



Proyección de la producción de cobre en Chile 2021 – 2032

DEPP 32/2021

Resumen Ejecutivo



Resumen ejecutivo

Los resultados obtenidos en la proyección de producción esperada de cobre para el periodo 2021-2032 muestran un crecimiento importante respecto a la producción real de 2020: 21,15%. Esto quiere decir que nuestro país alcanzaría una producción de cobre de 6,95 millones de toneladas al año 2032, a una tasa de crecimiento promedio de 1,6%, con un peak en el año 2028 de 7,62 millones de toneladas.

Lo primero que destaca esta nueva proyección hacia 2032, es que las operaciones actuales disminuirían su producción en un 28,47% respecto a 2020, llegando a 4,1 millones de toneladas de cobre fino. Esto demuestra la necesidad que tiene el sector minero cuprífero nacional de nuevos proyectos, ya que como se ha visto en análisis anteriores, incluso considerando en el perfil productivo aquellas iniciativas que buscan mantener operativas faenas actuales (reposición) o aquellos proyectos que buscan aumentar la capacidad productiva de operaciones activas (expansión), no se logra revertir una reducción de producción, llegando a 5,42 millones de toneladas hacia el 2032, un 5,52% menos que lo alcanzando en 2020. En definitiva, para alcanzar las metas productivas esperadas en el modelamiento de la proyección cuprífera nacional, es necesario que se materialicen todas aquellas iniciativas nuevas de la cartera de inversiones nacional, las que aportarían un 21,15% más de producción hacia el 2032.

Como se ha venido transmitiendo en los últimos 5 años, el cambio de matriz productiva es un hecho importante para el futuro de la producción cuprífera nacional, sobretudo bajo la premisa que no existen actualmente iniciativas públicas o privadas que busquen una forma de utilizar la gran capacidad instalada que se dispone de plantas hidrometalúrgicas. Si bien, esta última versión del informe de proyección esperada de producción de cobre deja entrever una extensión importante de la vida útil de algunas faenas de óxidos, no es suficiente para subsanar la problemática anteriormente descrita. La proyección de producción esperada para el periodo 2021-2032 muestra que la producción hidrometalúrgica pasaría de una participación de 25,6% de la producción total en 2020, 1,47 millones de toneladas, a un 8% hacia 2032 con solo 558.366 toneladas, una caída de 62%, de la mano del cese de operación de 19 plantas hidrometalúrgicas hacia el periodo de cierre de este trabajo, de 32 operativas actualmente.

Por otra parte, la gran cantidad de iniciativas que buscan expandir o extender la vida operacional de faenas de minerales sulfurados o incluso crear nuevas operaciones mineras en la línea de concentrados, impacta positivamente en la producción de concentrados en nuestro país, pero con un trasfondo no menor: gran utilización de agua, la generación de relaves y necesidad de terrenos físicos para la disposición de estos. En definitiva, la producción de concentrados crecerá un 49,7% entre los años 2020 y 2032, pasando de 4,31 millones de toneladas a 6,39 millones de toneladas, todo esto sin aumentos sustanciales en el consumo interno de concentrados en procesos FURE. Cabe destacar que, actualmente, existen 34 operaciones activas a 2020, mientras que para 2032 se espera que de estas solo 19 estén operativas mientras que el resto serán reemplazadas por 3 proyectos de reposición y 16 nuevas iniciativas, totalizando 38 operaciones de producción de concentrados, sin contar a 6 proyectos de expansión de operaciones activas.



Índice



Índice

Resumen ejecutivo	2
Índice	4
Índice de figuras	5
Índice de tablas	5
Introducción	7
1. Análisis nacional de la proyección de producción esperada de cobre fino	9
1.1. Proyección nacional de cobre mina 2021 - 2032	9
1.1.1. Proyección nacional de producción de cobre fino según condición.....	10
1.1.2. Proyección nacional de producción de cobre fino según producto.....	12
1.1.3. Proyección nacional de producción de cobre fino según tipo de proyecto.....	15
1.1.4. Proyección nacional de producción de cobre fino según método de explotación.....	16
2. Análisis regional de la proyección de producción esperada de cobre fino.....	19
2.1. Proyección nacional de cobre mina 2021 - 2032	19
2.1.1. Aporte y estructura productiva futura región de Atacama.....	19
2.1.2. Aporte y estructura productiva futura región de Antofagasta.....	21
2.1.3. Aporte y estructura productiva futura región de Tarapacá.....	22
2.1.4. Aporte y estructura productiva futura región de Coquimbo.....	23
3. Comentarios finales.....	26
Anexo 1: Metodología de proyección de producción esperada	30
3.1. Escenarios de producción.....	30
3.1.1. Cálculo de la variable de producción máxima de cobre fino.....	31
3.1.2. Cálculo de la variable de producción más probable de cobre fino.....	32
3.1.3. Cálculo de la variable de producción mínima de cobre fino.....	34
Anexo 2: Unidades de medida y abreviaciones	36



Índice de figuras

Figura 1: Producción de cobre mina 2020 y proyección periodo 2021 – 2032, a nivel nacional.....	9
Figura 2: Producción de cobre 2020 y proyección esperada 2021 – 2032, según condición.	12
Figura 3: Producción de cobre 2020, proyección esperada 2021 – 2032 vs proyecciones 2020, según producto .	13
Figura 4: Producción de cátodos SxEw y concentrados refinados y sin refinar, histórico y esperado	15
Figura 5: Producción de cobre 2020 y proyección esperada 2021 – 2032, según tipo de proyecto.	16
Figura 6: Producción de cobre 2010 - 2020 y proyección esperada 2021 - 2032, según método de explotación. .	17
Figura 7: Producción regional de cobre 2019 y proyección de producción esperada 2020 – 2031.	19
Figura 8: Aporte productivo de los proyectos según condición en la región de Atacama.....	20
Figura 9: Producción esperada de cobre en la región de Atacama según producto final.	20
Figura 10: Aporte productivo de los proyectos según condición en la región de Antofagasta.	21
Figura 11: Producción esperada de cobre en la región de Antofagasta según producto final.	22
Figura 12: Aporte productivo de los proyectos según condición en la región de Tarapacá.	22
Figura 13: Producción esperada de cobre en la región de Tarapacá según producto final.	23
Figura 14: Aporte productivo de los proyectos según condición en la región de Coquimbo.	23
Figura 18: Producción esperada de cobre en la región de Coquimbo según producto final.	24

Índice de tablas

Tabla 1: Ponderadores determinísticos de producción futura máxima.....	32
Tabla 2: Ponderadores determinísticos de producción futura más probable	33
Tabla 3: Ponderadores determinísticos de producción futura mínima	35



Introducción



Introducción

Este trabajo nace como un subproducto del informe anual de inversiones desarrollado por COCHILCO, bajo la necesidad de obtener una metodología que permitiese identificar el aporte productivo futuro de las iniciativas catastradas, pero incluyendo la condicionalidad de las mismas. Este informe corresponde a la sexta edición formal de la línea de trabajo impulsada en 2015, utilizando como base metodológica la suma de una serie de variables que inciden directamente en la producción de cobre de cada iniciativa catastrada y de cada operación actualmente activa, siendo la variable más determinante la concreción de los proyectos de inversión.

El objetivo principal de esta versión del informe “Proyección de la producción esperada de cobre en Chile” es proyectar la producción de cobre mina de nuestro país en el periodo 2021 – 2032. Esta proyección se basa en una simulación de Montecarlo utilizando los datos de la última cartera de inversiones, donde se identifica la capacidad máxima de producción de cobre mina para los próximos 12 años.

El análisis de este trabajo consta de dos etapas: una revisión de la proyección de cobre a nivel nacional, separada según condición, producto final y según tipo¹, para posteriormente analizar de forma regional las variaciones de producción significativas observadas.

¹ Para mayor información respecto de esta categorización se ruega revisar el documento *Inversión en la minería chilena - Cartera de proyectos 2021 -2030* (Cifuentes, 2021).



Capítulo 1:

Análisis nacional de la proyección de producción esperada de cobre fino



1. Análisis nacional de la proyección de producción esperada de cobre fino

Los productos estratégicos de Cochilco enfocados a temáticas como agua y energía, necesitan de una mirada futura la cual es posible realizarla al contrastar con la inversión futura a materializar en nuestro país. Este capítulo muestra ese análisis mediante una interacción entre la producción máxima proveniente de las operaciones actuales y de los proyectos inversionales futuros, junto con la construcción de vectores mínimos y más probables en base a la metodología destacada al final de este trabajo. Esto permite obtener la proyección esperada de cobre para el próximo decenio.

Inicialmente se compara el resultante con los niveles máximos y mínimos que se consideran posibles en este periodo, y posteriormente, mostrar la proyección de producción categorizada según *condición*, *tipo* de proyecto y *producto*, logrando observar los aportantes más importantes a la producción futura de cobre del país

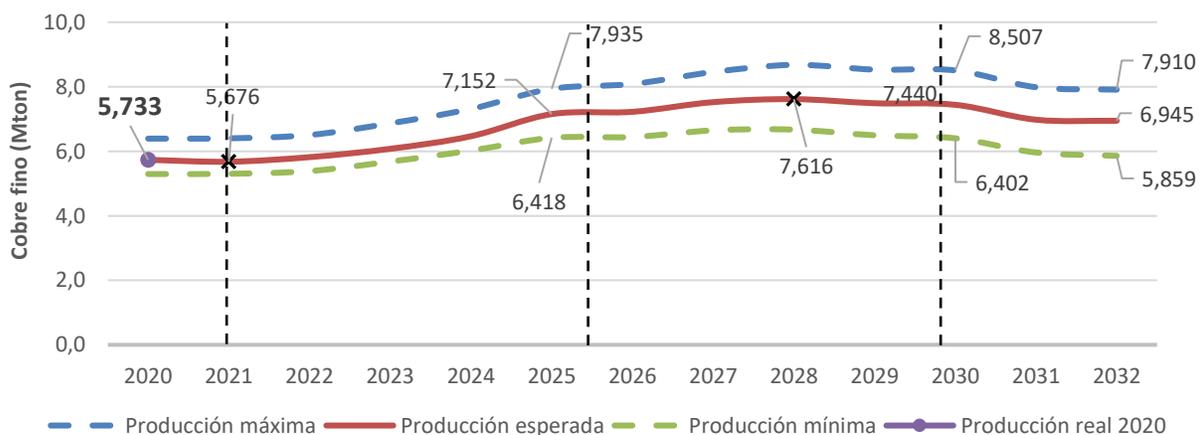
1.1. Proyección nacional de cobre mina 2021 - 2032

Los resultados obtenidos en la proyección de producción esperada de cobre para el periodo 2021-2032 muestran un crecimiento importante respecto a la producción real de 2020: 21,15%. Esto quiere decir que nuestro país alcanzaría una producción de cobre de 6,95 millones de toneladas al año 2032 (punto 1), a una tasa de crecimiento promedio de 1,6%, con un *peak* en el año 2028 de 7,62 millones de toneladas (punto 2) (Figura 1).

Para el caso de la producción máxima, que es aquella producción sin aplicar condicionalidad de las iniciativas y sobre la base que todos los proyectos mineros considerados en esta proyección se materialicen sin cambios en sus puestas en marcha, alcanzaría las 7,9 millones de toneladas de cobre fino en 2032, 38% más que la producción real de 2020, con una tasa de crecimiento anual de 2,7% con respecto al mismo año base y alcanzando un *peak* en el año 2028 de 8,68 millones de toneladas.

