnologías actualmente conocidas.

Ello porque la morfología de estos yacimientos es mayormente vertical, con formas cónicas invertidas (el vértice del cono está abajo) y/o semi cilíndricas. En el caso de Andina, por ejemplo, sus reservas y recursos alcanzan gran profundidad y el fondo, lugar donde se acaba la mineralización económica, no es conocido. Es decir, bajo lo conocido habría aún mucho más por ser explotado. Los planes más audaces de expansión de Andina llevaron a proyectar hace algunos años una capacidad de planta de más de 350 mil toneladas por día de mineral, lo que podría generar una producción anual de cerca de un millón de toneladas de cobre contenido. En este trabajo sólo proyectamos una capacidad de planta de 244 mil toneladas por día de mineral, conscientes de las restricciones que imponen la forma del yacimiento y las tecnologías actualmente disponibles.

Otro ejemplo de posible limitación en la explotación sería Escondida, el yacimiento de cobre que da origen a la mayor producción del mundo desde una sola operación minera. En el modelo de este trabajo expandimos su capacidad de planta a 437 mil toneladas por día de mineral en 2023, alimentando a tres mega plantas concentradoras. Expandirla aún más parece impensable en la actualidad, debido al

gigantesco movimiento de material que está implicado, y que ya llegaría en 2023 y 2024 a mover cerca de 1,5 millones de toneladas por día. Realizar este movimiento de materiales con las tecnologías actuales (palas y camiones de máximas capacidades) posiblemente implique reducciones en las eficiencias y aumentos en los costos por la complejidad del sistema que debería ser administrado.

Por otro lado, la mina Chuquicamata Subterránea, cuya puesta en marcha se consideró para 2019, no sería ampliada más allá de su diseño actual (140 ktpd), y Teniente Nuevo Nivel Mina (NNM) que tendría la capacidad de la planta de Colón, de 137 ktpd (Codelco, 2011) inicialmente, tiene puesta en marcha a fines de 2020, y se consideró una ampliación que estaba en el plan original, a 180 ktpd, tanto en mina como en planta, en 2024. Este sería el límite, aunque el yacimiento en sí es el segundo mayor del mundo después de Andina. El retraso de la puesta en marcha de NNM desde 2017 a 2020, que fue anunciado a principios de 2015 (Orellana, 2015) significa que esta mina deberá desarrollar otros sectores de sus niveles actuales de explotación o bien en la superficie del cráter, para alimentar la capacidad de su planta concentradora de Colón. El ramp up de NNM es de 11 años, lo que significa que su capacidad plena estaría lográndose a fines de la década del 20. Mientras tanto está planificado que Recursos Norte, que es parte de los niveles de explotación actual, proveería una parte del mineral para alimentar la concentradora (Codelco, 2015b; Revuelta, 2011).

Por último, ¿puede Collahuasi expandir su capacidad de planta más allá de las 340 ktpd estimadas en este trabajo? La respuesta es sí, pero la complejidad de movimiento de materiales comienza a ser limitante, al igual que en Escondida.

Si hubiese que colocar una cifra en la actualidad, parece muy difícil con las tecnologías actuales que una sola mina produzca más de 1,2 millones de toneladas de cobre fino contenido en concentrados. En la historia sólo Escondida ha logrado este record, en momentos en que sus leyes de explotación eran bastante superiores a las leyes que se espera sean explotadas en el período 2020-2034.

Entonces, el modelo futuro de producción de cobre estaría basado, de acuerdo a las tecnologías actualmente conocidas, en torno a minas con limitación de producción.

5.3- Concentrados y fundiciones.

La mayor parte de los yacimientos que contienen óxidos se agotarán en términos económicos antes de 2030. Ello traerá varias consecuencias importantes.

Primero coloca un incentivo económico a desarrollar los yacimientos hipógenos que están ubicados debajo, ya que se reducen en forma muy importante los costos de cierre y la inversión en la nueva explotación.

Segundo, en cualquier escenario futuro Chile producirá cada vez menos cobre fino a partir de óxidos (cátodos por lixiviación-SX-EO) y más concentrados mediante el proceso tradicional.

Tercero, de mantenerse la capacidad actual nacional de fundición en torno a los 1,5 millones de toneladas de cobre fino ello tendría como consecuencias que las exportaciones de concentrados crecerían desde 2,5 millones de toneladas de cobre contenido en concentrados en 2014 a 6,8 millones en 2025 (Figura 5.2).

