



Proyección de la producción de cobre en Chile 2019 – 2030

DEPP 15/2019

Resumen Ejecutivo



Resumen ejecutivo

La proyección de producción esperada de cobre para los próximos diez años, basada en el desenvolvimiento futuro de las operaciones actuales como también en la condicionalidad de materialización de los proyectos mineros, muestra un incremento de 20,7% hacia el 2030, respecto a la producción real de 2018. Esto quiere decir que nuestro país alcanzaría una producción de cobre de 7,04 millones de toneladas al año 2030, una tasa de crecimiento promedio de 1,6%, con un peak en el año 2027 de 7,33 millones de toneladas. La producción esperada está basada en los estados de certidumbre de los proyectos mineros catastrados (retrasos en materialización y problemas productivos propios de un proyecto minero), no considerando factores como huelgas u otras variables exógenas que puedan afectar el normal desenvolvimiento de las operaciones mineras.

Con respecto al tipo de proyecto que generaría estos aumentos productivos, vemos que las proyecciones de las faenas operativas indican que éstas podrían disminuir su producción en un 30% con respecto a 2018, llegando a 4,08 millones de toneladas de cobre fino hacia el 2030. La responsabilidad recae en el decaimiento de las operaciones actuales y sus proyectos asociados a la línea de óxidos, donde de las actuales 31 operaciones activas, hacia el 2030 solo quedarán 19 operativas.

Si se incluyen 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), éstas no logran revertir el escenario de reducción de producción, llegando a 5,41 millones de toneladas hacia el 2030, un 7,25% menos que lo alcanzando en 2018. Es así como el crecimiento productivo del país solo es posible si se logran materializar todas aquellas iniciativas nuevas de la cartera inversionista, las que aportarían lo necesario para llegar al crecimiento esperado de 20,7% hacia 2030.

Con respecto a la matriz productiva futura, se espera que la producción hidrometalúrgica esperada disminuya un 52,6% hacia el 2030 con respecto a la producción del año 2018, mientras que la producción esperada de cobre fino contenida en concentrados aumentaría desde las 4,3 millones de toneladas de cobre fino en 2018 hasta 6,3 millones de toneladas de cobre fino en concentrados en 2030, un aumento de un 47,8%. Esto, sin cambios sustanciales en la producción FURE del país.

Es así como la producción de concentrados sin refinar en nuestro país pasaría del 71% de participación en la producción total de concentrados en 2018 a un 75% hacia 2030, pasando de exportar alrededor de 3 millones de toneladas de cobre fino en concentrados, en torno a las 10,51 millones de toneladas métricas secas de concentrados, a alrededor de 4,74 millones de toneladas de cobre fino hacia 2030, equivalentes a alrededor de 16,9 millones de toneladas métricas secas.

A nivel regional, Antofagasta seguiría siendo la región líder en producción cuprífera hacia el 2030 con 3,51 millones de toneladas de cobre fino, sin embargo su participación en la producción nacional se reduciría pasando del actual 54% en 2018 a un 49,8% hacia el 2030, incluso con el aumento esperado de su producción en 356 mil toneladas en el periodo de análisis. Entre las regiones que aumentan su participación en la producción nacional se encuentran Atacama (9,1% de participación en 2018 a 14,5% en 2030), Tarapacá (11,2% a 13,7%) y Coquimbo (6,8% a 7%).



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 2019 - 2030.....	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 extracción.....	17
2. Análisis regional de la proyección de producción esperada de cobre fino.....	19
2.1. Proyección nacional de cobre mina 2019 - 2030.....	19
2.1.1. Aporte y estructura productiva futura región de Atacama.....	21
2.1.2. Aporte y estructura productiva futura región de Antofagasta.....	22
2.1.3. Aporte y estructura productiva futura región de Tarapacá.....	24
2.1.4. Aporte y estructura productiva futura región de Coquimbo.....	25
3. Comentarios finales.....	28
Anexo 1: Metodología de proyección de producción esperada.....	32
3.1. Escenarios de producción.....	32
3.1.1. Cálculo de la variable de producción máxima de cobre fino.....	33
3.1.2. Cálculo de la variable de producción más probable de cobre fino.....	34
3.1.3. Cálculo de la variable de producción mínima de cobre fino.....	37
Anexo 2: Proyección de producción a nivel nacional al año 2030.....	38
Anexo 3: Unidades de medida y abreviaciones.....	41



Índice de figuras

Figura 1: Producción de cobre mina 2017 y proyección periodo 2018 – 2030, a nivel nacional.....	10
Figura 2: Producción de cobre 2018 y proyección esperada 2019 – 2030, según condición.	12
Figura 3: Producción de cobre 2018 y proyección esperada 2019 – 2030, según producto	13
Figura 4: Producción de concentrados refinados y sin refinar, histórico y esperada	14
Figura 5: Producción de Cu fino en concentrados vs procesamiento de minerales sulfurados, 2018 – 2030	15
Figura 6: Producción de cobre 2018 y proyección esperada 2019 – 2030, según tipo de proyecto.	16
Figura 7: Producción de cobre 2010 - 2018 y proyección esperada 2019 - 2030, según método de explotación. .	17
Figura 8: Producción regional de cobre 2018 y proyección de producción esperada 2019 – 2030.	19
Figura 9: Participación de la producción regional en el perfil de proyección de producción esperada.	20
Figura 10: Índice de variación anual de producción por región en el periodo 2019 - 2030, año base 2018.	20
Figura 11: Aporte productivo de los proyectos según condición en la región de Atacama.....	21
Figura 12: Producción esperada de cobre en la región de Atacama según producto final.	22
Figura 13: Aporte productivo de los proyectos según condición en la región de Antofagasta.	23
Figura 14: Producción esperada de cobre en la región de Antofagasta según producto final.	23
Figura 15: Aporte productivo de los proyectos según condición en la región de Tarapacá.	24
Figura 16: Producción esperada de cobre en la región de Tarapacá según producto final.	25
Figura 17: Aporte productivo de los proyectos según condición en la región de Coquimbo.	25
Figura 18: Producción esperada de cobre en la región de Coquimbo según producto final.	26

Índice de tablas

Tabla 1: Ponderadores determinísticos de producción futura máxima.....	34
Tabla 2: Ponderadores determinísticos de producción futura más probable	35
Tabla 3: Ponderadores determinísticos de producción futura mínima	37
Tabla 4: Proyección esperada, cap. máxima y mínima de producción, 2019 – 2030, en miles de tons.	38
Tabla 5: Proy. máx. de prod. de cobre a nivel nacional según condición, 2019 – 2030, en miles de tons.	38
Tabla 6: Proy. esperada de prod. de cobre a nivel nacional según condición, 2019 – 2030, en miles de tons.	38
Tabla 7: Proy. esperada de prod. de cobre a nivel nacional según producto, 2019 – 2030, en miles de tons.	39
Tabla 8: Proy. esperada de prod. de cobre país según producto exportable, 2019 – 2030, en miles de tons.	39
Tabla 9: Proy. esperada de prod. de cobre a nivel nacional según tipo de proyecto, 2019 – 2030, en miles de tons.	39
Tabla 10: Proy. esperada de prod. de cobre país según método de explotación, 2019 – 2030, en miles de tons.	39
Tabla 11: Proy. esperada de prod. de cobre a nivel regional según área productiva, 2019 – 2030, en miles de tons.	40



Introducción



Introducción

El presente informe, que corresponde a la cuarta edición de la línea de trabajo impulsada en 2015, busca darle la importancia productiva que merece a la cartera de inversiones mineras que, año a año, publica COCHILCO dentro de sus líneas de trabajo de seguimiento. Así como sucede con la cartera de inversiones, este trabajo utiliza 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 central 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 2019 – 2030. 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. La presente actualización del informe considera los siguientes antecedentes adicionales para poder proyectar la producción cuprífera:

- a. La cartera de inversiones publicada por Cochilco en el documento *Inversión en la minería chilena - Cartera de proyectos 2019 -2028* (Cifuentes & Sanhueza, 2019).
- b. Dentro de las iniciativas consideradas en la proyección de producción, se incluye la posible reapertura de Iván Zar (Rayrock) en la región de Antofagasta, la reapertura de planta NORA y el proyecto de extracción denominado Marimaca, todos de propiedad de Coro Mining.
- c. Actualización del vector de probabilidad, tal cual como aparece en los anexos de este informe.

A continuación, se revisará la proyección de cobre a nivel nacional, separada según condición, producto final y según tipo¹. Adicionalmente se realiza un análisis regional en aquellas regiones donde la variación de producción es significativa, que en esta versión corresponde a cuatro regiones.

¹ Para mayor información respecto de esta categorización se ruega revisar el documento *Inversión en la minería chilena - Cartera de proyectos 2019 -2028* (Cifuentes & Sanhueza, 2019).