Por otro lado, se observa que la producción mínima, correspondiente a la producción de las iniciativas considerados en la cartera pero aplicados los ponderadores determinísticos mínimos, sería un 2,2% mayor hacia el año 2032 con respecto a la producción real 2020, llegando a las 5,86 millones de toneladas de cobre fino.

Figura 1: Producción de cobre mina 2020 y proyección periodo 2021 – 2032, a nivel nacional.



Fuente: Cochilco, 2021.



A través de la gráfica anterior, podemos analizar las variaciones productivas en tres periodos:

- **2021 – 2025:** Se espera una producción de 5,68 millones de toneladas para 2021, con lo cual las pérdidas productivas asociadas a la pandemia y, en cierto modo, arrastradas hacia el presente año ya se reflejan. Por lo mismo se espera que 2022 sea un año de recuperación productiva para el país, alcanzando las 5,82 millones de toneladas, un crecimiento de 2,5% respecto a 2021. El crecimiento de la producción esperada para el periodo completo será a una tasa anual de 5,95% anual, alcanzando hacia el 2025 las 7,15 millones de toneladas de cobre mina, un aumento de 26% con respecto a lo esperado para 2021. Si bien, la proyección del año pasado indicaba como 2022 el año para sobrepasar los 6 millones de toneladas, en esta versión es el 2023, pero el crecimiento de este periodo se estima tan fuerte que es probable superar incluso las 7 millones de toneladas hacia el 2025.
- **2026 – 2030:** Hacia 2026 se observa una producción esperada de 7,22 millones de toneladas de cobre fino. Cabe destacar que, en la versión anterior, este sería el año donde se rompería la barrera de las 7 millones de toneladas, cosa que para esta versión fue un año antes. Este crecimiento fuerte observado en el quinquenio posterior hace que el periodo de análisis sea de crecimiento más moderado, a una tasa de 0.75% anual, alcanzando los 7,44 millones de toneladas hacia el 2030, un crecimiento de 3% con respecto a la producción esperada para 2026. En este periodo, específicamente durante 2028, se alcanzaría el máximo productivo de 7,62 millones de toneladas.
- **2031 – 2032:** El año 2031 mostraría indicios de una pérdida productiva importante, llegando a niveles inferiores a las 7 millones de toneladas. Esto se debe a alrededor de 34 operaciones, tanto de sulfuros como de óxidos, particularmente estas últimas que caen 62% respecto 2021, que cerrarán durante el periodo analizado, sin expectativas de proyectos de reposición que les permitan su continuidad. 2031 alcanzaría una producción esperada de 6,98 millones de toneladas, mientras que para el cierre del periodo de análisis se espera una producción de 6,95 millones de toneladas.

En los siguientes subcapítulos se analizarán estos resultados según condición, producto y tipo de proyecto.

1.1.1. Proyección nacional de producción de cobre fino según condición.

La condicionalidad de la inversión es una característica asignada en base a la asociación e interacción de diversas variables que afectan el desarrollo de los proyectos inversionales². Ésta caracterización permite dar una estimación un poco más certera sobre la probabilidad de materialización de las iniciativas en los plazos establecidos por los propietarios de estos proyectos y sus respectivos equipos de ingeniería.

En el caso de los proyectos y operaciones pertenecientes a la condición *base*, durante el periodo 2021-2032, podrían ver afectada su producción de cobre fino en 9,2% a una tasa de 0,87%, para llegar a 5,15 millones de toneladas hacia el cierre del periodo de análisis, con un máximo productivo esperado para el 2025 con 6,72 millones de toneladas. Si consideramos las iniciativas en condición *probable*, la producción crecería a una tasa de 0,44% hasta alcanzar una producción hacia el 2032 de 5,96 millones de toneladas, 4,9% más que la producción

² Informe *Inversión en la minería chilena - Cartera de proyectos 2021--2030 (Cochilco, 2021)*.

esperada para 2021, con un máximo de 7,03 millones de toneladas hacia el 2027. El mínimo a producir en este y los siguientes perfiles a analizar es la producción esperada para el presente año.

El análisis por periodos de los proyectos con mayor probabilidad de materializarse, que es la suma de los proyectos base y probables, es el siguiente:

- **2021 – 2025:** De una producción esperada de 5,68 millones de toneladas para 2021, hacia 2025 los proyectos base alcanzarían una producción de 6,72 millones de toneladas, un aumento 18,5% en el periodo. Si consideramos la producción esperada proveniente de aquellas iniciativas en condición *probable*, la producción crecería 22,7%, alcanzando las 6,96 millones de toneladas hacia el 2025, a una tasa de crecimiento de 5,24%.
- **2026 – 2030:** Periodo caracterizado por una caída de la producción esperada de los proyectos en condición *base y probable*, relacionado al cierre de 19 líneas hidrometalúrgicas en el periodo. La producción esperada en conjunto de los proyectos *con mayor probabilidad de materializarse* pasaría de 6,9 millones de toneladas en 2026 a 6,53 millones de toneladas hacia 2030, una caída de 5,4%. Durante 2027 se alcanzaría el máximo productivo de los proyectos en condiciones *base y probable*: 7,03 millones de toneladas.
- **2031 – 2032:** En este periodo, la producción de los proyectos base y probable cae bajo las 7 millones de toneladas alcanzadas en los periodos anteriores. Es así como, pasaría de 6,08 millones de toneladas esperadas para 2031 a 5,96 millones de toneladas el 2032.

Como se observa del análisis anterior, la producción cuprífera nacional necesita de iniciativas para poder mantener el crecimiento observado en el primer quinquenio. Esto hace necesario incluir en los perfiles productivos aquellas iniciativas en condición *posible*, lo que hace aumentar la producción esperada en 15,16% para el periodo de análisis, casi cuatro veces el crecimiento de 3,87% analizado anteriormente, llegando a 6,6 millones de toneladas hacia el 2032, correspondiente a una tasa de crecimiento anual de 1,18%. Si bien el incluir este perfil asegura un crecimiento importante, es necesario considerar aquellos proyectos en condición *potencial*, lo que impulsaría la producción esperada hacia el 2032 en un 21,15% con respecto a 2020, alcanzando las 6,945 millones de toneladas, un crecimiento productivo anual de 1,61%, donde la producción máxima se alcanzaría hacia el 2028 con 7,62 millones de toneladas.

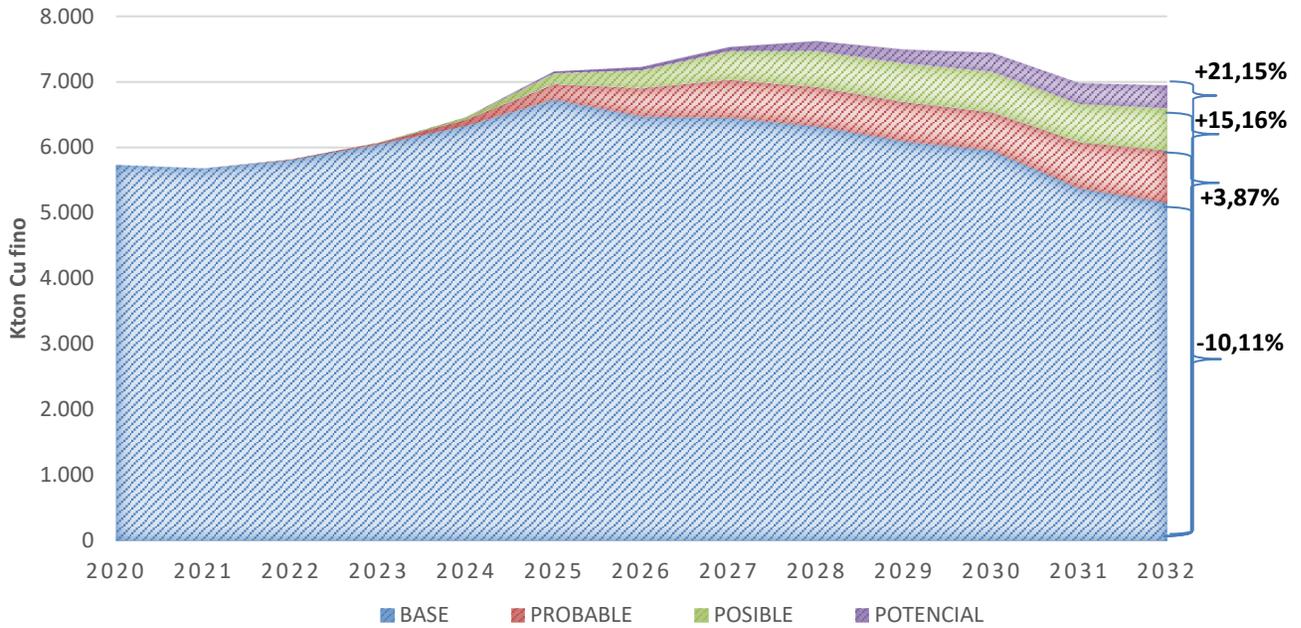
Para analizar de mejor manera como la inclusión de aquellos proyectos con menor probabilidad de materializarse en los tiempos definidos por las compañías afecta el perfil productivo anterior, lo haremos por periodos:

- **2021 – 2025:** El impulso productivo al añadir las iniciativas en condición *posible + potencial* no cambia mucho respecto si se incluyeran solo los proyectos *posible*, ya que este último caso aumentaría la producción en un 25,6% mientras que al incluir las iniciativas *potenciales* crecería un 26%. En definitiva, en este periodo la producción pasaría de 5,68 millones de toneladas en 2021 a 7,15 millones de toneladas hacia 2025, un crecimiento anual de 5,95%.
- **2026 – 2030:** Si en el escenario anterior (proyectos *base + probable*) se observaba un periodo negativo en crecimiento productivo, la inclusión de las iniciativas en condición *posible + potencial* podría subsanar la pérdida productiva. Es así como la producción hacia el 2030 podría alcanzar las 7,44 millones de toneladas, un crecimiento de 3,01% respecto a 2026, muy lejos de lo esperado en el escenario anterior (caída de

0,28%). Por otra parte, este periodo es donde se alcanzaría la máxima producción de 7,62 millones de toneladas en el año 2028.

- **2031 – 2032:** Este periodo, al igual que años anteriores, muestra ajuste productivo a la baja de 0,47% entre 2031 y 2032, incluyendo los proyectos en condición *posible + potencial* al perfil anterior. Al cierre del periodo de análisis, la producción nacional alcanzaría las 6,95 millones de toneladas de cobre fino.

Figura 2: Producción de cobre 2020 y proyección esperada 2021 – 2032, según condición.



Fuente: Cochilco, 2021.

1.1.2. Proyección nacional de producción de cobre fino según producto.

Como se ha venido transmitiendo en los últimos 5 años, el cambio de matriz productiva es un hecho importante para el futuro de la producción cuprífera nacional, sobretudo bajo la premisa que no existen actualmente iniciativas públicas o privadas que busquen una forma de utilizar la gran capacidad instalada que se dispone de plantas hidrometalúrgicas. Si bien, esta última versión del informe de proyección esperada de producción de cobre deja entrever una extensión importante de la vida útil de algunas faenas de óxidos, no es suficiente para subsanar la problemática anteriormente descrita. La proyección de producción esperada para el periodo 2021-2032 muestra que la producción hidrometalúrgica pasaría de una participación de 25,6% de la producción total en 2020, 1,47 millones de toneladas, a un 8% hacia 2032 con solo 558.366 toneladas, una caída de 62% (Figura 3).