Cuarto están los problemas ambientales de las fundiciones de cobre. Para mantener la capacidad de fusión aproximada que tenían en 2015 las siete fundiciones de cobre chilenas deben cumplir con el Decreto 28 de 2013 el que norma las emisiones en un máximo de 95% de captación de compuestos de azufre. Es obvio que ya están atrasadas en este proceso que conlleva una inversión cercana a los dos mil millones de dólares.

En años recientes localidades vecinas de las fundiciones de Ventanas y Chuquicamata⁸ experimentaron un importante número de episodios ambientales lo que revela que es necesario reducir las emisiones incluso con la norma de calidad actual, que es considerablemente menos exigente que la Guía de Calidad del Aire de 2005 de la Organización Mundial de la Salud, OMS. Cuando la norma de calidad chilena para el SO₂ sea modificada próximamente, es seguro que el Decreto 28 sea bien insuficiente para cumplir con ella.

De alguna manera, entonces, el Decreto 28 nació con su obsolescencia anunciada y es preciso pensar desde ya en un Decreto 29, mucho más exigente para las emisiones de las fundiciones. Estimaciones indican que para cumplir con normas de calidad de clase mundial que protejan la salud de la población en términos efectivos, como las que recomienda la OMS, el Decreto 29 debería apuntar a una captación cercana al 99% de las emisiones en todas las fundiciones chilenas. ¿Qué sentido tiene, entonces, realizar modernizaciones parche para un Decreto 28 que nació con una muerte anunciada? Se ha estimado que la modernización de las fundiciones para cumplir con un Decreto 29 sería del orden de los cinco mil millones de dólares, pero posiblemente esta cifra es demasiado conservadora, porque además de ser ambientalmente viables, las fundiciones deben ser competitivas y salvo Chagres, Altonorte, y Caletones, están lejos de lograrlo. Ventanas y Hernán Videla Lira, y en menor medida Potrerillos y Chagres, deben aumentar su capacidad de fusión para alcanzar economías de escala que les permitan una competitividad completa. En

⁸ Son las únicas para las que se encontró información en el Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire del Ministerio del Medio Ambiente. No se encontró información de las localidades circundantes a las fundiciones de Altonorte, Potrerillos, Hernán Videla Lira, Chagres y Caletones desde hace varios años.

definitiva, para lograr viabilidad económica y ambiental todas las fundiciones chilenas deben invertir fuertemente en nuevas tecnologías.

Por otra parte cerrar las fundiciones actuales no es una opción estratégicamente viable ya que generaría daño a los ingresos fiscales debido al alza de los costos de procesamiento del cobre a nivel global. Ello se debe a que al haber menor capacidad de fusión a nivel mundial se elevarían los cargos por tratamiento, lo que afectaría a todas las empresas que producen concentrado en Chile, incluido Codelco.

También las compañías mineras que operan en Chile quedarían mucho más expuestas que en 2015 a la fijación de los cargos de tratamiento y refinación por parte de la industria China, la que a 2014 tenía el 44% de la capacidad de fundiciones independientes a nivel mundial y que tendrá el 50% en 2017. Teóricamente estos cargos son realizados por el mercado pero en la práctica son influenciados por una serie de factores tales como el manejo de inventarios, mantenciones de equipos, subsidios y otros factores.

En verdad parecería que la minería chilena no tiene muchas alternativas a mejorar las condiciones ambientales de sus fundiciones actuales como a invertir fuertemente para aumentar la capacidad de fusión. A ello habría que abocarse.

Hay dos aspectos adicionales que deben abordar las fundiciones para garantizar la competitividad de la minería chilena. Primero, en el norte del país hay que desarrollar tecnologías que permitan recuperar y disponer el arsénico contenido en los minerales en forma eficiente y segura, manteniendo la eficiencia de las fundiciones. Segundo, con la reducción de los procesos de lixiviación habría un exceso de ácido sulfúrico en las siete fundiciones chilenas, generando pérdidas en varias o todas ellas. El mercado del ácido sulfúrico en Chile es fundamental como insumo para la lixiviación, lo que permite neutralizar los costos de fundir incluso al punto de generar utilidades. De no existir el mercado de la lixiviación, el costo de transportar ácido a otros destinos puede contrarrestar el precio de venta final de este.

Por ello, parece imprescindible que el país cuente con una política explícita de desarrollo de las fundiciones de cobre. Éstas han tenido exigua inversión en los últimos 20 años, y en consecuencia sus posibilidades competitivas han estado fuertemente limitadas.