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

Posterior a la definición de los proyectos definidos en la cartera de proyectos para la próxima década², es posible proyectar la producción provenientes de aquellas iniciativas, la producción de las operaciones actuales y aquellos incluidos de forma adicional en este trabajo por ser proyectos de mediana envergadura o en etapas muy tempranas para definir su materialización concreta y que no son considerados en el catastro. Este capítulo muestra el análisis de la información obtenida, comparándola con los niveles máximos y mínimos que se consideran posibles en este periodo, para finalmente, mostrar la proyección de producción categorizada según *condición, tipo de proyecto y producto*.

1.1. Proyección nacional de cobre mina 2019 - 2030

Los resultados obtenidos sobre la proyección de producción esperada de cobre para los próximos diez años, basada en el desenvolvimiento futuro de las operaciones actuales como también en la condicionalidad de materialización de los proyectos mineros, muestra un incremento de 20,7% hacia el 2030, respecto a la producción real de 2018. Esto quiere decir que nuestro país alcanzaría una producción de cobre de 7,04 millones de toneladas al año 2030, una tasa de crecimiento promedio de 1,6%, con un *peak* en el año 2027 de 7,33 millones de toneladas, a una tasa de crecimiento con respecto a 2018 de 2,4% (Figura 1).

En los extremos de esta proyección encontramos que la producción de cobre máxima posible, sin aplicar condicionalidad de las iniciativas y sobre la base que todos los proyectos mineros considerados en esta proyección son ejecutados en los plazos indicados públicamente por las empresas mineras, sin retrasos, alcanzaría las 8,08 millones de toneladas de cobre fino en 2030, 38,5% más que la producción real de 2018, con una tasa de crecimiento anual de 2,75% con respecto al mismo año base y alcanzando un *peak* en el año 2027 de 8,46 millones de toneladas.

En el extremo inferior se observa que la producción mínima, que corresponde a la producción de los proyectos considerados en la cartera pero aplicados los ponderadores determinísticos mínimos, sería un 1,3% mayor hacia el año 2030 con respecto a 2018, llegando a las 5,91 millones de toneladas de cobre fino.

² "Inversión en la minería Chilena – Cartera de proyectos 2019 – 2028", Cochilco, 2019



Figura 1: Producción de cobre mina 2017 y proyección periodo 2018 – 2030, a nivel nacional.

Fuente: Cochilco, 2019.

Al revisar de forma quinquenal los crecimientos productivos, se observa que:

- **Quinquenio 2019 – 2023:** crecimiento de la producción a una tasa anual de 2,68% anual en el periodo y la producción esperada alcanzaría hacia el 2023 las 6,19 millones de toneladas de cobre mina, un aumento de 11,2% con respecto a lo esperado para 2019 (5,88 millones de toneladas de cobre fino).
- **Quinquenio 2024 – 2028:** tasa de crecimiento anual es inferior al quinquenio anterior, 0,95% anual, alcanzando las 7,15 millones de toneladas hacia el 2028, un crecimiento de 3,9% con respecto a la producción esperada para 2024 (6,89 millones de toneladas). En este periodo, específicamente el año 2027, se alcanzaría el máximo productivo de 7,33 millones de toneladas.
- **2029 – 2030:** ajuste a la baja de la producción de cobre en un 0,6%, afectada principalmente por la caída en la producción de cátodos SxEw, para cerrar el periodo de análisis con una producción de 7,04 millones de toneladas.

A continuación se revisarán las proyecciones según condición, producto y tipo de proyecto.

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

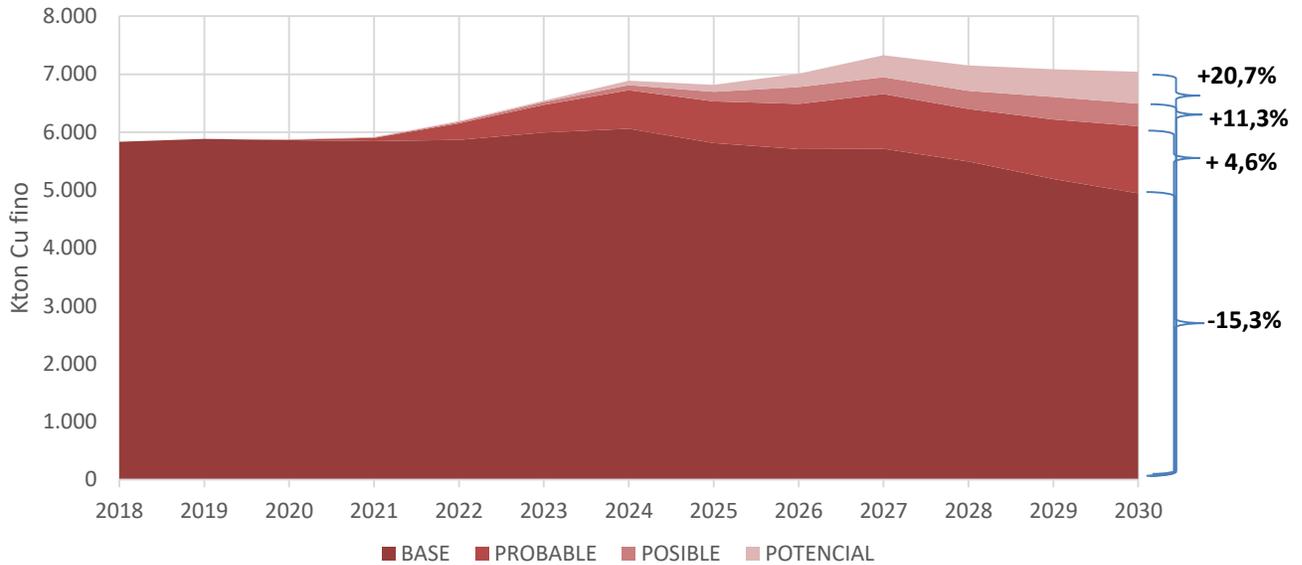
Los proyectos mineros para poder materializarse, están sujetos a diversas variables entre las cuales se destacan el tipo de proyecto que es, la etapa de avance en que se encuentra, al estado de la tramitación ante el SEA y a la fecha estimada de puesta en marcha. Cada atributo o variable tiene una gradualidad que puede asociarse a mayor o menor certeza y la combinación de ellos entrega una percepción de la condicionalidad para la materialización de estas iniciativas. En consecuencia se definen 4 condiciones: Base, probable, posible y potencial³. Asimismo, para efectos prácticos de análisis, se agruparon a su vez en proyectos con mayor o menor probabilidad de materializarse, esto quiere decir proyectos base-probable y posible-potencial, respectivamente.

³ Informe *Inversión en la minería chilena - Cartera de proyectos 2019 -2028* (Cochilco, 2019).

- a) Al analizar bajo el parámetro de la condicionalidad, se observa que aquellos proyectos y operaciones pertenecientes a la condición *base*, considerando el periodo de análisis entre los años 2018 y 2030, podrían disminuir su producción de cobre fino en 15,28% a una tasa de 1,37%, para llegar a 4,94 millones de toneladas cerrando el periodo de análisis, con un máximo productivo esperado para el 2024 con 6,06 millones de toneladas. Al incluir en este perfil aquellas iniciativas en condición *probable*, la producción crecería a una tasa de 0,38% hasta alcanzar una producción hacia el 2030 de 6,1 millones de toneladas, un 4,61% más de lo alcanzando en 2018, con un máximo de 6,72 millones de toneladas hacia el 2024.
- b) El análisis quinquenal de los proyectos con mayor probabilidad de materializarse:
- **Quinquenio 2019 – 2023:** leve crecimiento de la producción *base*, llegando a las 5,99 millones de toneladas hacia el 2023, un aumento de 1,89% con respecto a la producción esperada para 2019. Al incluir en el análisis a los proyectos en condición *probable*, la producción aumenta 10,04%, alcanzando las 6,47 millones de toneladas hacia el 2023, a una tasa de crecimiento de 2,42%.
 - **Quinquenio 2024 – 2028:** En este periodo se espera que la producción *base + probable* disminuya a una tasa de 1,24% anual, alcanzando las 6,4 millones de toneladas hacia el 2028, 4,85% menos de producción con respecto a lo esperado para 2024, años que la producción de este grupo alcanzaría el máximo de 6,72 millones de toneladas.
 - **2029 – 2030:** En este corto periodo de tiempo, se observa una caída en la producción nacional proveniente de los proyectos *base + probable*, a un ritmo de 2,21% anual, alcanzando una producción esperada de 6,18 millones de toneladas al año 2030.
- c) Ahora, al añadir a los perfiles de producción *base + probable*, analizados recientemente, aquellas iniciativas en condición *posible*, la tendencia de la producción esperada de 4,61% vista anteriormente pasaría a un crecimiento de 11,34% con respecto a 2018, alcanzando hacia 2030 alrededor de 6,49 millones de toneladas, a una tasa de crecimiento anual de 0,9%. Asimismo, si sumamos el aporte productivo de aquellos proyectos en condición *potencial*, el escenario de crecimiento casi se duplica con respecto a lo anterior, donde la producción hacia el 2030 aumentaría en un 20,7% con respecto a 2018, alcanzando las 7,04 millones de toneladas, un crecimiento productivo anual de 1,6%, donde la producción máxima se alcanzaría hacia el 2027 con 7,33 millones de toneladas.
- d) El análisis quinquenal de cómo afecta a los perfiles de producción la inclusión de aquellos proyectos con menor probabilidad de materializarse en los tiempos definidos por las compañías:
- **Quinquenio 2019 – 2023:** Al añadir al perfil de producción *base + probable* aquellas iniciativas en condición *posible + potencial*, se estima un crecimiento de 11,2% en este periodo, alcanzando las 6,54 millones de toneladas, una tasa anual de 2,68% con respecto a la producción esperada para 2019.
 - **Quinquenio 2024 – 2028:** el añadir las iniciativas en condición *posible + potencial*, permite subsanar el decrecimiento esperado de 1,24% anual con solo los proyectos en condición *base y probable*, pasando a un crecimiento leve de 0,95% anual, llegando a las 7,15 millones de toneladas. En este periodo es donde se alcanzaría el máximo productivo de 7,33 millones de toneladas hacia el 2027.