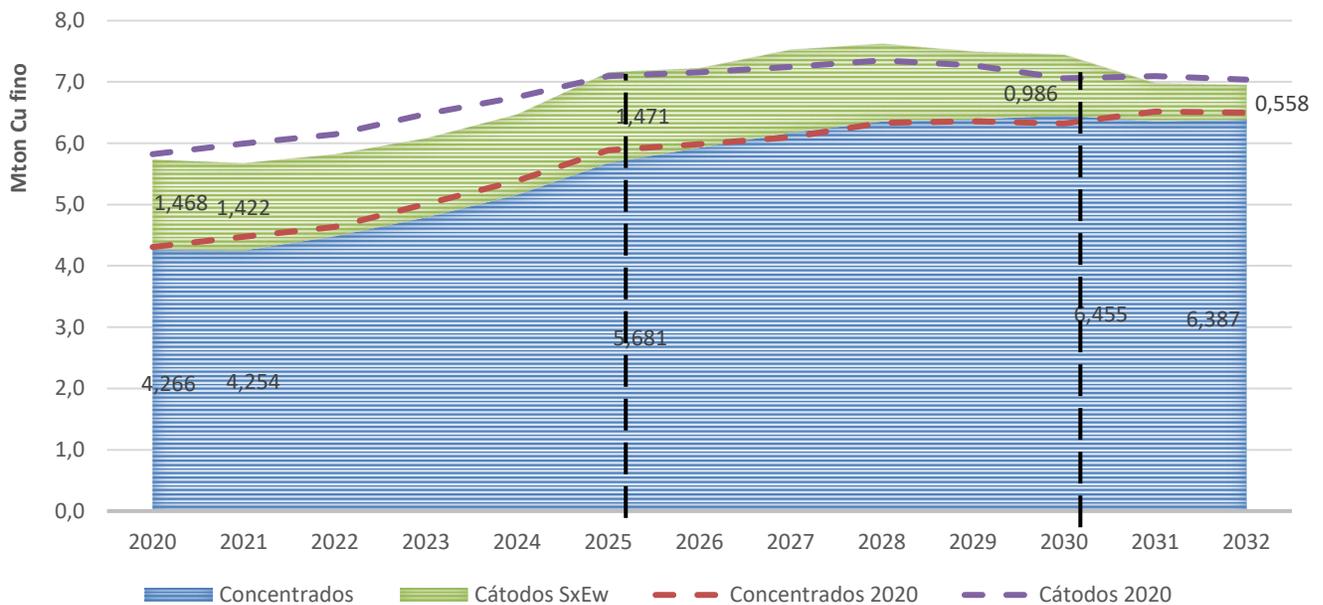
De las actuales 34 operaciones hidrometalúrgicas activas, hacia el 2032 solo quedarán 15 operativas, 6 pertenecientes a la gran minería más las 6 operaciones de Enami y 2 operaciones de mediana minería. Las únicas nuevas iniciativas operativas para ese entonces serán Rajo Inca (2022-2035), Polo Sur (2026-2037), Diego de Almagro óxidos (2023-2035), Costa Fuego óxidos (Ex Productora óxidos, 2025-2032), Marimaca (2025-2036), la reapertura de Iván-Zar (2022-2035), Planta NORA (Ex Berta, 2022-2032) y Playa Verde (2024-2032).



Por otra parte, la gran cantidad de iniciativas que buscan expandir o extender la vida operacional de faenas de minerales sulfurados o incluso crear nuevas operaciones mineras en la línea de concentrados, impacta positivamente en la producción de concentrados en nuestro país, pero con un trasfondo no menor: gran utilización de agua, la generación de relaves y necesidad de terrenos físicos para la disposición de estos. En definitiva, la producción de concentrados crecerá un 49,7% entre los años 2020 y 2032, pasando de 4,31 millones de toneladas a 6,39 millones de toneladas, todo esto sin aumentos sustanciales en el consumo interno de concentrados en procesos FURE (Figura 3).

Cabe destacar que, actualmente, existen 34 operaciones activas a 2020, mientras que para 2032 se espera que de estas solo 19 estén operativas mientras que el resto serán reemplazadas por 3 proyectos de reposición y 16 nuevas iniciativas, totalizando 38 operaciones de producción de concentrados, sin contar a 6 proyectos de expansión de operaciones activas.

Figura 3: Producción de cobre 2020, proyección esperada 2021 – 2032 vs proyecciones 2020, según producto



Fuente: Cochilco, 2021.

El análisis por periodos arroja los siguientes resultados:

- **2021 – 2025:** La producción esperada de cobre fino en concentrados crecería 26% en el período a una tasa anual de 7,5%, hasta llegar a las 5,68 millones de toneladas hacia el 2025. Proyectos importantes en este periodo que permiten este acelerado crecimiento son Esperanza Sur (2022), Pelambres Ampliación Marginal I o Proyecto INCO (2022), Rajo Inca (2022), Collahuasi Optimización 170 ktpd (2023), QB2 (2023), Diego de Almagro (2023), Arqueros Cobre (2023), Desarrollo Mantoverde (2024), Los Bronces Integrado (2023), Plan de Desarrollo El Teniente (2024), Sierra Gorda Expansión 230 ktpd (2024), Playa Verde (2024), El Espino (2024), Encuentro Sulfuros (2025), Santo Domingo (2024), Collahuasi Mejoramiento Capacidad Productiva 210 ktpd (2025), Optimización y Continuidad Operacional Minera Candelaria (2025), NuevaUnión Fase I (2025) y Costa Fuego (Ex Productora – 2025). Por otro lado, la producción de cátodos



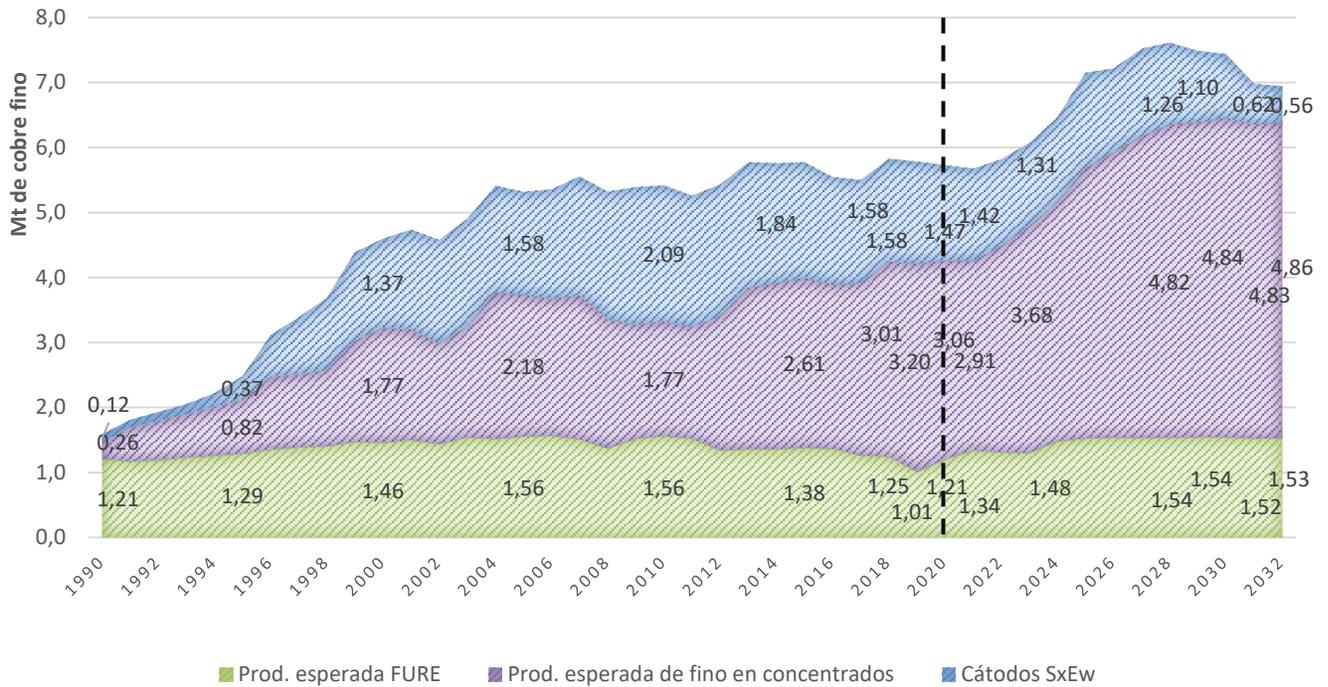
SxEw aumentaría levemente en torno a un 3,4%, para cerrar este quinquenio con una producción esperada de 1,47 millones de toneladas. Este periodo aún no vería afectada la producción hidrometalúrgica debido, particularmente, a la extensión de operaciones como Franke (2022 a 2024) y la planta Hidrosur de Chuquicamata (2024 a 2025), sumado a la entrada en operación de proyectos menores como la reapertura de Ivan-Zar (2022), Planta NORA (2022), Delirio (2022), Diego de Almagro (2023), la reapertura de Sagasca (2023), la reapertura de la planta hidrometalúrgica de Collahuasi (2024), Playa Verde (2024), Marimaca (2025) y Costa Fuego (Ex Productora – 2025).

- **2026 – 2030:** Se espera que la producción esperada de cobre fino en concentrados crezca a un ritmo más moderado, 8,92% a una tasa anual de 2,16%, para alcanzar las 6,45 millones de toneladas de cobre fino, impulsada por el ingreso de proyectos importantes para el decenio en análisis como por ejemplo el proyecto Pelambres Futuro I (2026), RT Sulfuros Fase 2 (2027), la Concentradora El Abra (2028) y NuevaUnión Fase 2 y 3 (2028 y 2030, respectivamente). Por el contrario, en este periodo vemos una caída abrupta de la producción de cátodos SxEw, un 24% hacia el 2030 respecto de lo esperado para 2026, llegando a una producción esperada de 986 mil toneladas, producto del cierre de las líneas hidrometalúrgicas de Spence (2026), Pucobre (2028), Tres Valles (2028), Lomas Bayas (2029), Mantoverde (2030), Radomiro Tomic (2030), Gabriela Mistral (2030), El Abra (2030), Mantos de la Luna (2030) y las recientemente reabiertas Michilla (2030), Sagasca (2030) y Collahuasi SxEw (2030).
- **2031 – 2032:** La producción esperada de concentrados se mantiene estable y crece solo un 0,46% entre estos dos años, cerrando el periodo de análisis con 6,39 millones de toneladas. Por su parte, la producción hidrometalúrgica, cae 9,95% entre estos dos años llegando a una producción esperada de 558,4 mil toneladas de cobre fino en cátodos SxEw, equivalentes aproximadamente a una quinta parte de la capacidad hidrometalúrgica instalada actualmente.

Como se viene observando hace algunos años, sumado al complejo escenario para la producción hidrometalúrgica observado en el análisis anterior, el incremento en producción de minerales sulfurados no necesariamente se traduciría en aumento de producción de FURE en nuestro país, Figura 4, ya que la producción de concentrados sin refinar en nuestro país pasará desde un 53,4% de participación en la producción total esperada de cobre fino en 2020 a un 70% hacia 2032, pasando de exportar alrededor de 2,6 millones de toneladas cobre fino en concentrados como promedio de los últimos diez años, en torno a las 9,6 millones de toneladas métricas secas de concentrados, a alrededor de 4,86 millones de toneladas de cobre fino hacia 2032, aproximadamente 17,98 millones de toneladas métricas secas de concentrados.



Figura 4: Producción de cátodos SxEw y concentrados refinados y sin refinar, histórico y esperado



Fuente: Cochilco, 2021.