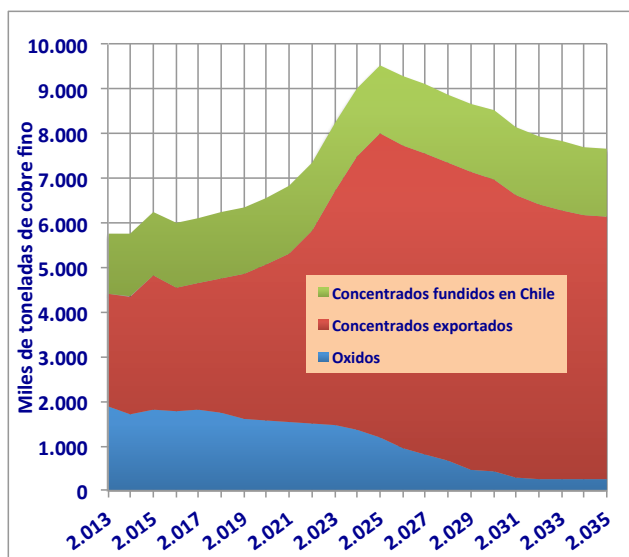


Figura 5.2: Cobre fino producido a partir de óxidos (lixiviación-SX-EO), concentrados exportados y concentrados fundidos en fundiciones chilenas.

5.4- Energía, agua y relaves: tres de los mayores desafíos

El consumo de energía crecerá hasta un máximo en 2025 de 2,1 veces la cifra 2013, debido al aumento de la capacidad de plantas concentradoras, minas y servicios, y debido a la reducción de la participación de los procesos de lixiviación en la cadena productiva. Posteriormente, en 2035, la energía requerida por la minería se reduciría a 1,9 veces la energía usada en 2013. Estas estimaciones no consideran la energía requerida para transportar el agua de mar o desalinizada a todas las nuevas plantas concentradoras al norte de Andina.

El agua requerida para las nuevas concentradoras y para las expansiones, menos el agua que dejará de usarse debido al cierre de las operaciones de lixiviación, llegará a ser hasta 2,5 veces mayor que el agua requerida por la minería en 2013.

Es casi cierto que toda el agua nueva que requerirá la minería chilena al norte de la Región de Valparaíso provendrá del mar ya que en los últimos dos años la autoridad le ha negado numerosas solicitudes de utilización de agua fresca. Pero esto no es todo. La pregunta es ¿Que fracción de los permisos de extracción de agua fresca que dejará de emplearse en las operaciones de lixiviación que cerrarán seguirá utilizándose en la minería? La hidrometalurgia consumía 1,35 metros cúbicos por segundo en 2014 lo que representaba un 9,6% del agua total requerida por la minería del cobre. Casi la totalidad de esta cifra provenía de extracciones de agua fresca. En 2035 la hidrometalurgia utilizaría sólo 0,2 metros cúbicos por segundo, en este escenario total, es decir un 0,67% del total de agua de la minería del cobre. Se considera altamente probable que los permisos caducables de los 1,15 metros cúbicos que dejarían de utilizarse en hidrometalurgia a 2035 no sean renovados.

Por ello, desarrollar energía barata (< 100 US\$/MWh) es esencial para la competitividad futura por cuanto habrá que transportar mucha agua desde el mar para la minería. También es esencial que la matriz energética de esta minería deje de estar basada en generación de altos niveles de emisión de dióxido de carbono, ya que se considera altamente probable que el cobre futuro, así como otros productos, tengan fuertes premios y castigos de acuerdo a su huella de carbono.

El crecimiento de la cantidad de relaves producidos por año superaría 3 veces el valor 2013, lo que presenta un desafío muy importante, especialmente en la zona comprendida desde Pelambres hacia el sur, debido a la escasez relativa de terrenos y a la mayor presencia de precipitaciones.

La Figura 5.3 presenta los valores de los índices de estas cuatro variables, considerando que el índice para 2013 fue 1.