- **2029 – 2030:** el incluir proyectos en condición *posible + potencial* al perfil anterior, se reduce en 2/3 la caída productiva esperada por los proyectos en condición *base y probable*, tasa anual de decrecimiento inicial de 1,88% a 0,63% en este nuevo escenario.

Figura 2: Producción de cobre 2018 y proyección esperada 2019 – 2030, según condición.



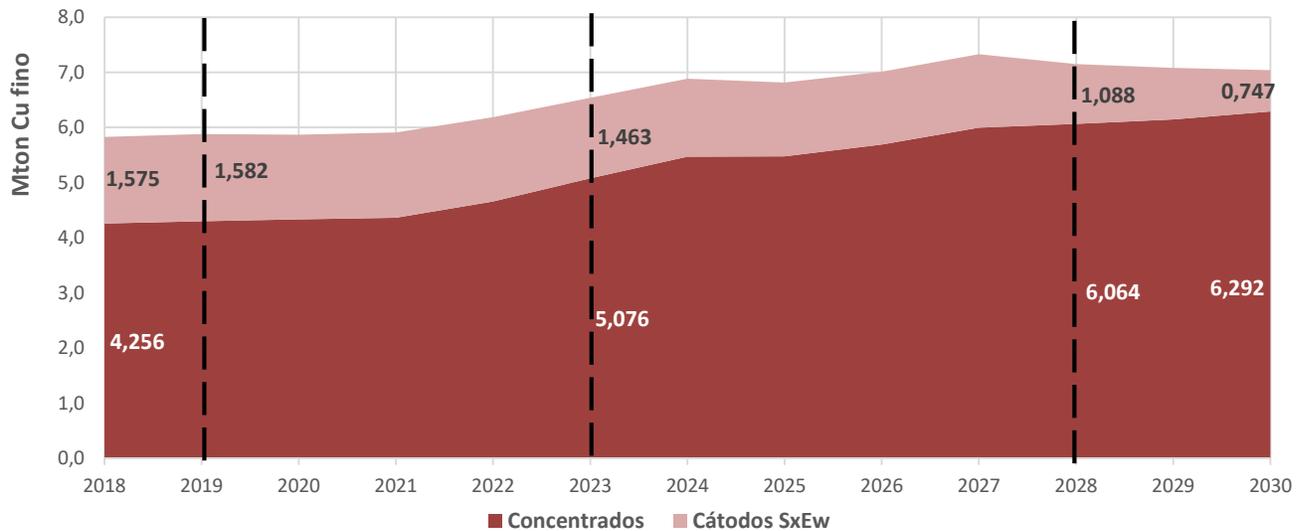
Fuente: Cochilco, 2019.

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

La inexistencia de nuevas iniciativas en busca de nueva producción hidrometalúrgica o expansiones de operaciones actuales en esa línea productiva, contrastada con la gran cantidad de proyectos que buscan expandir o extender la vida operacional de faenas de minerales sulfurados o incluso crear nuevas operaciones mineras en la línea de concentrados, ha dado señales de un cambio de matriz productiva en los últimos años. Es así como la producción hidrometalúrgica pasaría de una participación de 27% de la producción total en 2018 a 11% hacia 2030, con el consiguiente crecimiento proporcional en la participación de la producción de concentrados y sin cambios sustanciales en líneas productivas de FURE.

Si revisamos el comportamiento de las operaciones hidrometalúrgicas actuales y vemos como se desenvolverán a futuro, de las actuales 31 operaciones activas, hacia el 2030 solo quedarán 19 operativas, 8 pertenecientes a la gran minería más las 5 operaciones de Enami y 6 operaciones de mediana minería. Los únicos “nuevos” proyectos observados en el futuro, dentro de las operaciones activas, serían Diego de Almagro óxidos (2021-2031), Productora óxidos (2022-2035), Marimaca (2025-2040), la reapertura de Rayrock (2021-2035), Planta NORA (Ex Berta, 2020-2035), Playa Verde (2023-2030) y algunos pequeños proyectos en el Distrito Centinela que mantendrían operativa la planta de óxidos actual (2026-2040).



Figura 3: Producción de cobre 2018 y proyección esperada 2019 – 2030, según producto

Fuente: Cochilco, 2019.

Se estima que, si la producción hidrometalúrgica esperada disminuye un 52,6% hacia el 2030 con respecto a la producción del año 2018, a una tasa de decrecimiento anual de un 6%, la producción esperada de cobre fino contenida en concentrados aumentaría desde las 4,3 millones de toneladas de cobre fino en 2018 hasta 6,3 millones de toneladas de cobre fino en concentrados en 2030, un aumento de un 47,8% en el periodo analizado, a una tasa de crecimiento anual de 3,3% (figura 3). El análisis quinquenal arroja los siguientes resultados:

- **Quinquenio 2019 – 2023:** producción de concentrados crece 18,5% en el período a una tasa anual de 4,24%, hasta llegar a una producción esperada en 2023 de 5,08 millones de toneladas, mientras que la producción de cátodos SxEw cae 7,5%, para alcanzar hacia el 2023 una producción de 1,46 millones de toneladas. La producción de cátodos se ve especialmente afectada en este periodo debido al cierre de Franke (2021), Cerro Colorado (2022) y las líneas hidrometalúrgicas de Quebrada Blanca (2022) y Carmen de Andacollo (2022), sin que la puesta en marcha de operaciones de mediana minería⁴ ayuden a apaciguar la caída productiva.
- **Quinquenio 2024 – 2028:** producción de concentrados crece a un ritmo más lento, 10,9% a una tasa anual de 2,6% (casi la mitad que el periodo anterior), pudiendo alcanzar 6,06 millones de toneladas de cobre fino, impulsada por el ingreso de proyectos importantes para el decenio en análisis⁵. Por el contrario, la producción de cátodos SxEw cae hacia el 2028 fuertemente, 23,2% menos que lo esperado para 2024, llegando a una producción esperada de 1,09 millones de toneladas. A estas alturas, específicamente el

⁴ Planta NORA (2020), Rayrock Reapertura (2021), Diego de Almagro Óxidos (2021), Productora óxidos (2022), Sagasca cont. Operacional (2022) y Playa Verde SXEW (2023).

⁵ El Espino Conc. (2024), Collahuasi - 210 ktpd (2025), RT Sulfuros Fase II (2026), El Abra Mill Project (2026), Distrito Centinela (2027), Andina Exp. Fase II (2027) y NuevaUnión Fase 1 (2024) y 2 (2027).