El aumento de la producción esperada de concentrados se espera alcance el 49,7% hacia 2032, respecto 2020, lo que viene de la mano con un aumento importante del procesamiento de minerales sulfurados en plantas concentradoras, que se espera pase de las 692,5 millones de toneladas en 2020 a 1.046 millones de toneladas hacia 2032, que corresponde a un crecimiento de 51,1%.

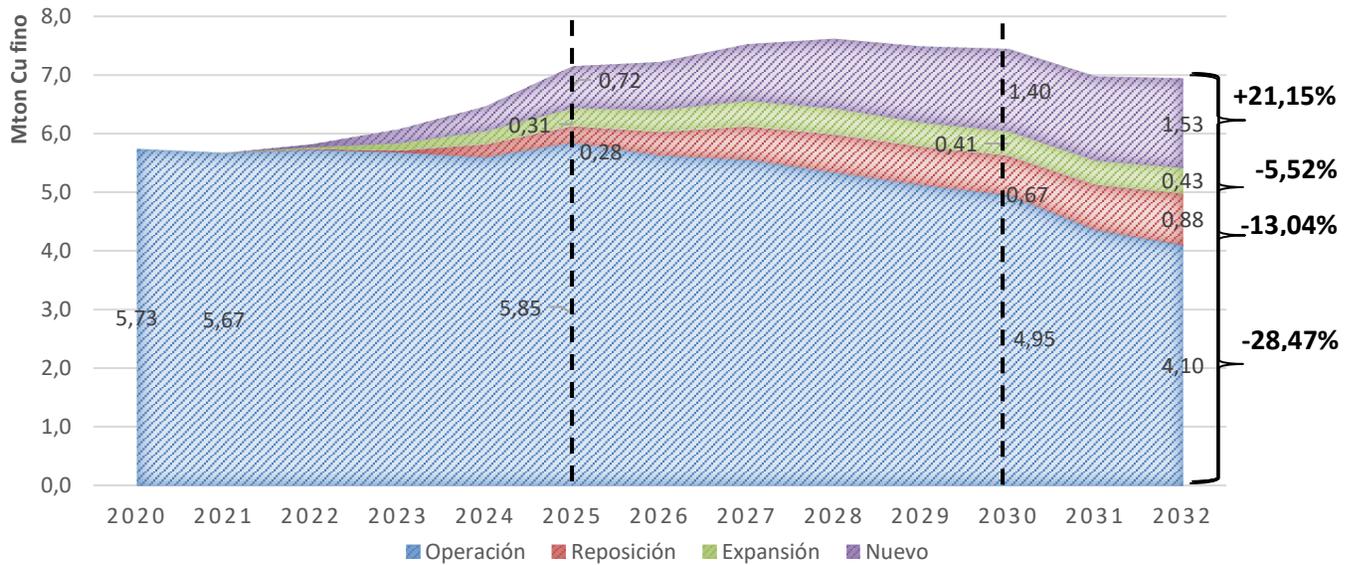
1.1.3. Proyección nacional de producción de cobre fino según tipo de proyecto.

Es importante conocer como impactan en el perfil futuro de producción esperada no solo las operaciones activas y los proyectos de reposición y de expansión de faenas operativas, sino también aquellos proyectos tipo *greenfield* o nuevos, incluyendo aquellos que cambian su forma de extracción de forma completa. Este análisis, que se desarrollará en este subcapítulo, permite entender de donde provendría la nueva producción del país, y así, sin dejar por ningún motivo de lado las exigencias provenientes de la normativa vigente, cuantificar y desarrollar políticas públicas efectivas que permitan asegurar la materialización de dichos proyectos.

Lo primero que destaca es que, hacia 2032, las operaciones actuales disminuyen su producción en un 28,47%, a una tasa de decrecimiento de 2,75% con respecto a 2020, llegando a 4,1 millones de toneladas de cobre fino. Esto demuestra la necesidad que tiene el sector minero cuprífero nacional de nuevos proyectos, ya que como se ha visto en análisis anteriores, incluso considerando en el perfil productivo aquellas iniciativas que buscan mantener operativas faenas actuales (reposición) o aquellos proyectos que buscan aumentar la capacidad productiva de operaciones activas (expansión), no se logra revertir una reducción de producción, llegando a 5,42 millones de toneladas hacia el 2032, un 5,52% menos que lo alcanzando en 2020.



Figura 5: Producción de cobre 2020 y proyección esperada 2021 – 2032, según tipo de proyecto.



Fuente: Cochilco, 2021.

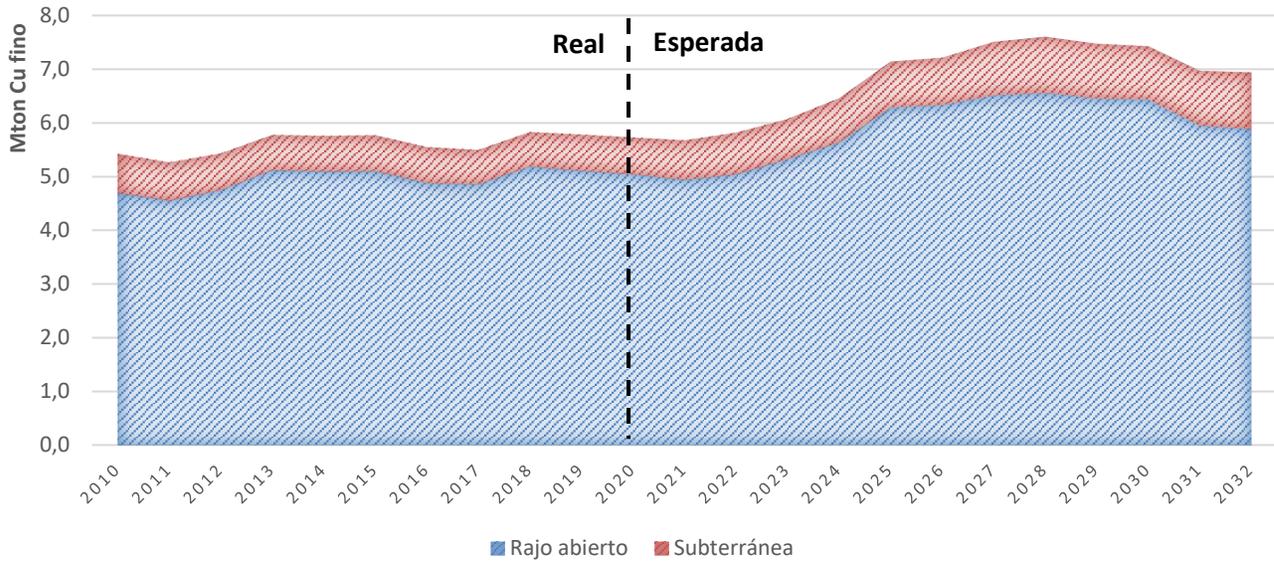
El resultado del análisis final muestra que, para alcanzar las metas productivas esperadas en el modelamiento de la proyección cuprífera nacional, es necesario que se materialicen todas aquellas iniciativas nuevas de la cartera de inversiones nacional, las que aportarían un 21,15% más de producción hacia el 2032.

1.1.4. Proyección nacional de producción de cobre fino según método de explotación.

Las expectativas de un aumento de yacimientos extraídos mediante minería subterránea no son auspiciosas en esta proyección de producción esperada. Si bien Chile ha avanzado enormemente en investigación y desarrollo de tecnologías de automatización y mejoramiento de la extracción de minerales mediante métodos subterráneos, en los próximos 13 años no habrá cambios sustanciales en la producción proveniente de este método extractivo (Figura 6).



Figura 6: Producción de cobre 2010 - 2020 y proyección esperada 2021 - 2032, según método de explotación.



Fuente: Cochilco, 2021.

En los últimos 11 años la producción de cobre proveniente de minería a rajo abierto ha crecido un 7,3% al 2020, mientras que la producción proveniente de minas subterráneas que ha caído un 5,1%. Si bien en los próximos 13 años se observa un fuerte crecimiento de la producción proveniente de minería subterránea debido a operaciones como Chuquicamata subterránea o proyectos como proyectos el Plan de Desarrollo El Teniente (Andes Norte, Andesita y Diamante) y Los Bronces Integrado, 52% entre 2020 y 2032, la producción proveniente de rajo abierto mantendrá relativamente estable su participación en la producción nacional, pasando de 87,97% en 2020 a 84,89% en 2032, un poco más de 3 puntos porcentuales menos.



Capítulo 2:

Análisis regional de la proyección de producción esperada de cobre fino



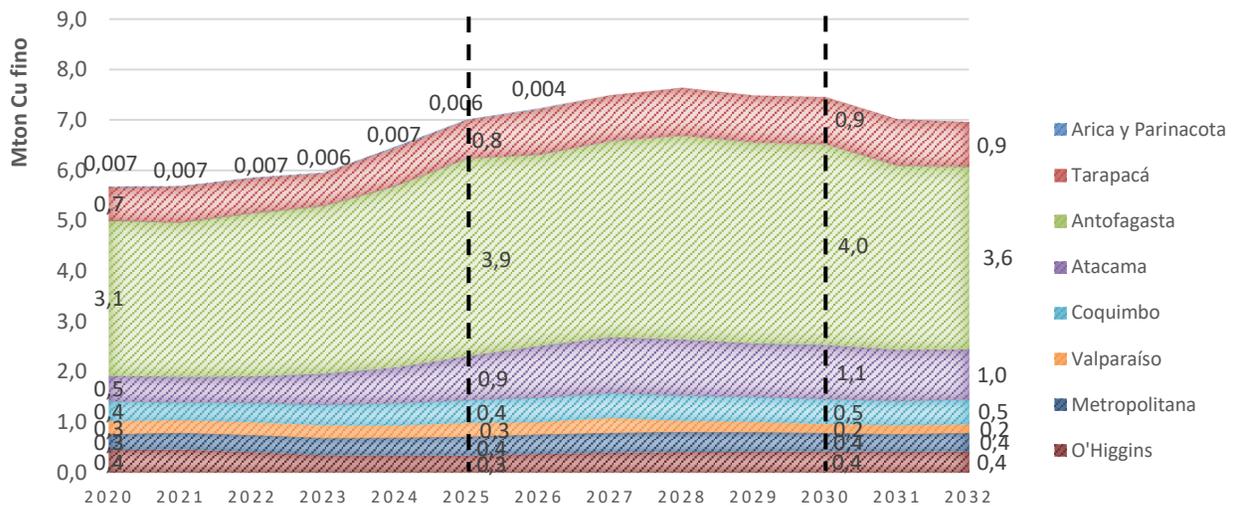
2. Análisis regional de la proyección de producción esperada de cobre fino

Este capítulo pretende dar una mirada regional a las proyecciones de producción de cobre esperadas para el periodo 2021- 2032, focalizando el análisis en aquellas con mayor aporte productivo.

2.1. Proyección nacional de cobre mina 2021 - 2032

Al revisar los perfiles productivos regionales, se observa que el “top 3” de las regiones con mayor crecimiento son Atacama (97,6%), Coquimbo (24,7%) y Tarapacá (22,7%), sin embargo a nivel de aporte productivo, Antofagasta seguirá siendo importante. Debido a esto, es que consideraremos para el análisis regional estas cuatro regiones (Figura 7).

Figura 7: Producción regional de cobre 2019 y proyección de producción esperada 2020 – 2031.