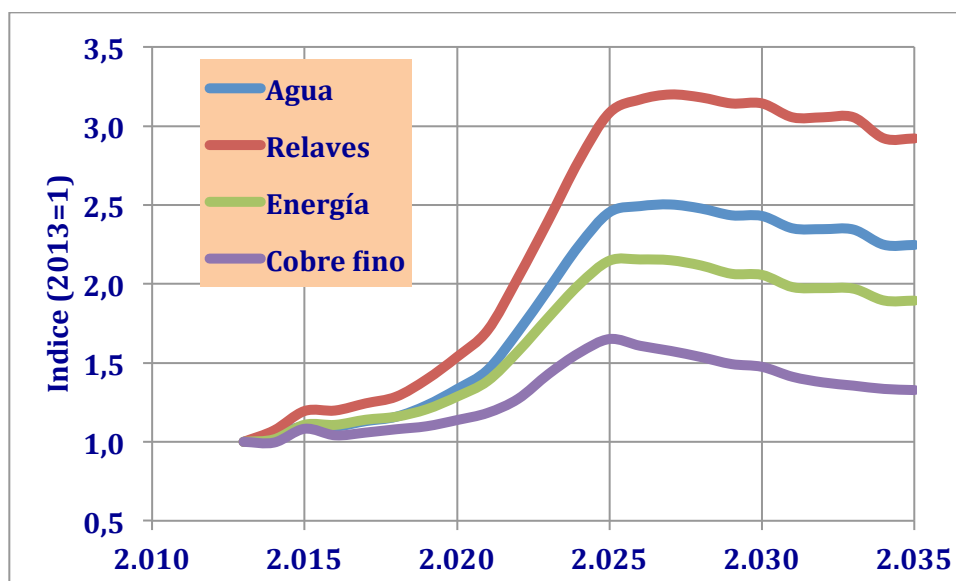


Figura 5.3: índices de producción de cobre fino, consumos de energía y agua, y generación de relaves. (2013=1). Cobre fino 2013, 5.776 kton; Energía 2013, 21,3 TWh; Agua 2013, 13,5 m³/seg; Generación de relaves 2013, 517 KKton.

5.5- Efecto en los costos y en la productividad.

Los nuevos proyectos generarían una reducción de costos considerable en el caso de Codelco por dos motivos. Primero porque las tecnologías utilizadas en la mina serán menos demandantes en recursos humanos y energía. Y segundo porque los trabajadores contratados desde 2013 en diversas divisiones tienen beneficios bien inferiores a los de los contratos colectivos históricos (Keller, 2014). En Chuquicamata la reducción de costos laborales de trabajadores es 34,4%, en Andina es de 27,7%, en El Teniente es de 16,7% y en Radomiro Tomic es de 12%. A nivel de ingenieros también hay reducciones significativas.

Los costos de operación C1 de Radomiro Tomic están proyectados (Wood Mackenzie, 2013) en el segundo cuartil de costos (2014) al comenzar la operación hipógena (Goldman Sachs, 2014), mientras los costos de Chuquicamata Subterráneo estarían en el primer cuartil de costos (2014) al terminar el “ramp up”. El Teniente Nuevo Nivel Mina estaría en la parte inferior del primer cuartil de costos (2014) al terminar el ramp up.

En otros proyectos la información es disímil. Por ejemplo, Quebrada Blanca hipógenos estaría situado en el segmento inferior del tercer cuartil de costos (2014) (Wood Mackenzie, 2013), mientras Escondida tanto en concentrados como en cátodos estaría en el primer cuartil de costos (2014) en 2016 (BHP Billiton, 2014) tras haber iniciado el funcionamiento de la nueva concentradora OGP1.

En productividad se espera que todos los proyectos hipógenos tengan productividades iniciales de cerca de 100 toneladas de cátodo por trabajador, elevando la productividad media de la minería del cobre chilena la que era de 48 toneladas de cátodo por trabajador en 2013 (CIEM, 2015). La focalización en la maximización de la producción por parte de las empresas durante el superciclo, significó la reducción de la productividad desde un máximo de 79 toneladas de cátodo por trabajador en 1999 al valor citado para 2013.

5.6- Impacto en el desarrollo del país

En este escenario total la producción minera de cobre crecería a una tasa de 4,7% anual promedio entre 2014 y 2025 y a una tasa de 1,0% entre 2014 y 2035. Como valor de referencia el crecimiento económico promedio del país entre 2003 y 2013 fue 4,4%, por lo que una cifra de 4% promedio para los próximos 10 años es más que optimista debido a la reducción del ritmo de crecimiento que experimentan los países al incrementar su PIB per cápita (OECD, 2013).

De ahí que en un escenario total la minería crecería más rápido que el conjunto de la economía hasta 2025, continuando como motor económico del país. Por ello el aporte al ingreso fiscal se elevaría nuevamente, sin llegar a ser sin embargo, lo que fue en 2006, 2007 y 2011. Es poco probable que la minería genere excedentes importantes para los dos fondos soberanos creados en 2006, el Fondo de Estabilización Económico Social (FEES) y el Fondo de Reserva de Pensiones (FRP).

Entre 2026 y 2035 la minería reduciría su producción en forma significativa de acuerdo a lo que se conoce en la actualidad, según lo indica la Figura 5.1.