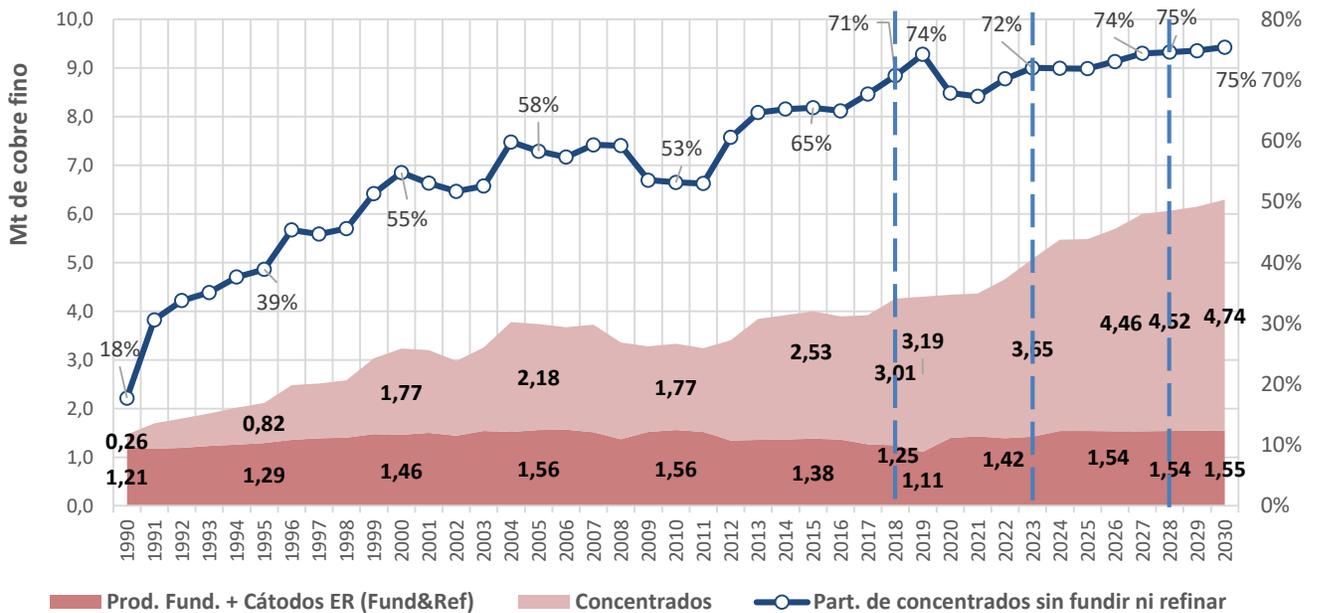


2025, las líneas hidrometalúrgicas de Spence y Chuquicamata ya habrán cerrado, junto a un par de operaciones de mediana minería.

- **2029 – 2030:** los concentrados se mantienen estables, pudiendo alcanzar el máximo del periodo de análisis de 6,29 millones de toneladas, mientras que la producción de cátodos SxEw cae al mínimo del periodo, alcanzando las 747,4 mil toneladas.

En resumen, la producción de refinados en nuestro país va en fuerte caída debido a la inexistencia de nuevos proyectos hidrometalúrgicos, dejando una capacidad instalada sin utilizar cercana a las 1,3 millones de toneladas, sumado a que el incremento en producción de minerales sulfurados no necesariamente se traduciría en aumento de producción de FURE en nuestro país, Figura 4, la producción de concentrados sin refinar en nuestro país irá aumentando desde el 71% de participación en la producción total de concentrados en 2018 a un 75% hacia 2030, pasando de exportar alrededor de 3 millones de toneladas cobre fino en concentrados, en torno a las 10,51 millones de toneladas métricas secas de concentrados, a alrededor de 4,74 millones de toneladas de cobre fino hacia 2030, aproximadamente 16,9 millones de toneladas métricas secas de concentrados.

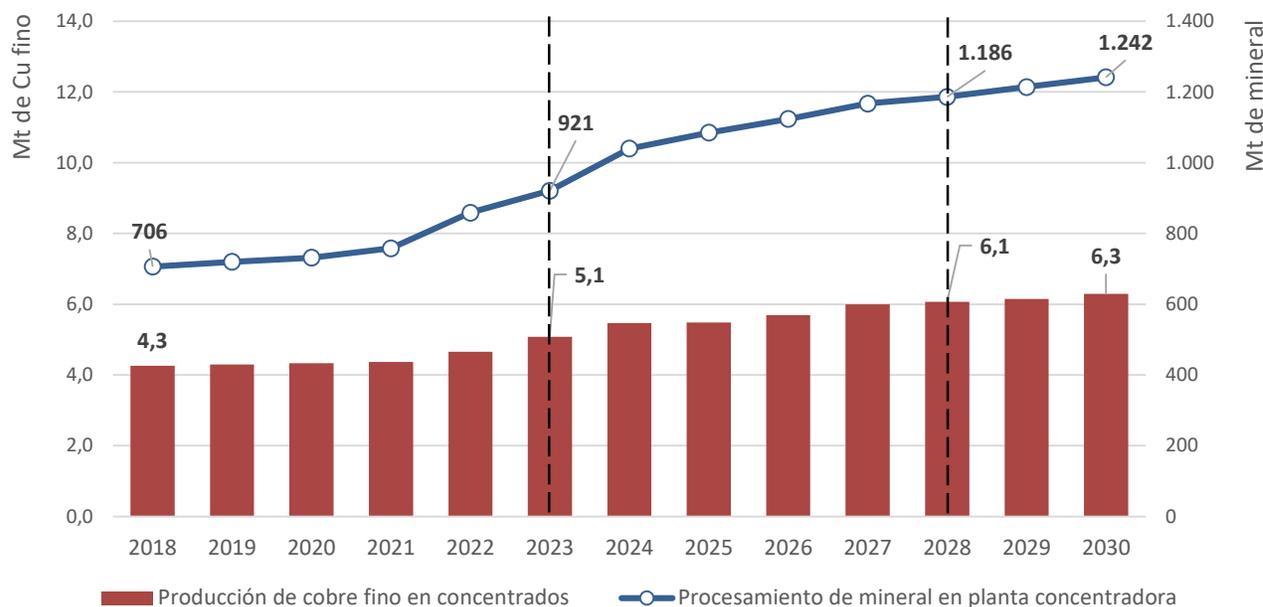
Figura 4: Producción de concentrados refinados y sin refinar, histórico y esperada



Fuente: Cochilco, 2019.

Este aumento de la producción esperada de concentrados en un 47,8% hacia 2030 vendrá de la mano del consiguiente aumento del procesamiento de minerales sulfurados en plantas concentradoras, que se espera que pase de las 706 millones de toneladas en 2018 a 1.242 millones de toneladas hacia 2030, que corresponde a un crecimiento de 75,8% (Figura 5).



Figura 5: Producción de Cu fino en concentrados vs procesamiento de minerales sulfurados, 2018 – 2030

Fuente: Cochilco, 2019.

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

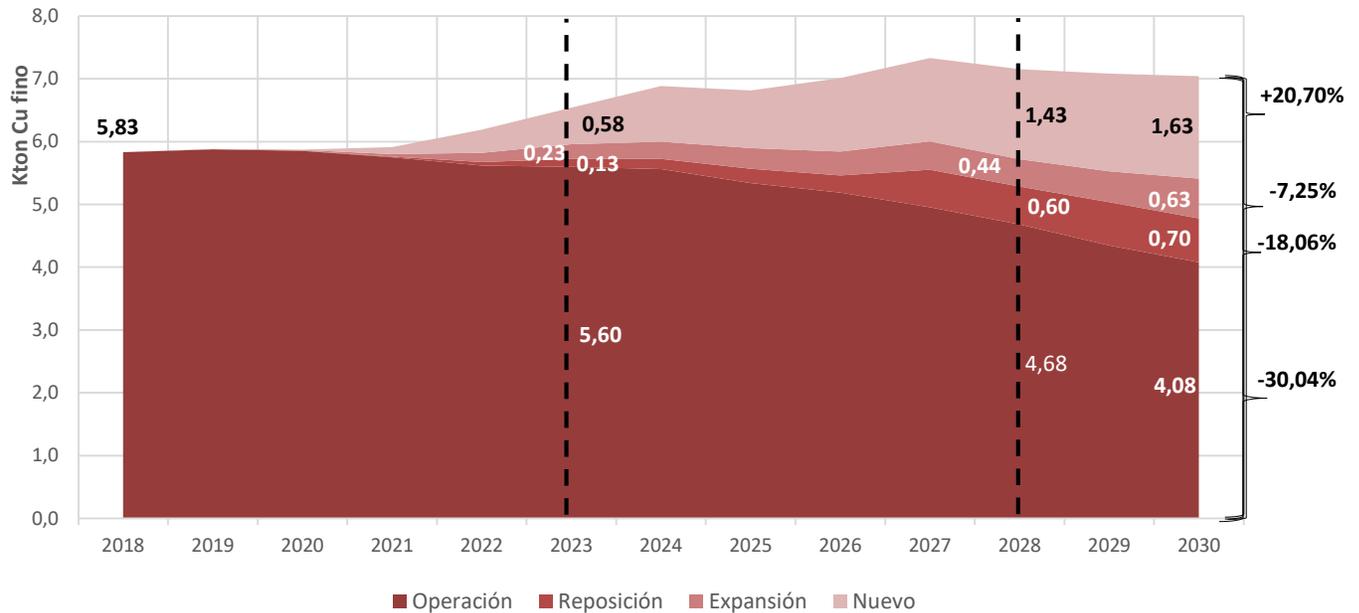
Al analizar la producción esperada futura proveniente de aquellas operaciones activas, de proyectos de reposición de operaciones actuales, de iniciativas de expansión de faenas operativas, o aquellos proyectos tipo *greenfield* o nuevos, incluyendo aquellos que cambian su forma de extracción de forma completa, es posible entender el de donde provendría la nueva producción del país, y así, anticipar políticas públicas eficientes para asegurar la materialización de dichos proyectos.