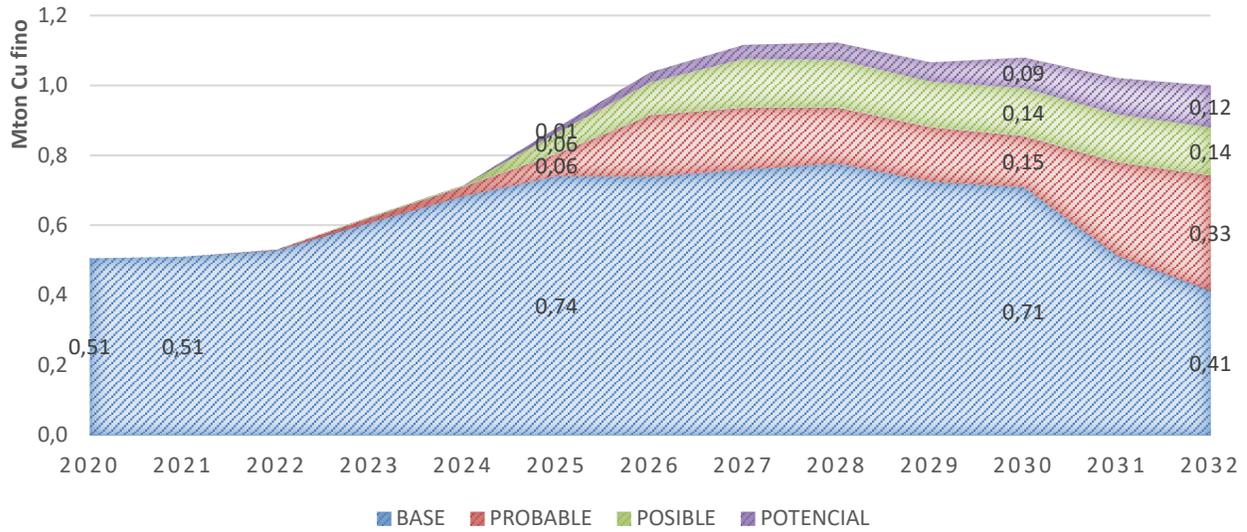
Fuente: Cochilco, 2021.

2.1.1. Aporte y estructura productiva futura región de Atacama

Para la región de Atacama, se observa que el impulso productivo estaría influenciado por aquellas iniciativas en condición *probable* y *posible*, las cuales aportarían un 46,7% de la oferta de la región, alrededor de 466,8 mil toneladas de cobre fino hacia el 2032 (Figura 8).



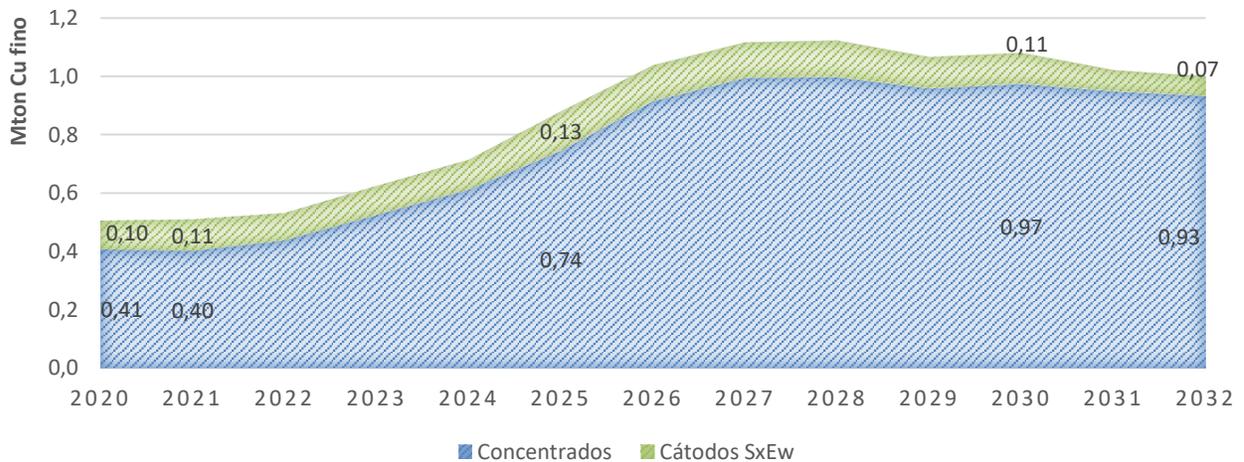
Figura 8: Aporte productivo de los proyectos según condición en la región de Atacama.



Fuente: Cochilco, 2021.

En el caso de las iniciativas en condición *probable* se destacan los proyectos Santo Domingo de Capstone Mining, la Optimización y Continuidad Operacional de Minera Candelaria de Lundin Mining y Diego de Almagro, de la filial minera de COPEC. Por el lado de los proyectos en condición *posible* Nueva Unión I, de propiedad de NewGold-Goldcorp y Teck, será la impulsora de la producción cuprífera en la próxima década.

Figura 9: Producción esperada de cobre en la región de Atacama según producto final.



Fuente: Cochilco, 2021.

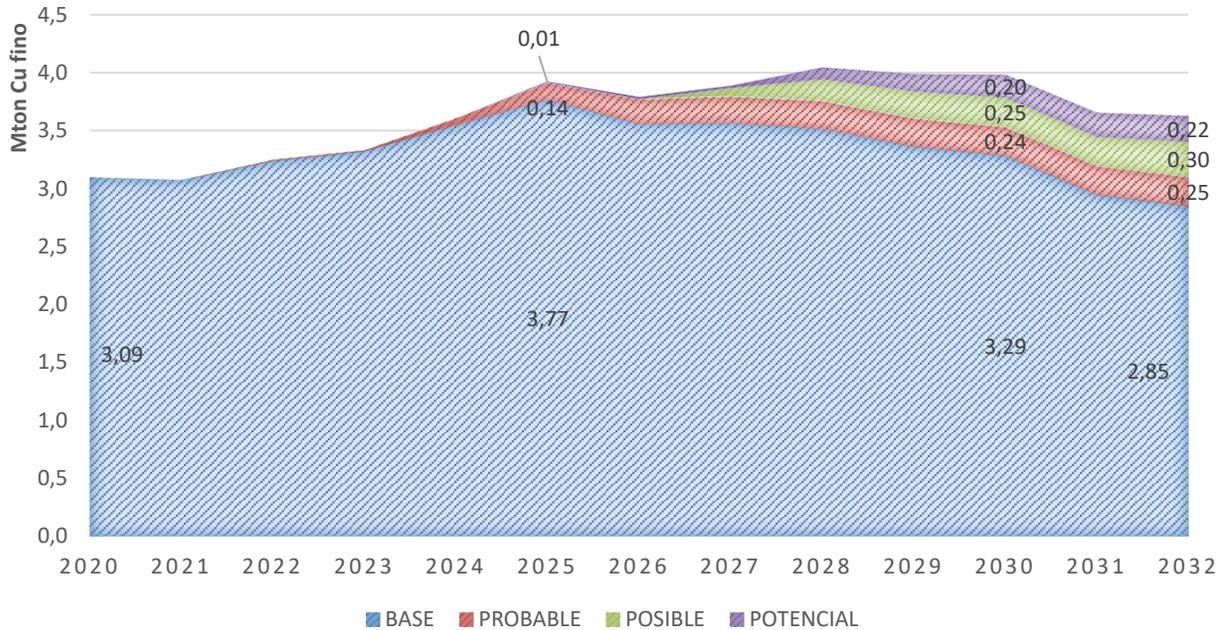
En el caso de la estructura productiva de la región, ésta se mantendrá enfocada en la producción de concentrados, pasando de un 80,5% de participación en 2020 al 93,4% hacia 2032. Este aumento de participación es debido a que la producción de concentrados aumentará en 525,7 mil toneladas, 129,1% más con respecto a 2020, mientras que la producción de cátodos SxEw caerá en 32,3 mil toneladas, una disminución de 32,8% (Figura 9).



2.1.2. Aporte y estructura productiva futura región de Antofagasta.

En esta región, el impulso productivo lo darán aquellos proyectos en condición *probable* y *posible*, los que aportarían un 15,2% de la oferta productiva de la región hacia 2032, equivalente a de 551,3 mil toneladas de cobre fino (Figura 10).

Figura 10: Aporte productivo de los proyectos según condición en la región de Antofagasta.

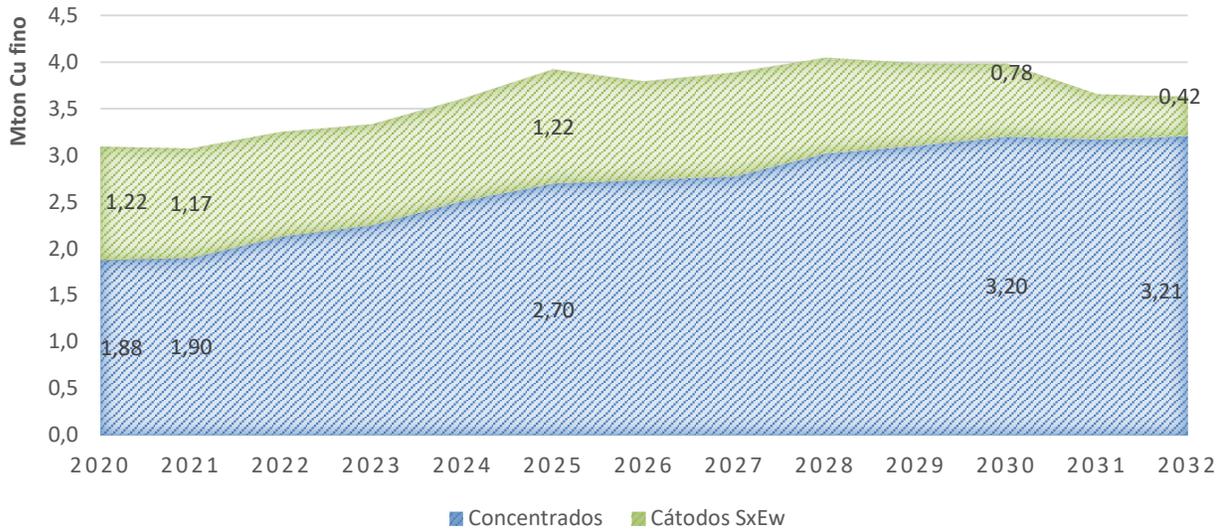


Fuente: Cochilco, 2021.

Con respecto a la estructura productiva esperada, el escenario es similar al resto del país, con una mayor relevancia de la producción de concentrados, pasando de 60,7% de participación en 2020 a 88,4% en 2032, equivalentes a 1,33 millones de toneladas adicionales a la producción de 2020, crecimiento de 70,7%. Por otra parte, la producción de cátodos SxEw pasaría de 39,3% de participación en 2020 a solo un 11,6% al cerrar el periodo de análisis, lo que corresponde a una caída de este tipo de producto de 65,3%, esto quiere decir un poco más de 794 mil toneladas menos de cátodos SxEw. (Figura 11).



Figura 11: Producción esperada de cobre en la región de Antofagasta según producto final.