Por otra parte la inversión desde 2015 a 2025 sería muy importante, superior a la indicada por el último estudio de Cochilco, ya que en este no se consideran todos los proyectos de cobre incluidos en este estudio. Como referencia la inversión en minería del cobre materializada entre 2004 y 2013 fue de 60,1 mil millones de dólares 2013, sin que ello significara aumentar la producción de cobre.

La inversión requerida para lograr este escenario total debe considerar también las nuevas centrales de energía, infraestructura, plantas de desalinización, y conductos e impulsión de agua desde el mar.

En un escenario más realista los proyectos señalados en la Tabla 3.1 se desarrollarían más pausadamente. En este caso el aporte porcentual de la minería al PIB se reduciría con respecto a lo que era en 2014 y contribuiría menos al crecimiento económico entendido como crecimiento del PIB/cápita.

Debido al tamaño que ha adquirido la minería, incluso con un crecimiento más pausado que el del escenario total, esta seguiría influenciando cerca de un quinto del PIB del país mediante la producción e inversión minera, y el efecto directo e indirecto que estas generan.

Los aportes de la minería chilena en el futuro, en prácticamente cualquier escenario serían: 1) proporcionar los empleos de mejor calidad del país mejorando, con ello, la distribución del ingreso, como se comprueba en las regiones mineras. 2) formación avanzada de recursos humanos técnicos y profesionales. 3) robustecer el cluster minero actual hasta constituirlo en un sector exportador relevante del país. La minería ya lidera en innovación. 4) exportar al resto del país el modelo inclusivo de respeto a la meritocracia, proveniente de culturas menos discriminadora⁹ que la chilena. 5) seguir aportando a los ingresos fiscales y a las exportaciones

6- Conclusiones

El escenario total desarrollado se basa en la explotación acelerada de todas las reservas y parte de los recursos de cobre chileno en los próximos 10 años para generar producción de cobre de mina.

Se consideró un crecimiento rápido de la producción de cobre hasta 2025 y un decrecimiento de la producción desde entonces a 2035. Lograr la meta de producción máxima en 2025 tiene probabilidad casi nula, mientras que si el crecimiento de la producción fuese más pausado¹⁰ la probabilidad de ocurrencia de este escenario aumenta considerablemente, pero el máximo de producción se alcanza después de 2025 y es menor al máximo obtenido en la explotación acelerada.

En el escenario total se estima que la máxima producción de cobre fino que podría producirse en 2025 es 9,54 millones de toneladas de cobre, lo que representa un aumento de 65% respecto a la producción de 2014. El trabajo identificó oportunidades y desafíos que emergen para el país a partir de dicho crecimiento y no tuvo como

⁹ Discriminación social, política, económica, étnica.

¹⁰ Este escenario de aumento de la explotación ya no es el "total" sino "pausado".

objetivo analizar las consecuencias que tendría la materialización de dicho escenario en el mercado del cobre.

En este escenario total el crecimiento de la producción sería mayor en la Región de Atacama, seguida de la macrozona centro sur, mientras que las regiones de Tarapacá y Antofagasta (I y II) reducirían su aporte relativo a la producción nacional, según lo indica la Figura 4.5.

La minería subterránea, que representaba cerca de un 10% de la producción nacional en 2014, ganaría terreno lentamente llegando a 15% en 2025 y a 24% en 2035. Ello ocurriría, en este escenario, no solo porque se integraría Chuquicamata subterránea a la producción en la próxima década sino porque Andina iría transitando cada vez mas a minería subterránea desde fines de la próxima década y Teniente expandiría su capacidad.

El escenario desarrollado no considera algunos yacimientos sobre los que no se contaba con información, específicamente los hipógenos Mantoverde y Antucoya. Tampoco se consideró una expansión de Los Bronces o un inicio de nuevos yacimientos contiguos. Por ello sería posible que el potencial productivo del país subiera a más de 10 millones de toneladas de cobre fino por año.

Se observa que después de 2025 la producción se reduciría debido al descenso de las leyes de cobre y al agotamiento de las reservas conocidas en los diversos yacimientos, en particular las de óxidos, y este escenario no asignó nuevas expansiones posteriores de plantas concentradoras. En el caso que las inversiones se desarrollaran mas escalonadamente el efecto sería reducir la cifra máxima de 9,54 millones de toneladas anuales que podría lograrse.

En las proyecciones de producción de largo plazo es prácticamente inevitable observar el efecto de la “montaña” que se muestra en las Figuras 4.1 a 4.4 y 5.2, que consiste en llegar a una cima productiva para comenzar a bajar posteriormente. Ello se debe a la falta de conocimiento en el largo plazo sobre las reservas, recursos, nuevos hallazgos, tecnologías y condiciones de mercado.