En primer lugar se observa que hacia el 2030 las operaciones actuales disminuyen su producción en un 30%, a una tasa de decrecimiento de 2,9% con respecto a 2018, llegando a 4,08 millones de toneladas de cobre fino.

La necesidad de nuevos proyectos para la industria del cobre se observa cuando, al incluir 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) éstas no logran revertir el escenario de reducción de producción (o lo aminoran levemente), llegando a 5,41 millones de toneladas hacia el 2030, un 7,25% menos que lo alcanzando en 2018. La responsabilidad recae en el decaimiento de las operaciones actuales y sus proyectos asociados a la línea de óxidos.



Figura 6: Producción de cobre 2018 y proyección esperada 2019 – 2030, según tipo de proyecto.



Fuente: Cochilco, 2019.

Como se ha venido indicando hace un par de años en este mismo trabajo, el crecimiento productivo del país solo es posible si se logran materializar todas aquellas iniciativas nuevas de la cartera inversional, las que aportarían un crecimiento con respecto a 2018 de 20,7% hacia 2030, alcanzando las esperadas 7,04 millones de toneladas de cobre fino.

El análisis quinquenal del aporte de este tipo de proyectos a la producción de cobre nacional lo revisaremos a continuación.

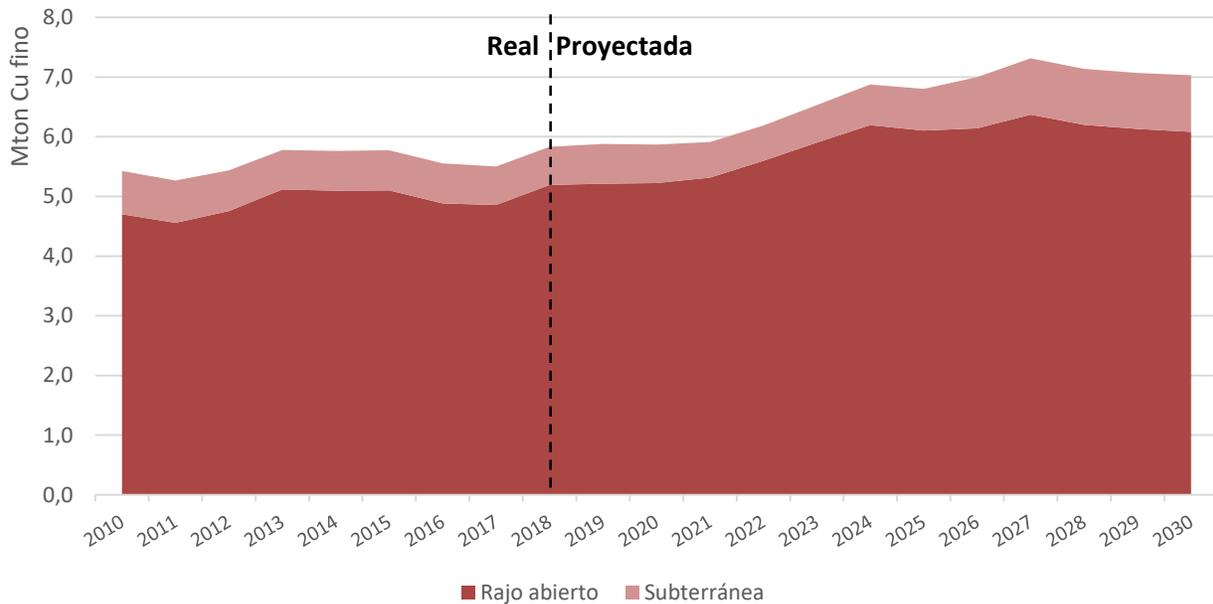
- **Quinquenio 2019 – 2023:** caída de 4,73% en las operaciones actuales, llegando a las 5,6 millones de toneladas hacia 2023. Al incluir las iniciativas de reposición y expansión, la producción de cobre crece levemente en 1,35% hasta alcanzar las 5,95 millones de toneladas, crecimiento de 0,31% anual. Incluyendo aquellos proyectos nuevos, el crecimiento en este quinquenio alcanza el 11,3% para llegar a las 6,54 millones de toneladas hacia el 2023.
- **Quinquenio 2024 – 2028:** este periodo es crítico ya que ni la inclusión de proyectos de reposición o expansión evita el decrecimiento productivo del país, donde la producción esperada de las operaciones actuales, reposiciones y expansiones caería 4,6%, pasando de 5,99 millones de toneladas el 2024 a 5,72 millones de toneladas hacia 2028, un decrecimiento anual de 1,17%. Los proyectos nuevos influirían positivamente, pero en menor nivel que el quinquenio anterior, registrando un aumento de 3,87% en el periodo, hasta cerrar el quinquenio con una producción de 7,15 millones de toneladas.
- **2029 – 2030:** Este corto periodo la producción nacional se ve reducida en 0,6%, incluyendo operaciones actuales, proyectos de reposición y expansión, y proyectos nuevos.



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

Las expectativas de un aumento de yacimientos extraídos mediante minería subterránea, debido a agotamiento de recursos superficiales y profundización de rajos actuales, ha impulsado múltiples propuestas de avances tecnológicos, de innovación y desarrollo en esta materia, sin embargo las cifras observadas en la proyección de producción esperada no coinciden con éstas expectativas (Figura 7).

Figura 7: Producción de cobre 2010 - 2018 y proyección esperada 2019 - 2030, según método de explotación.



Fuente: Cochilco, 2019.

Si bien en los últimos 8 años se ha observado un aumento fuerte de la producción proveniente de la minería a rajo abierto por sobre la subterránea (la primera con un crecimiento de 10,7% y la segunda decreciendo alrededor de 12%), lo que ha hecho pasar a la minería subterránea desde una participación del 14,2% en 2010 a un 11,6% el 2018, la próxima década muestra un fuerte crecimiento de la extracción subterránea, 48,1% entre 2018 y 2030, apoyado mayoritariamente por los proyectos Nuevo Nivel Mina y Los Bronces Integrado, versus un 17,1% de la minería a rajo abierto.

Sin embargo este crecimiento no se traduce en un aumento sustancial de la participación de la minería subterránea, ya que hacia 2030 se espera que este método de extracción tenga una participación de 14%, muy similar al año 2010, manteniendo la importancia de la actividad a rajo abierto. Esto se traduce también en la necesidad de que la actividad extractiva sea más amigable con su entorno, debido a la magnitud de los proyectos futuros que utilicen este método de explotación.



Capítulo 2:

Análisis regional de la proyección de producción esperada de cobre fino



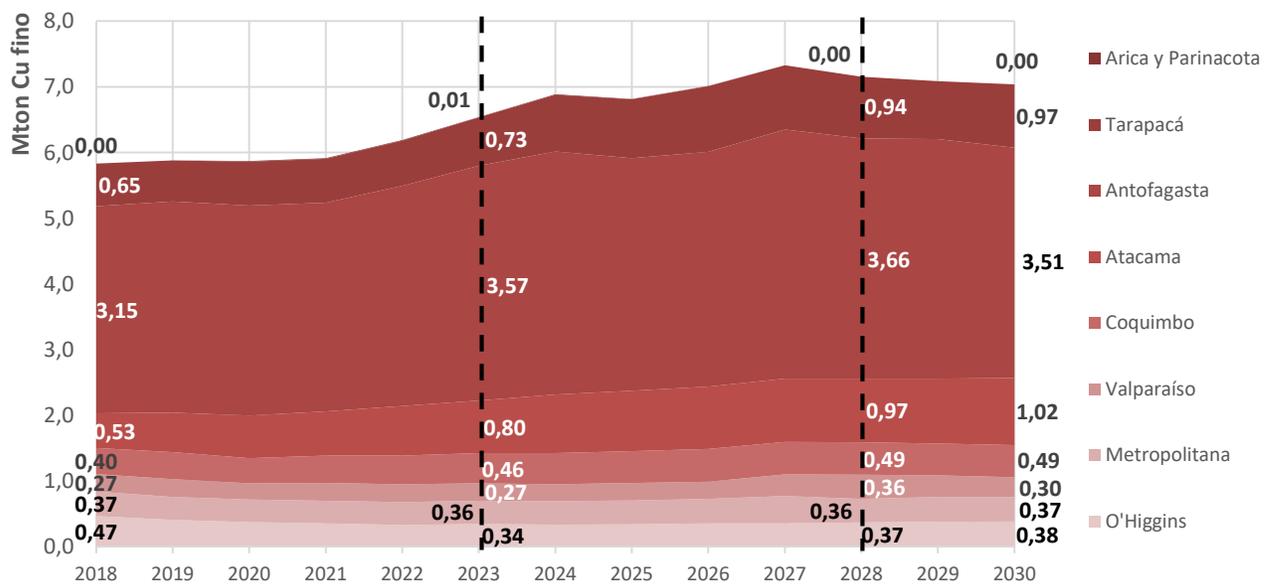
2. Análisis regional de la proyección de producción esperada de cobre fino

Este capítulo se enfoca en dar una mirada regional a las proyecciones de producción de cobre esperadas para el periodo 2019 - 2030, lo que permitirá definir aquellas regiones más incidentes en el aporte productivo futuro, regiones en las cuales se debiese dar hincapié en la materialización de inversiones de cobre.