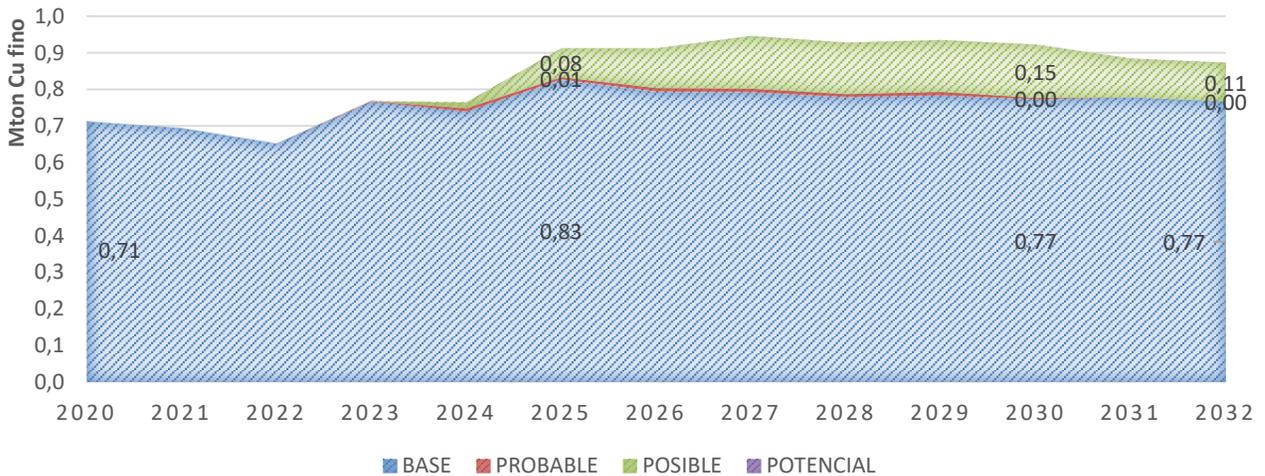


Fuente: Cochilco, 2021.

2.1.3. Aporte y estructura productiva futura región de Tarapacá.

En el caso de la región de Tarapacá, el impulso productivo lo dará Collahuasi con sus proyectos, junto al aporte proveniente de Quebrada Blanca Fase 2, ambos inmersos en la condición *base y posible*. Estos aportarían alrededor de 445 mil toneladas adicionales de producción, equivalente a un 51% de la oferta futura de la región (Figura 12).

Figura 12: Aporte productivo de los proyectos según condición en la región de Tarapacá.



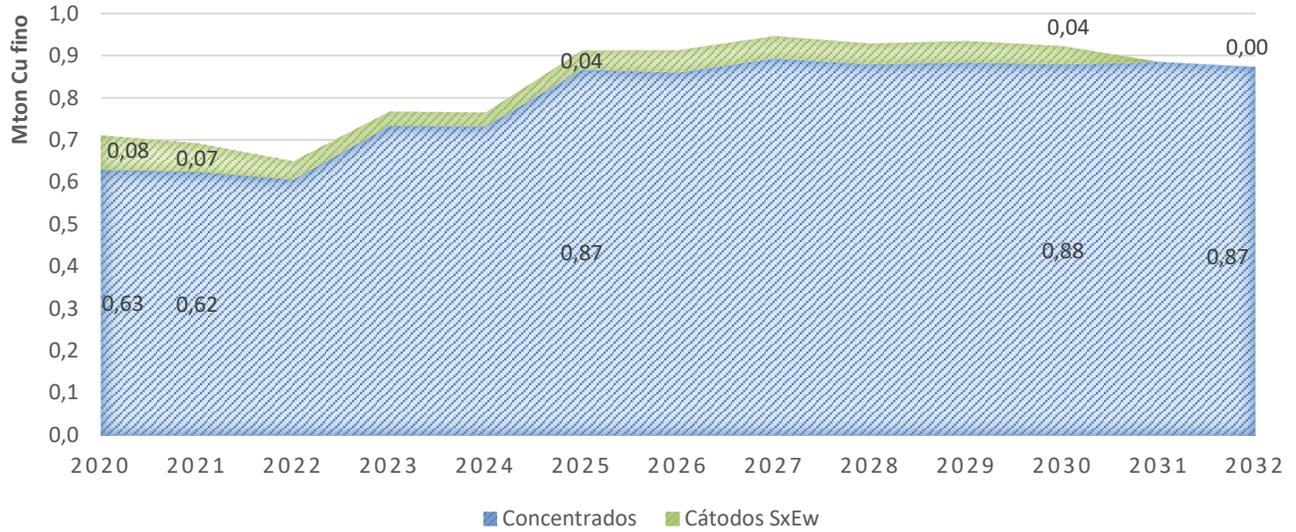
Fuente: Cochilco, 2021.

El cambio en la estructura productiva de esta región es uno de los más marcados, ya que la producción de concentrados pasará de ser responsable de un 88,4% de la producción de la región al 100% de participación hacia



2032, debido a que a esa fecha ni la reactivación de la planta SxEw de Collahuasi estará operativa. En estricto rigor, Tarapacá pasará a ser productora plena de concentrados hacia el cierre del periodo de análisis (Figura 13).

Figura 13: Producción esperada de cobre en la región de Tarapacá según producto final.

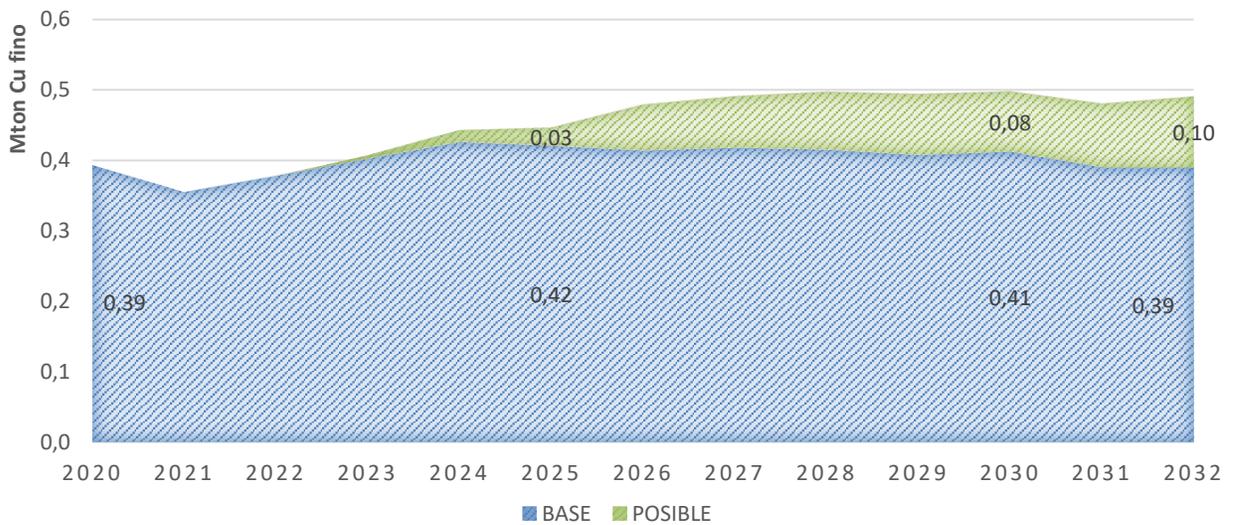


Fuente: Cochilco, 2021.

2.1.4. Aporte y estructura productiva futura región de Coquimbo.

La región de Coquimbo verá un crecimiento importante de la mano de Pelambres Futuro Fase I y los proyectos de mediana minería Arqueros Cobre y El Espino, todas en condición *posible*. Estos serán responsables de un 20,5% de la oferta futura hacia 2032 (Figura 14).

Figura 14: Aporte productivo de los proyectos según condición en la región de Coquimbo.

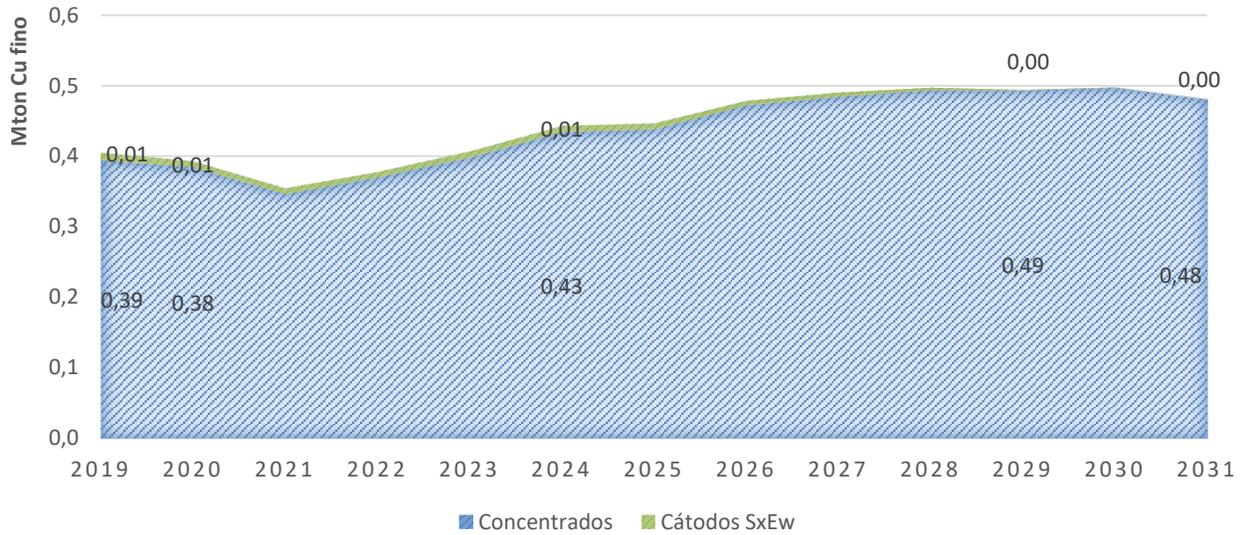


Fuente: Cochilco, 2021.



La estructura productiva de esta región es distinta, ya que la producción SxEw no tiene relevancia importante dentro de la región, por lo cual ésta tenderá a desaparecer hacia el 2032, pasando de 8,6 mil toneladas en 2020 a 586 toneladas hacia el cierre del periodo en análisis (Figura 15).

Figura 15: Producción esperada de cobre en la región de Coquimbo según producto final.



Fuente: Cochilco, 2021.



Capítulo 3: Comentarios finales



3. Comentarios finales

Los resultados obtenidos en la proyección de producción esperada de cobre para el periodo 2021-2032 muestran un crecimiento importante respecto a la producción real de 2020: 21,15%. Esto quiere decir que nuestro país alcanzaría una producción de cobre de 6,95 millones de toneladas al año 2032, a una tasa de crecimiento promedio de 1,6%, con un peak en el año 2028 de 7,62 millones de toneladas.

Para el caso de la producción máxima, que es aquella producción sin aplicar condicionalidad de las iniciativas y sobre la base que todos los proyectos mineros considerados en esta proyección se materialicen sin cambios en sus puestas en marcha, alcanzaría las 7,9 millones de toneladas de cobre fino en 2032, 38% más que la producción real de 2020, con una tasa de crecimiento anual de 2,7% con respecto al mismo año base y alcanzando un peak en el año 2028 de 8,68 millones de toneladas.

Por otro lado, se observa que la producción mínima, correspondiente a la producción de las iniciativas considerados en la cartera pero aplicados los ponderadores determinísticos mínimos, sería un 2,2% mayor hacia el año 2032 con respecto a la producción real 2020, llegando a las 5,86 millones de toneladas de cobre fino. Cabe destacar que esta actualización muestra un cierto desplazamiento en las producciones esperadas, influenciado por los efectos de la pandemia en las operaciones actuales y en el desarrollo de proyectos en construcción actual o ad-ports de entrar en operación.

Si bien, esta última versión del informe de proyección esperada de producción de cobre deja entrever una extensión importante de la vida útil de algunas faenas de óxidos, no es suficiente para subsanar la problemática presentada en versiones anteriores de este trabajo: el cambio de matriz productiva es un hecho, sin iniciativas públicas o privadas que busquen una forma de utilizar la gran capacidad instalada que se dispone de plantas hidrometalúrgicas.