Este escenario consideró las tecnologías actualmente aplicadas en la minería del cobre, y desde esta perspectiva es conservador. Por ejemplo, no consideró una forma de explotación con nuevos métodos de lixiviación que fuesen eficientes para el mineral primario. De desarrollarse un proceso de esta naturaleza sería muy importante para la rentabilidad de operaciones hipógenas cuyos óxidos se terminaron y que tienen disponible instalaciones de extracción por solventes y electro obtención que quedarían, de otra forma, no usadas una vez que se agoten la mayor parte de los óxidos, entre 2015 y 2025.

Respecto a las fundiciones de cobre, Chile debería examinar a fondo la posibilidad de hacer competitivas y ambientalmente aceptables sus fundiciones actuales porque se estima que cerrarlas no es una opción viable económicamente para la

minería chilena del cobre. Con ello se está afirmando que la mayor parte de las fundiciones actuales no cumplen con ambas condiciones. Además también debería examinar en profundidad la posibilidad de instalar nuevas fundiciones para así depender menos del predominio Chino, el que ya influye fuertemente en la fijación de cargos de tratamiento. Por último, el desarrollo de tecnologías que permitan manejar el alto nivel de arsénico presente en los minerales es imperativo para la competitividad de las fundiciones.

Tal como se indicó, el mero crecimiento de las minas y de las plantas concentradoras conllevará un incremento de 2,1 veces la energía requerida con respecto a 2014, pero al mismo tiempo la energía requerida para procesos de lixiviación, extracción por solventes y electro obtención se reducirá en 86% con respecto a 2014 debido al cierre de muchas operaciones. En total se requeriría 1,7 veces más energía en 2035 para la minería del cobre, lo que no considera ahorros debido a nuevas tecnologías que sean introducidas, ni la demanda adicional de energía que requerirá la desalinización y transporte de agua de mar a las nuevas minas y a las expansiones de actuales faenas.

La generación de relaves crecerá 3 veces con respecto a 2015, y la tendencia es que se recuperará y reciclará más agua de estos que lo que ocurre en 2015. La competencia por terrenos, aunque estos sean de secano en la macro zona central, es un gran desafío que enfrentará la minería del cobre.

La mayor producción de concentrados también implica mayor uso del agua, y sabemos que esta será necesariamente del mar en las zonas al norte de la Región de Valparaíso. Por ello es doblemente importante trabajar para lograr generación de energía limpia y barata. Ello es posible, pero habría que cambiar algunos de los paradigmas actuales en torno a la generación de energía.

Debido al tamaño que ha adquirido la minería, incluso con un crecimiento más pausado que el del escenario total, esta seguiría influenciando conservadoramente cerca de un quinto del PIB del país mediante la producción e inversión minera, y el efecto directo e indirecto que estas generan.

Además, los aportes de la minería chilena en el futuro, en prácticamente cualquier escenario, serían: 1) proporcionar los empleos directos e indirectos de mejor calidad del país mejorando, con ello, la distribución del ingreso, como se comprueba en las regiones mineras. 2) formación avanzada de recursos humanos técnicos y profesionales. 3) robustecimiento del cluster de servicios a la minería actual hasta constituirlo en un sector exportador relevante del país. La minería tiene posibilidades de hacerlo ya que lidera en innovación en Chile. 4) exportación al resto del país del modelo inclusivo de respeto a la meritocracia, proveniente de

culturas menos discriminadora¹¹ que la chilena. 5) seguir aportando a los ingresos fiscales y a las exportaciones

Por ello no llevar adelante la expansión de la minería en el futuro sería un grave error estratégico para el país, ya que significaría renunciar a enfrentar desafíos cuya potencialidad hoy conocemos y apostar en cambio por escenarios y vías que hoy no conocemos.

7- Referencias

Beltrán, H., 2003. Noranda withdraws Alumysa EIS. BNamericas. Boletín electrónico. Publicado el 21 de agosto de 2003. Disponible en: <http://www.bnamericas.com/en/news/metals/Noranda_withdraws_Alumysa_EIS?idioma=en> (Accesado el 3 de Junio de 2015).

BHP Billiton, 2014. Investor and analyst presentation. 24 de noviembre. Disponible en: <http://www.bhpbilliton.com/home/investors/reports/Documents/2014/141124_InvestorandAnalystPresentation.pdf> (Accesado el 11 de junio de 2013).

Centinela, 2015. Estudio de Impacto Ambiental "Desarrollo Minera Centinela". Presentado ante el Servicio de Evaluación Ambiental el 29 de mayo. Disponible en: <http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=2130502645> (Accesado el 9 de Junio de 2015).