2.1. Proyección nacional de cobre mina 2019 - 2030

Tal como se ha observado en años anteriores, la lógica de que las regiones con mayor participación en la producción futura se asocian con aquellas más importantes a nivel inversional, según lo indicado por la cartera de proyectos para el próximo decenio (Cifuentes & Sanhueza, 2019), se cumple a cabalidad, donde las regiones de Antofagasta y Atacama se imponen sobre el resto de regiones como los principales focos inversionales y, a su vez, son las con mayores aportes productivos esperados (Figura 8).

Figura 8: Producción regional de cobre 2018 y proyección de producción esperada 2019 – 2030.

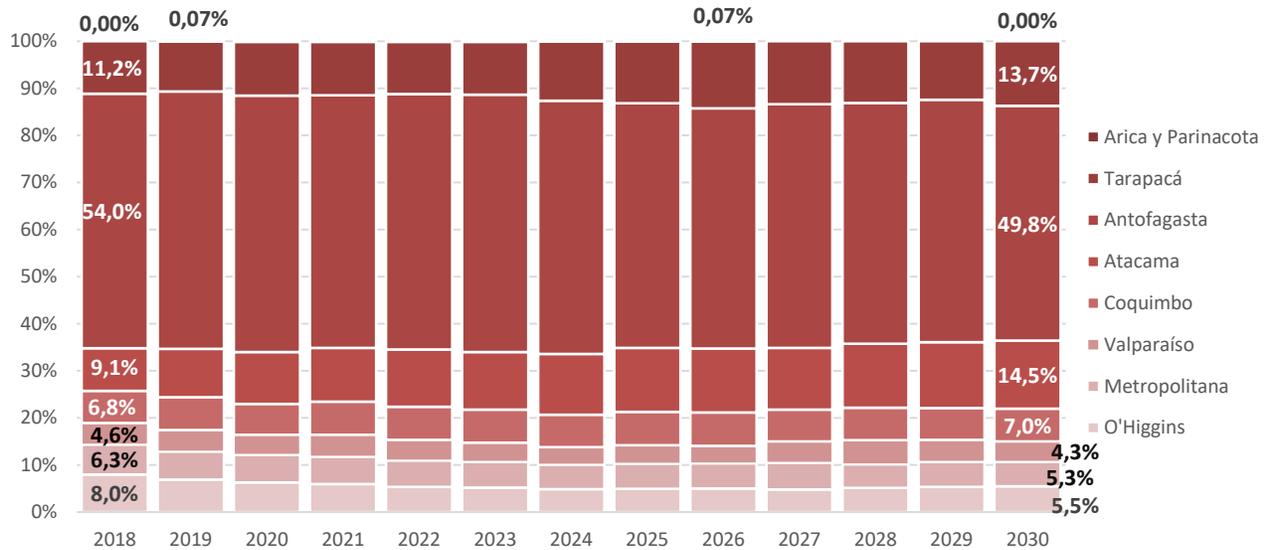


Fuente: Cochilco, 2019.

Sin embargo, a pesar de que Antofagasta seguiría siendo la región líder en producción cuprífera hacia el 2030 con 3,51 millones de toneladas de cobre fino, su participación en la producción nacional se reduciría pasando del actual 54% en 2018 a un 49,8% hacia el 2030, incluso aumentando su producción en 356 mil toneladas en el periodo de análisis. Entre las regiones que aumentan su participación en la producción nacional se encuentran Atacama (9,1% de participación en 2018 a 14,5% en 2030), Tarapacá (11,2% a 13,7%) y Coquimbo (6,8% a 7%) (Figura 9).



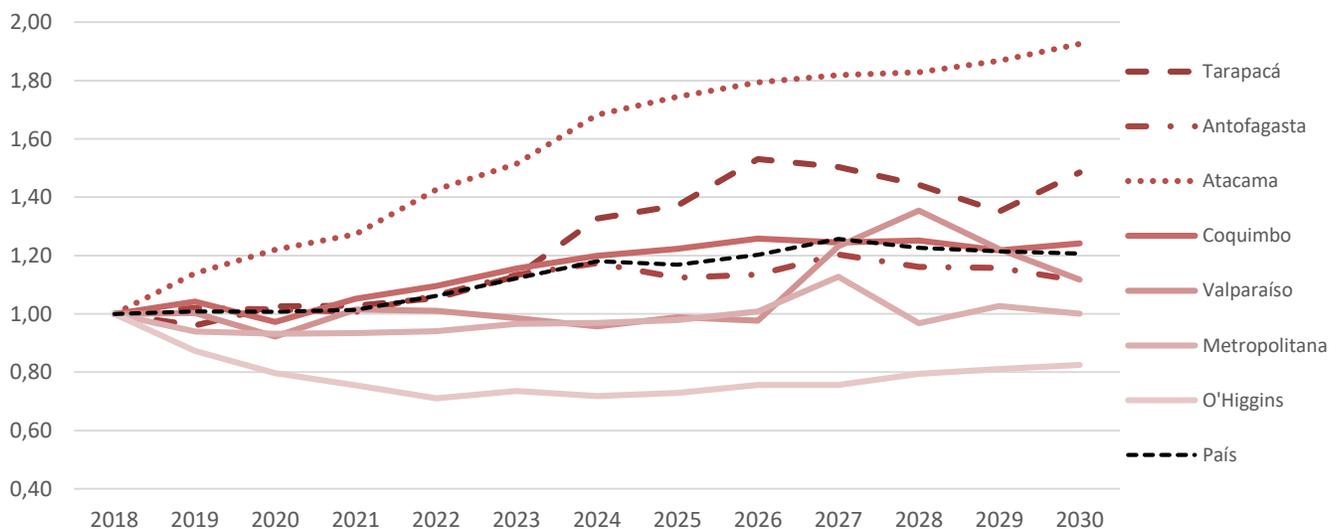
Figura 9: Participación de la producción regional en el perfil de proyección de producción esperada.



Fuente: Cochilco, 2019.

Asimismo, el aumento productivo del país vendrá de la mano de las regiones anteriormente nombradas, donde Atacama crece en 92,6%, con 490,2 mil toneladas de cobre fino adicionales a lo producido en 2018, Tarapacá en segundo lugar con un crecimiento productivo de 48,5% equivalente a 315,5 mil toneladas adicionales y Coquimbo con un aumento productivo de 24,2% con respecto a 2018, equivalente a 95,5 mil toneladas más de producción. Antofagasta y el resto de regiones crecen inferiormente al aumento porcentual país (20,7%), tal cual como se observa en la Figura 10.

Figura 10: Índice de variación anual de producción por región en el periodo 2019 - 2030, año base 2018.



Fuente: Cochilco, 2019.

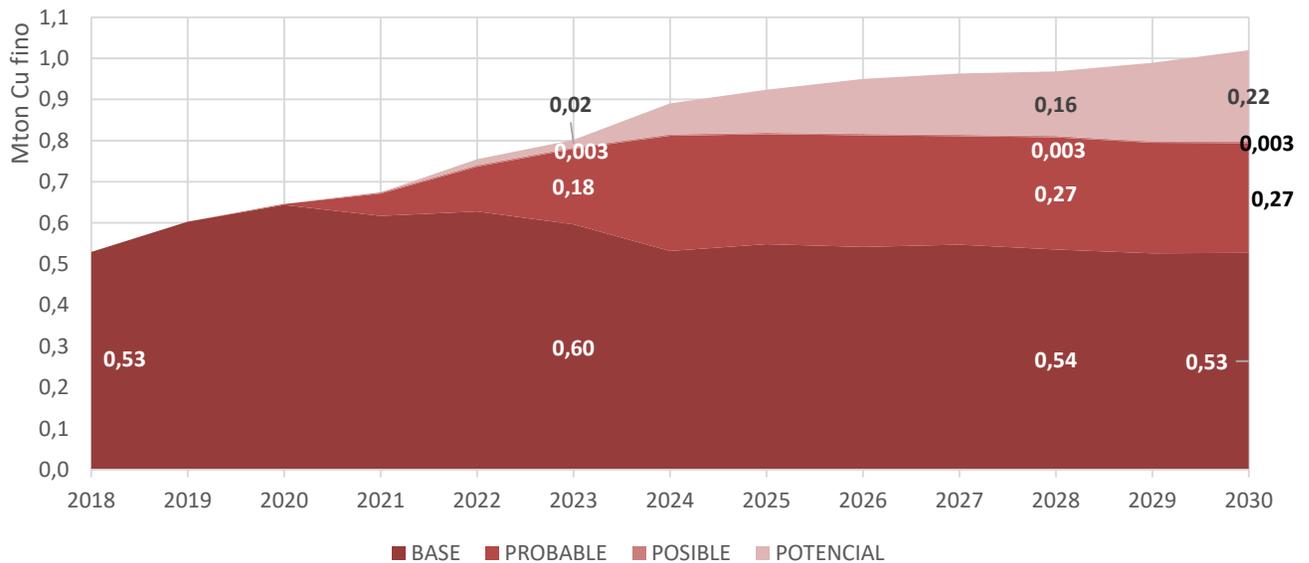


Bajo la premisa de que las regiones de Atacama, Tarapacá y Coquimbo serán las con más crecimiento productivo, sumado a la importancia en la participación productiva futura de Antofagasta, revisaremos que tipo de proyectos son los que más influyen estos crecimientos y como se espera que quede definida su matriz productiva en cada una de éstas regiones.