- Sobre la proyección nacional de producción esperada de cobre fino según condición.

En el caso de los proyectos y operaciones pertenecientes a la condición *base*, durante el periodo 2021-2032, podrían ver afectada su producción de cobre fino en 9,2% a una tasa de 0,87%, para llegar a 5,15 millones de toneladas hacia el cierre del periodo de análisis, con un máximo productivo esperado para el 2025 con 6,72 millones de toneladas. Si consideramos las iniciativas en condición *probable*, la producción crecería a una tasa de 0,44% hasta alcanzar una producción hacia el 2032 de 5,96 millones de toneladas, 4,9% más que la producción esperada para 2021, con un máximo de 7,03 millones de toneladas hacia el 2027. El mínimo a producir en este y los siguientes perfiles a analizar es la producción esperada para el presente año 2021.

La producción cuprífera nacional necesita de nuevas iniciativas para poder mantener el crecimiento observado en los primeros cinco años. Esto hace necesario incluir en los perfiles productivos aquellas iniciativas en condición *posible*, lo que hace aumentar la producción esperada en 15,16% para el periodo de análisis, casi cuatro veces el crecimiento de 3,87% analizado anteriormente, llegando a 6,6 millones de toneladas hacia el 2032, correspondiente a una tasa de crecimiento anual de 1,18%. Si bien el incluir este perfil asegura un crecimiento importante, es necesario considerar aquellos proyectos en condición *potencial*, lo que impulsaría la producción esperada hacia el 2032 en un 21,15% con respecto a 2020, alcanzando las 6,945 millones de toneladas, un

crecimiento productivo anual de 1,61%, donde la producción máxima se alcanzaría hacia el 2028 con 7,62 millones de toneladas.

- **Sobre la proyección nacional de producción esperada de cobre fino según tipo de proyecto.**

Lo primero que se destaca al analizar por tipo de proyecto es que, hacia 2032, las operaciones actuales disminuyen su producción en un 28,47%, a una tasa de decrecimiento de 2,75% con respecto a 2020, llegando a 4,1 millones de toneladas de cobre fino. Esto demuestra la necesidad que tiene el sector minero cuprífero nacional de nuevos proyectos, ya que como se ha visto en análisis anteriores, incluso considerando en el perfil productivo aquellas iniciativas que buscan mantener operativas faenas actuales (reposición) o aquellos proyectos que buscan aumentar la capacidad productiva de operaciones activas (expansión), no se logra revertir una reducción de producción, llegando a 5,42 millones de toneladas hacia el 2032, un 5,52% menos que lo alcanzando en 2020.

El resultado del análisis final muestra que, para alcanzar las metas productivas esperadas en el modelamiento de la proyección cuprífera nacional, es necesario que se materialicen todas aquellas iniciativas nuevas de la cartera de inversiones nacional, las que aportarían un 21,15% más de producción hacia el 2032.

- **Sobre la proyección nacional de producción esperada de cobre fino según método de explotación.**

En los últimos 11 años la producción de cobre proveniente de minería a rajo abierto ha crecido un 7,3% al 2020, mientras que la producción proveniente de minas subterráneas que ha caído un 5,1%. Si bien en los próximos 13 años se observa un fuerte crecimiento de la producción proveniente de minería subterránea debido a operaciones como Chuquicamata subterránea o proyectos como proyectos el Plan de Desarrollo El Teniente (Andes Norte, Andesita y Diamante) y Los Bronces Integrado, 52% entre 2020 y 2032, la producción proveniente de rajo abierto mantendrá relativamente estable su participación en la producción nacional, pasando de 87,97% en 2020 a 84,89% en 2032, un poco más de 3 puntos porcentuales menos.

- **Sobre la proyección nacional de producción esperada de cobre fino según tipo de producto.**

La proyección de producción esperada para el periodo 2021-2032 muestra que la producción hidrometalúrgica pasaría de una participación de 25,6% de la producción total en 2020, 1,47 millones de toneladas, a un 8% hacia 2032 con solo 558.366 toneladas, una caída de 62%.

Es así como, de las actuales 34 operaciones hidrometalúrgicas activas, hacia el 2032 solo quedarán 15 operativas, 6 pertenecientes a la gran minería más las 6 operaciones de Enami y 2 operaciones de mediana minería. Las únicas nuevas iniciativas operativas para ese entonces serán Rajo Inca (2022-2035), Polo Sur (2026-2037), Diego de Almagro óxidos (2023-2035), Costa Fuego óxidos (Ex Productora óxidos, 2025-2032), Marimaca (2025-2036), la reapertura de Iván-Zar (2022-2035), Planta NORA (Ex Berta, 2022-2032) y Playa Verde (2024-2032).

Por otra parte, la gran cantidad de iniciativas que buscan expandir o extender la vida operacional de faenas de minerales sulfurados o incluso crear nuevas operaciones mineras en la línea de concentrados, impacta positivamente en la producción de concentrados en nuestro país, pero con un trasfondo no menor: gran utilización de agua, la generación de relaves y necesidad de terrenos físicos para la disposición de estos. En definitiva, la producción de concentrados crecerá un 49,7% entre los años 2020 y 2032, pasando de 4,31 millones

de toneladas a 6,39 millones de toneladas, todo esto sin aumentos sustanciales en el consumo interno de concentrados en procesos FURE. Cabe destacar que, actualmente, existen 34 operaciones activas a 2020, mientras que para 2032 se espera que de estas solo 19 estén operativas mientras que el resto serán reemplazadas por 3 proyectos de reposición y 16 nuevas iniciativas, totalizando 38 operaciones de producción de concentrados, sin contar a 6 proyectos de expansión de operaciones activas.

Por otra parte, el incremento en producción de minerales sulfurados no necesariamente se traduciría en aumento de producción de FURE en nuestro país, donde la producción de concentrados sin refinar en nuestro país pasará desde un 53,4% de participación en la producción total esperada de cobre fino en 2020 a un 70% hacia 2032, pasando de exportar alrededor de 2,6 millones de toneladas cobre fino en concentrados como promedio de los últimos diez años, en torno a las 9,6 millones de toneladas métricas secas de concentrados, a alrededor de 4,86 millones de toneladas de cobre fino hacia 2032, aproximadamente 17,98 millones de toneladas métricas secas de concentrados.

Finalmente, el aumento de la producción esperada de concentrados, 49,7% hacia 2032 respecto 2020, vendrá de la mano de un aumento importante del procesamiento de minerales sulfurados en plantas concentradoras, que se espera pase de las 692,5 millones de toneladas en 2020 a 1.046 millones de toneladas hacia 2032, un crecimiento de 51,1%. Esto a su vez se traduce en generación de relaves, altos consumos hídricos y necesidad de espacio físico importante para disponer de estos relaves.

- **Sobre la proyección regional de producción esperada de cobre fino.**

Al revisar los perfiles productivos regionales, se observa que el “top 3” de las regiones con mayor crecimiento son Atacama (97,6%), Coquimbo (24,7%) y Tarapacá (22,7%), sin embargo a nivel de aporte productivo, Antofagasta seguirá siendo importante.



Anexos



Anexo 1: Metodología de proyección de producción esperada

La metodología que se emplea para la confección de este informe se basa en los siguientes criterios.

3.1. Escenarios de producción

La proyección de producción de en minería está sujeta a riesgo e incertidumbre. El cálculo de la producción de cobre fino será mediante el método probabilístico de Montecarlo. La función de probabilidad utilizada para la simulación es una *Beta*. Esta permite estimar la distribución de los consumos en base a rangos de valor que puede tomar la variable, indicando un valor mínimo, más probable y máximo:

- **Escenario de producción máxima:** considera que las operaciones continúan según lo planificado y todos los proyectos se ponen en marcha en la fecha y capacidad productiva estimada actualmente por sus titulares. Es, por cierto, un escenario optimista.
- **Escenario de producción más probable:** pondera los perfiles de producción de cobre esperado y reportado por las firmas mineras con valores menores a la unidad, ya que existe una alta probabilidad de que los proyectos sufran variaciones y no se lleven a cabo en la fecha y capacidad productiva estimada inicialmente. Esta ponderación ha sido determinada por Cochilco en base a información histórica del comportamiento de la materialización de proyectos mineros, obtenida de los catastros de proyectos históricos publicados por COCHILCO.
- **Escenario de producción mínima:** que ajusta el escenario más probable con cifras inferiores dentro de un criterio técnico razonable. Es, entonces, un escenario pesimista.

El valor de la producción de cobre fino para un año t se calcula como se muestra en la ecuación (1):

$$Producción_Cobre_fino_t = \sum_i E[f(X_{ijt}; Y_{ijt}; Z_{ijt})] \quad (1)$$

Donde,

- i : Faena minera considerada.
- j : Tipo de producto final considerado.
- K : Condición/estado del proyecto minero considerado³.
- t : Año considerado en el periodo de proyección.
- f : Distribución de probabilidad que describe el rango de valores que puede tomar el consumo de electricidad y la probabilidad asignada a cada valor de acuerdo a las variables de entrada.

³ Las condiciones/estados de los proyectos que se establecen en el presente informe son: Base, Probable, Posible-factibilidad, Potencial-factibilidad y Potencial-prefactibilidad.



- Z_{ijkt} : Corresponde a la producción máxima de cobre fino en la faena i , en el proceso j , de acuerdo a la condición/estado k del proyecto, en el año t . La unidad de medida es ktpa.
- Y_{ijkt} : Corresponde a la producción más probable de cobre fino en la faena i , en el proceso j , de acuerdo a la condición/estado k del proyecto, en el año t . La unidad de medida es ktpa.
- X_{ijkt} : Corresponde a la producción mínima de cobre fino en la faena i , en el proceso j , de acuerdo a la condición/estado k del proyecto, en el año t . La unidad de medida es ktpa.

Entonces, para calcular la producción esperada de cobre fino en un año determinado, es necesario en primera instancia, determinar las variables de entrada de la función “ f ” para cada proceso en cada faena: X_{ijkt} , Y_{ijkt} y Z_{ijkt} . El detalle del cálculo se muestra en las secciones 3.1.1, 3.1.2 y 3.1.3.

3.1.1. Cálculo de la variable de producción máxima de cobre fino.

Corresponde al valor máximo de producción de cobre fino de un proceso en una faena minera específica. Este cálculo se basa en el supuesto que no existe retraso en la puesta en marcha de los proyectos mineros y el perfil de producción se desarrolla de acuerdo a las cantidades determinadas para cada proyecto en el periodo considerado a proyectar.

De esta manera, la producción máxima de cobre en una faena i , para un proceso j y en el tiempo t , queda determinado por la ecuación (2):

$$Z_{ijkt} = \text{Producción_Est}_{ijt} \times \text{Pond_Max}_{ik} \quad (2)$$

Donde,

- $\text{Producción_Est}_{ijt}$: Corresponde a la producción cobre fino máxima estimada con las formulas 1 y 5, para cada proceso j , en la faena i y en el tiempo t .

Pond_Max_{ik} : Corresponde al ponderador de producción máxima en base a información histórica según la condición de la condición de un proyecto k en una faena minera i . En este caso se utiliza un ponderador de valor 1, ya que se trata de que se trata de la producción máxima posible. El detalle de los posibles valores se encuentra en la

- Tabla 1.