CIEM. Centro de Investigaciones Estratégicas de Minería UC, 2015. Base de datos. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Cochilco. Comisión Chilena del Cobre, 2012. Inversión en la Minería Chilena. Cartera de Proyectos 2012. DE /04/ 2012. Junio de 2012.

Cochilco. Comisión Chilena del Cobre, 2013. Inversión en la Minería Chilena. Cartera de Proyectos 2013 -2021. DE /08/ 2013. Julio de 2013.

Codelco, 2011. Nuevo Nivel Mina El Teniente. Disponible en: <http://www.codelco.com/nuevo-nivel-mina-el-teniente/prontus_codelco/2011-07-06/130724.html> (Accesado el 11 de Junio de 2015).

Codelco, 2014. Por primera vez en casi una década Codelco logró disminuir costos de producción. Comunicado de prensa del 28 de marzo de 2014. Disponible en: <http://www.codelco.com/por-primera-vez-en-casi-una-decada-codelco-logro-disminuir-costos-de-produccion/prontus_codelco/2014-03-28/134212.html> (Accesado el 3 de Junio de 2015).

¹¹ Discriminación social, política, económica, étnica.

Codelco, 2015a. Codelco anuncia plan de reducción de costos por US\$ 1.000 millones y aumento de producción equivalente a US\$ 200 millones. Comunicado de prensa del 30 de enero de 2015. Disponible en: <http://www.codelco.com/codelco-anuncia-plan-de-reduccion-de-costos-por-us-1-000-millones-y-aumento-de-produccion-equivalente-a-us-200-millones/prontus_codelco/2015-01-30/115138.html> (Accesado el 3 de Junio de 2015).

Codelco, 2015b. División El Teniente proyecta invertir US\$ 485 millones para desarrollar el proyecto Recursos Norte. Comunicado de Prensa del 8 de junio. Disponible en: <https://www.codelco.com/division-el-teniente-proyecta-invertir-us-485-millones-para-desarrollar/prontus_codelco/2015-06-08/170752.html> (Accesado el 11 de Junio de 2015).

Comisión Nacional de Energía (Chile), 2015. Serie de Precio Medio de Mercado de Sistemas Interconectados. Disponible en: <<http://www.cne.cl/tarificacion/electricidad/precios-de-nudo-de-corto-plazo/793-precio-nudo-de-mercado>> (Accesado el 9 de Junio de 2015).

Consejo Minero, 2014. Proyectos de inversión de empresas socias. Catastro del Consejo Minero, octubre de 2014. Santiago de Chile.

Corte Suprema de Chile, 2012. Fallo El Morro, 27 de abril.

Corte Suprema de Chile, 2014a. Fallo El Morro, 8 de octubre.

Corte Suprema de Chile, 2014b. Fallo Tranque de Relaves El Mauro, 21 de octubre.

Deutsche Bank, 2011. ¿Who gets the profits? Market Research, 16 de diciembre.

Diario Financiero, 2015. Codelco: logran acuerdo para extender la operación superficial de Chuqui. Santiago de Chile. Publicado el 24 de marzo de 2015, p.12.

El Mercurio, 2015. El 72% de los CEO de grandes mineras prevé hacer planes de reducción de costos. Santiago de Chile. Publicado el 6 de abril de 2015, p. B10.

EY, 2013. Switching direction. Margin protection and productivity improvements in mining and metals. EYG No AU1886. Disponible en: <[http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Mining-and-Metals-Switching-direction/\\$FILE/EY-Mining-and-Metals-Switching-direction.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Mining-and-Metals-Switching-direction/$FILE/EY-Mining-and-Metals-Switching-direction.pdf)> (Accesado el 9 de Junio de 2015).

Goldman Sachs, 2014. GS Copper 70. Equity Research. 2 de julio, p. 23.

Haynes L., 2015. "Mineras y su reducción de costos". Revista Qué Pasa Minería, Santiago de Chile. Publicado el 13 de abril de 2015, p. 50. Disponible en:

<<http://www.quepasamineria.cl/index.php/galerias/item/3940-mineras-y-su-reducci%C3%B3n-de-costos>> (Accesado el 9 de Junio de 2015).

Henriquez, V., 2003. Alumysa Project Debated. The Santiago Times. Boletín electrónico. Santiago de Chile. Publicado el 22 de agosto de 2003. Disponible en: <<http://santiagotimes.cl/alumysa-project-debated/>> (Accesado el 9 de Junio de 2015).