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 *potencial*, las cuales aportarían un 47,9% de la oferta de la región, alrededor de 489 mil toneladas de cobre fino (Figura 11).

Figura 11: Aporte productivo de los proyectos según condición en la región de Atacama.

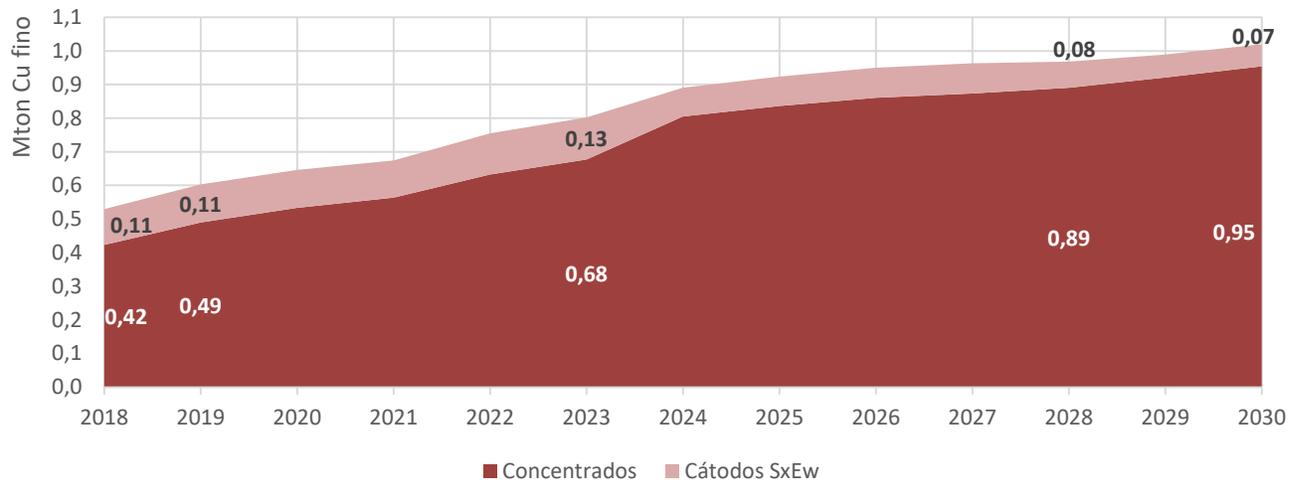


Fuente: Cochilco, 2019.

En el caso de las iniciativas en condición *probable* se destacan los proyectos Rajo Inca de Codelco, Santo Domingo de Capstone Mining y Diego de Almagro, de la filial minera de COPEC. Por el lado de los proyectos en condición *potencial* Nueva Unión y sus tres fases de desarrollo serán las impulsoras de la producción cuprífera en la próxima década.



Figura 12: Producción esperada de cobre en la región de Atacama según producto final.



Fuente: Cochilco, 2019.

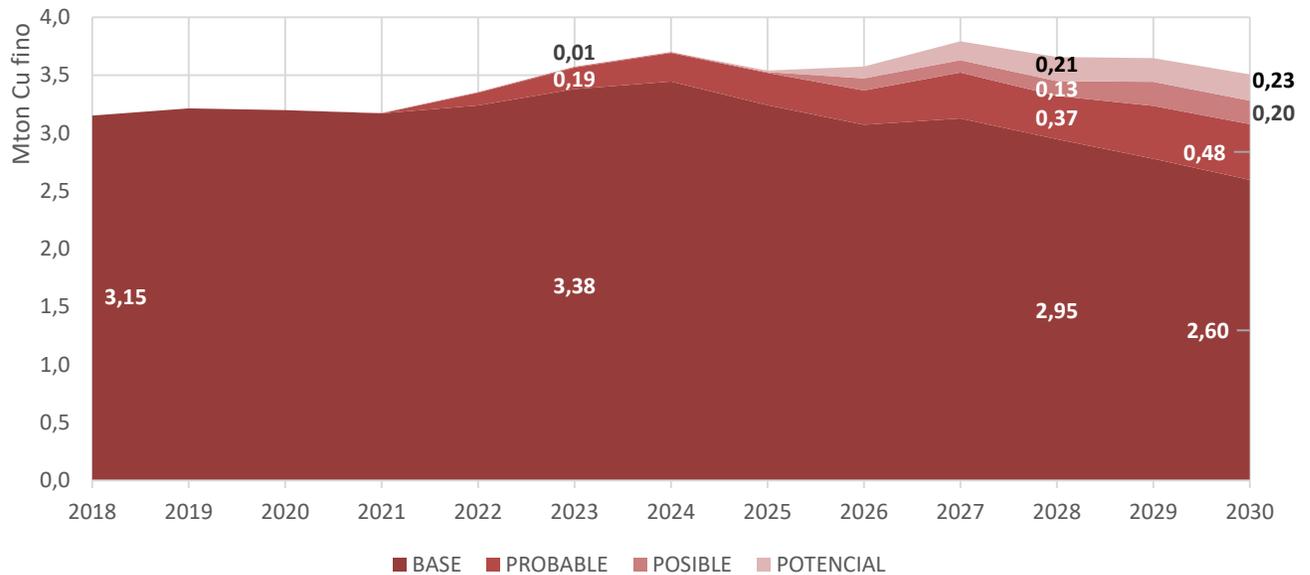
En el caso de la estructura productiva de la región, ésta se mantendrá enfocada en la producción de concentrados, pasando de un 79,9% de participación al 93,6% hacia 2030. Este aumento de participación es debido a que la producción de concentrados aumentará en 531,2 mil toneladas, 126% más con respecto a 2018, mientras que la producción de cátodos SxEw caerá en 41 mil toneladas, una disminución de un 38,5% (Figura 12).

2.1.2. Aporte y estructura productiva futura región de Antofagasta.

En esta región, el impulso productivo lo darán aquellos proyectos en condición *posible* y *potencial*, los que aportarían un 12,2% de la oferta productiva de la región hacia 2030, equivalente a de 429,5 mil toneladas de cobre fino. Si bien los proyectos en condición *probable* son los que más aportan, 13,7% de la futura producción lo que equivale a 480,9 mil toneladas, no son suficientes para sostener la caída productiva de las operaciones actuales (Figura 13).



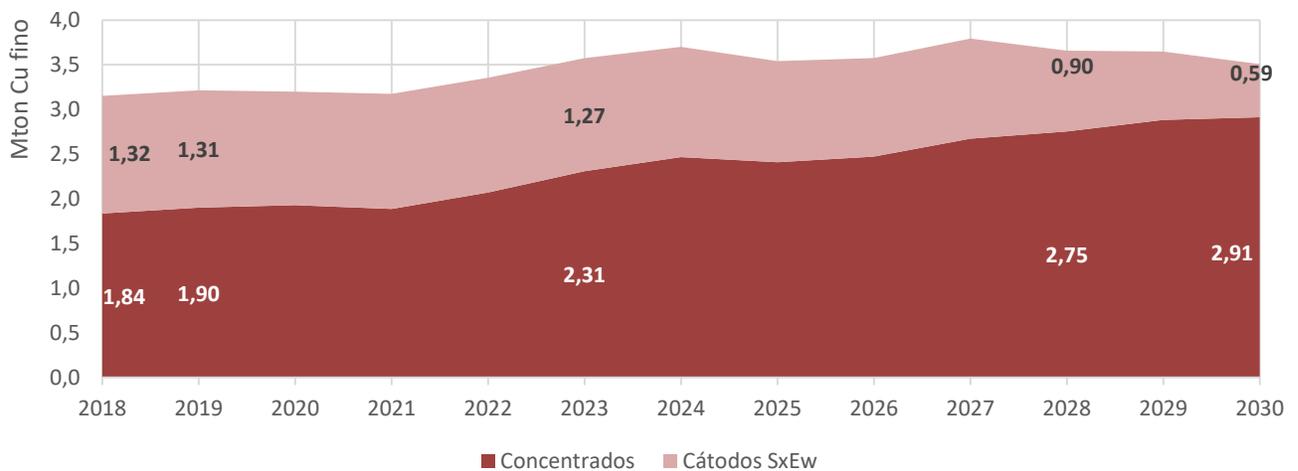
Figura 13: Aporte productivo de los proyectos según condición en la región de Antofagasta.