Tabla 1: Ponderadores determinísticos de producción futura máxima⁴

Condición/estado de proyectos mineros	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12
Potencial/Prefactibilidad	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Potencial/Factibilidad	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Posible/Factibilidad	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Probable	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Base	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fuente: Cochilco

3.1.2. Cálculo de la variable de producción más probable de cobre fino.

Corresponde al valor más probable de producción de cobre fino de un proceso en una faena minera específica. Esta producción se calcula sobre el supuesto que los proyectos mineros sufren retrasos en su ejecución y variaciones en su producción estimada respecto de la real.

Para modelar este efecto se construyó un vector de ponderadores de producción determinísticos en base a información histórica en la ejecución de proyectos mineros, según condición y fecha de puesta en marcha. El cálculo de los vectores corresponde al promedio ponderado de las razones de producción real sobre la producción proyectada en faenas mineras de igual condición y estado.

El detalle de los ponderadores de producción se muestra en la Tabla 2. De esta manera, la producción de cobre fino más probable en un proceso j , en una faena i en el tiempo t , queda determinado por la ecuación (3):

$$Y_{ijkt} = \text{Producción_Est}_{ijt} \times \text{Pond_MP}_{ik} \quad (3)$$

Donde,

- $\text{Producción_Est}_{ijt}$: Corresponde a la producción cobre fino máxima estimada con las formulas 1 y 5, para cada proceso j , en la faena i y en el tiempo t .
- Pond_MP_{ik} : Corresponde al ponderador de producción máxima en base a información histórica según la condición y estado de un proyecto. En este caso, los ponderadores son menores uno y reflejan el retraso promedio ocurrido en la producción estimada en proyectos mineros de acuerdo a su condición y estado.

⁴ Cabe destacar que el *año 1* hace referencia al primer año de puesta en marcha de proyectos mineros específicos. Este no hace referencia a un año calendario en particular ya que el primer año de operación queda definido dependiendo del proyecto minero.

Tabla 2: Ponderadores determinísticos de producción futura más probable

Condición/estado de proyectos mineros	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12
Potencial/Prefactibilidad	0,16	0,28	0,32	0,37	0,42	0,45	0,49	0,55	0,69	0,70	0,71	0,80
Potencial/Factibilidad	0,32	0,37	0,42	0,45	0,49	0,55	0,69	0,70	0,71	0,80	0,80	0,83
Posible/Factibilidad	0,49	0,55	0,69	0,70	0,71	0,80	0,80	0,83	0,84	0,84	0,85	0,88
Probable	0,71	0,80	0,80	0,83	0,84	0,84	0,85	0,88	0,92	0,92	0,92	0,93
Base	0,83	0,84	0,84	0,85	0,88	0,92	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93

Fuente: Cochilco

a. Cálculo de ponderadores determinísticos de producción futura más probable

Los ponderadores de producción futura más probable, mostrados en la Tabla 2, se calculan en base a información histórica de proyección de producción de cobre fino por parte de compañías mineras que poseen proyectos de expansión, reposición y nuevos proyectos mineros, en relación con la producción real alcanzada.

Esta información es recopilada a través del informe anual de inversiones en la minería desde el año 2005. En este sentido, la información utilizada para el cálculo de estos ponderadores corresponde a los datos acumulados de proyección de producción desde 2005. Esta información es agregada en una base de datos única.

Para efectuar el cálculo de los ponderadores de producción futura más probable, primero se agrupan los proyectos mineros según su condición en alguna de las categorías: i) Potencial/Prefactibilidad, ii) Potencial/Factibilidad, iii) Posible/Factibilidad, iv) Probable o v) Base, utilizando la información de proyección de producción máxima recopilada en los catastros de inversión desde el año 2005, hasta el último disponible, que en este caso corresponde al año 2020.

Una vez agrupados los proyectos mineros, se calcula individualmente el porcentaje de producción alcanzado por las faenas. Para esto, se determina la razón entre la producción de cobre fino proyectada para un año determinado y la producción real alcanzada para el mismo año. Este cálculo se realiza para todos los proyectos considerados, agrupados según su condición, como se muestra en la ecuación (4). Se interpreta como el grado de producción alcanzado por una faena minera en un año específico de acuerdo a la condición del proyecto.

$$Ponderador_Prod_Cu_{k,i,t} = \frac{Producción_Real_{k,i,t}}{Producción_Est_{k,i,t}} \quad (4)$$

Donde,

- k : Condición/estado del proyecto minero considerado⁵.
- i : Faena minera considerada.

⁵ Las condiciones/estados de los proyectos que se establecen en el presente informe son: Base, Probable, Posible-factibilidad, Potencial-factibilidad y Potencial-prefactibilidad.

- α : Año en que se realizó el catastro minero.
- t : Año calendario considerado en el periodo de proyección de producción.

Una vez hecho el cálculo de la ecuación (4) para todos los proyectos considerados, se procede a calcular el vector de ponderadores de producción según condición. Este vector corresponde al promedio ponderado de los ponderadores individuales de producción de cobre agregados por condición. Se debe mencionar que no se ponderan y agregan los datos de acuerdo al año calendario en cuestión, sino que se clasifican considerando el año número de años de operación del proyecto. Por ejemplo, el año de puesta en marcha de los proyectos corresponde al “Año 1” de operación. De esta manera se puede calcular el vector de ponderadores determinísticos de producción futura más probable como se detalla en la ecuación (5):

$$Pond_MP_{ky} = \sum \frac{Producción_Est_{kiy}}{Producción_Est_Total_{ky}} \times Ponderador_Prod_Cu_{kiy} \quad (5)$$

Donde,

- k : Condición/estado del proyecto minero considerado⁶.
- i : Faena minera considerada.
- y : Número de años de operación de un proyecto minero de inversión.

Finalmente, se considera que los proyectos mineros no son estáticos por lo tanto su condición y estado evoluciona en el tiempo. Para modelar esta situación, se calculó el tiempo promedio que pasa un proyecto minero en una condición determinada⁷. De esta manera se estima que los proyectos mineros pasan en promedio 3 años en condición Potencial/Prefactibilidad, 5 años en condición Potencial/Factibilidad, 5 años en condición Posible/Factibilidad y 4 años en la condición Probable. Esta situación queda plasmada de la manera en que son construidos los diferentes vectores, en donde una vez que se cumple el tiempo promedio de permanencia en una condición, el complemento de los ponderadores pasa a ser el siguiente vector el cual representa un mayor grado de certidumbre en la producción.

3.1.3. Cálculo de la variable de producción mínima de cobre fino.

Corresponde al valor mínimo estimado de producción de cobre fino en un proceso minero de una faena minera en particular. Este cálculo se basa en que los proyectos mineros presentes en la cartera de inversiones sufren retrasos más allá de los previstos, por ejemplo variaciones en las condiciones macroeconómicas, retrasos en la aprobación de permisos, retrasos en la ingeniería, etc.

⁶ Las condiciones/estados de los proyectos que se establecen en el presente informe son: Base, Probable, Posible-factibilidad, Potencial-factibilidad y Potencial-prefactibilidad.

⁷ Son múltiples las variables que afectan la condición y estado de un proyecto minero, como por ejemplo, precio de los metales, estabilidad política y económica, regulación, estado de avance de la ingeniería, entre otros.



De esta manera, se determinó un vector de ponderadores producción mínimo de los proyectos mineros según su condición en base a la información histórica de Cochilco y juicio de experto. Para esto, primero se efectuó el cálculo de los vectores correspondiente al promedio ponderado de las razones de producción real sobre la producción proyectada en faenas mineras de igual condición y estado. En segunda instancia, se utilizó el menor valor de cada tipo de proyecto, manteniéndose constante en el tiempo.

La producción mínima de cobre fino en un proceso j , en una faena i en el tiempo t , se calcula como en (6):

$$X_{ijkt} = \text{Producción_Est}_{ijt} \times \text{Pond_Min}_{ik} \quad (6)$$

Donde,

- $\text{Producción_Est}_{ijt}$: Corresponde a la producción cobre fino máxima estimada con las formulas 1 y 5, para cada proceso j , en la faena i y en el tiempo t .
- Pond_Min_{ik} : Corresponde al ponderador de producción mínimo en base a información histórica según la condición y estado de un proyecto. Estos ponderadores reflejan la producción mínima promedio estimada de los proyectos mineros según su condición. El detalle de los posibles valores se encuentra en la Tabla 3.

Tabla 3: Ponderadores determinísticos de producción futura mínima

Condición/estado de proyectos mineros	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12
Potencial/Prefactibilidad	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Potencial/Factibilidad	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
Posible/Factibilidad	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Probable	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
Base	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83

Fuente: Cochilco



Anexo 2: Unidades de medida y abreviaciones

Peso y medida

g	Gramo
kg	Kilogramo
t	Tonelada métrica
kt	Miles de toneladas métricas
Mt	Millones de toneladas métricas
oz	Onza troy
koz	Miles de onzas troy
Moz	Millones de onzas troy
lb	Libra
Mlb	Millones de libras
m	Metro
km	Kilómetro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico

Elementos químicos y minerales

Ag	Plata
Au	Oro
Cu	Cobre
Cu cát	Cátodos de cobre
Cu conc	Cobre contenido en concentrados
Cu _{Eq}	Cobre equivalente
Fe	Hierro
Fsp	Feldspatos
H ₃ BO ₃	Ácido bórico
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
KCl	Cloruro de potasio
KNO ₃	Nitrato de potasio
LiCl	Cloruro de litio
NaNO ₃	Nitrato de sodio
Mo	Molibdeno
TiO ₂	Dióxido de titanio (Rutilo)

Concentración y tasas de producción

gpt	Gramos por tonelada
ppm	Partes por millón
oz/a	Onzas troy por año
koz/a	Miles de onzas troy por año
Moz/a	Millones de onzas troy por año
kg/a	Kilogramos por año
tph	Toneladas métricas por hora
tpd	Toneladas métricas por día
tpm	Toneladas métricas por mes
tpa	Toneladas métricas por año
ktpa	Miles de toneladas por año
Mtpa	Millones de toneladas por año

Procesos e insumos

g/L	Gramos por litro
kg/L	Kilogramos por litro
l/s	Litros por segundo
l/m	Litros por mes
kV	Kilovoltios
kVA	Kilovoltio-amperios
GWh	Gigawatt-hora
MWh	Megawatt-hora

Procesos de producción

Flot	Flotación
Lix	Lixiviación
SX	<i>Solvent extraction</i> (Extracción por solventes)
EW	<i>Electrowinning</i> (Electro-obtención)

Moneda y precios

US\$	Dólar estadounidense
MUS\$	Miles de dólares estadounidenses
MMUS\$	Millones de dólares estadounidenses
US\$/lb	Dólares por libra
cUS\$/lb	Centavos de dólar por libra
US\$/oz	Dólares por onza troy

Abreviaciones geográficas

m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
UTM	<i>Universal Transversal Mercator</i>

Tipos de sociedades

Cía.	Compañía
Inc.	<i>Incorporated</i>
Int.	<i>International</i>
Ltda.	Limitada
Ltd.	<i>Limited</i>
S.A.	Sociedad anónima
SCM	Sociedad contractual minera
CCM	Compañía contractual minera

Otras

Ind.	Industrial
Min.	Mineral
RCA	Resolución de calificación ambiental
DIA	Declaración de impacto ambiental
EIA	Estudio de impacto ambiental
SAG	Semiautógeno
API	Autorización de Proyectos de Inversión
PND	Plan de Negocios y Desarrollo.

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

Cristian Cifuentes González

Coordinador de Estrategias y Políticas Públicas

Jorge Cantallops

Director de Estudios y Políticas Públicas

Diciembre/ 2021

I