ICSG. International Copper Study Group, 2015. ICSG World Copper Factbook 2014. Disponible en: <<http://www.icsg.org/index.php/press-releases/finish/170-publications-press-releases/1997-icsg-factbook>> (Accesado el 11 de Junio de 2015).

Ibarra, V., 2015. Hay que tener hartos diazepam para dormir. El plan de desarrollo de Codelco es un esfuerzo sin precedentes. Entrevista a Nelson Pizarro. El Mercurio, Santiago de Chile. Publicación del 4 de enero, pp. B8-B9.

Juzgado de Los Vilos (Chile), 2015. Resolución Tranque El Mauro, 6 de marzo.

Keller, T., 2014. Plan Estratégico de Codelco, Resultados y Desafíos. Presentación, enero.

La Tercera, 2013. Condenan a Celulosa Arauco por desastre natural en Valdivia en 2004. Santiago de Chile. Publicación del 27 de julio de 2013 en versión electrónica. Disponible en: <<http://www.latercera.com/noticia/nacional/2013/07/680-534989-9-condenan-a-celulosa-arauco-por-desastre-natural-en-valdivia-en-2004.shtml>> (Accesado el 9 de Junio de 2015).

Lagos, G., 2013. Minería y Medio Ambiente. El Mercurio, Santiago de Chile. Publicado el 9 de noviembre, p. B16. Disponible en: <http://www.gustavolagos.cl/uploads/1/2/4/2/12428079/clase_ejecutiva_2013-04_-_columna_el_mercurio_-_medio_ambiente_g.lagos.pdf> (Accesado el 9 de Junio de 2015).

Lagos, G., 2014. Incertidumbre en las evaluaciones ambientales. El Mercurio, Santiago de Chile. Publicado el 6 de diciembre, p. B.18. Disponible en: <http://www.gustavolagos.cl/uploads/1/2/4/2/12428079/clase_ejecutiva_2014-08_-_columna_el_mercurio_-_incertidumbre_evaluaciones_ambientales_g.lagos.pdf> (Accesado el 9 de Junio de 2015).

Los Pelambres, 2015. Minera Los Pelambres presenta recurso ante la Corte de Apelaciones de La Serena. Comunicado de prensa del 12 de marzo. Disponible en: <<https://www.pelambres.cl/comunicados/minera-los-pelambres-presenta-recurso-ante-la-corte-de-apelaciones-de-la-serena-697.html>> (Accesado el 9 de Junio de 2015).

Marticorena, J., Zúñiga, P., 2012. Los costos de la minería del cobre chilena se triplican en la última década. La Tercera, Santiago de Chile. Publicación del 2 de diciembre de 2012. Negocios, pp. 8-9.

Ministerio de Medio Ambiente (Chile), 2013. Decreto 28: Establece norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico. Publicado en Diario Oficial de la República de Chile el 12 de diciembre, Cuerpo I, p. 15. Disponible en: <<http://bcn.cl/1m26u>> (Accesado el 9 de Junio de 2015).

OECD, 2013. OECD Economic Surveys: China 2013. OECD Publishing. Marzo. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1787/eco_surveys-chn-2013-en> (Accesado el 11 de junio de 2015).

Orellana, G., 2015. Codelco pospone entrada en operación de tres de sus mayores proyectos de inversión. El Pulso, Santiago de Chile. Publicado el 6 de mayo de 2015, p. 8. Disponible en: <<http://static.pulso.cl/20150505/2111524.pdf>> (Accesado el 11 de Junio de 2015).

Pérez-Cueto, C., 2015. Directorio de Codelco aprueba histórico acuerdo para transición de Chuqui. La Tercera, Santiago de Chile. Publicado el 15 de mayo, p. 38.

Pozo, A., 2014. Cartera de proyectos mineros en ejecución registra brusca caída de 45% en último año. Diario Financiero, Santiago de Chile. Publicación del 13 de diciembre.

Pozo, A., 2015. "Mineras comienzan a recibir beneficios de sus planes de reducción de costos". Diario Financiero, Santiago de Chile. Publicación del 24 de febrero.

Revuelta, J., 2011. Proyecto Nuevo Nivel Mina. Presentación. Noviembre. Codelco.

Villagrán, J., 2012. Informe revela sobreoferta de un 6% para la minería mundial de cobre en 2013. Diario Financiero, Santiago de Chile. Publicación del 13 de noviembre.

Wood Mackenzie, 2013. Base de datos.

World Bank, 2015. Statistical Data: GDP per capita, PPP (constant 2011 international \$). Disponible en: <<http://data.worldbank.org/indicador/NY.GDP.PCAP.PP.KD>> (Accesado el 9 de Junio de 2015).