Fuente: Cochilco, 2019.

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 58,2% de participación en 2018 a 83% en 2030, equivalentes a 1,076 millones de toneladas adicionales a la producción de 2018, crecimiento de 58,7%. Por otra parte, la producción de cátodos SxEw pasaría de 41,8% de participación en 2018 a solo un 17% al cerrar el periodo de análisis, lo que corresponde a una caída de este tipo de producto de 54,8%, esto quiere decir 721 mil toneladas menos de cátodos SxEw. (¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.).

Figura 14: Producción esperada de cobre en la región de Antofagasta según producto final.



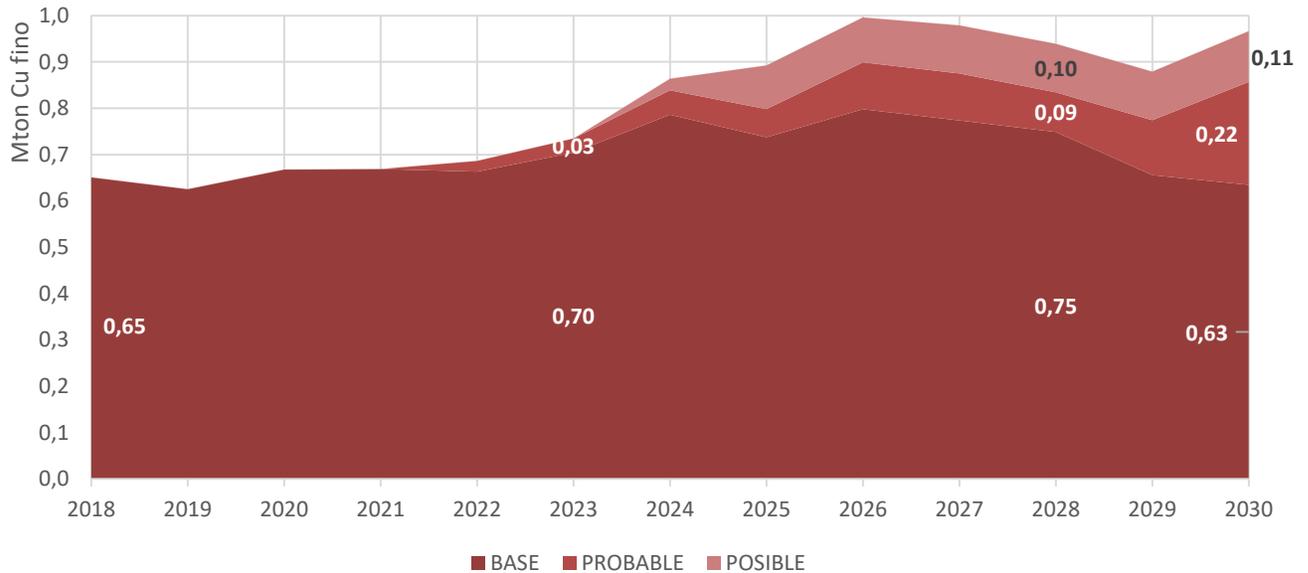
Fuente: Cochilco, 2019.



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 las condiciones *probable* y *posible*. Estos aportarían alrededor de 332 mil toneladas adicionales de producción, equivalente a un 34,3% de la oferta futura de la región (Figura 15).

Figura 15: Aporte productivo de los proyectos según condición en la región de Tarapacá.

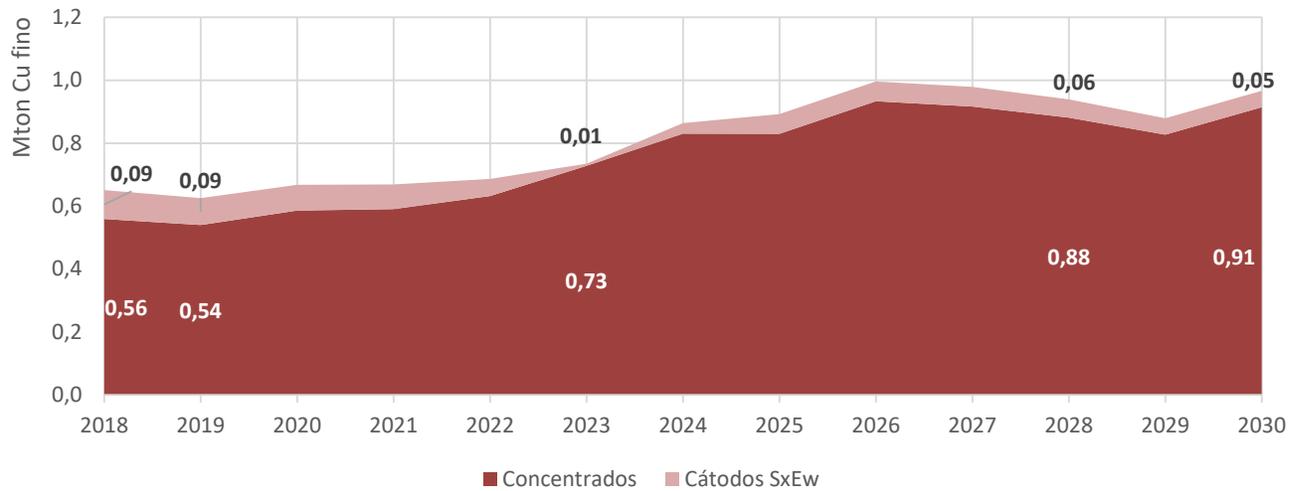


Fuente: Cochilco, 2019.

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 85,9% de la producción de la región a casi tener el 95% de participación hacia 2030, con un leve aporte de producción SxEw proveniente de Collahuasi desde el año 2023 (52,4 mil toneladas). En estricto rigor, el aumento de la producción de la región provendrá de los concentrados, 355 mil toneladas más que los concentrados producidos en 2018 (Figura 16).



Figura 16: Producción esperada de cobre en la región de Tarapacá según producto final.

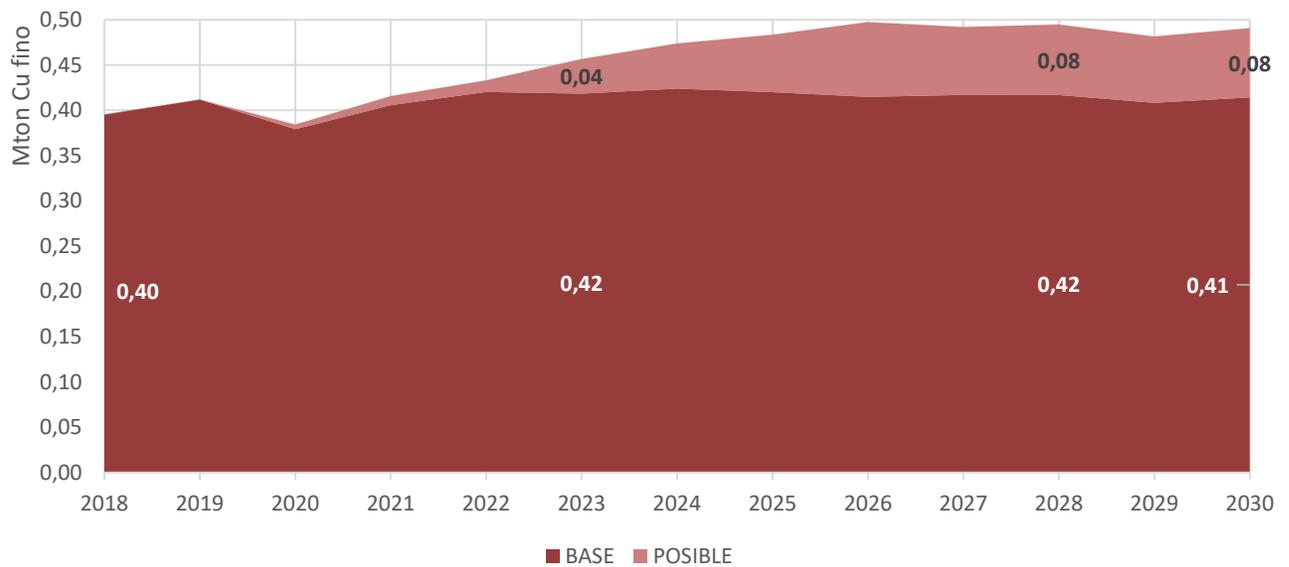


Fuente: Cochilco, 2019.

2.1.4. Aporte y estructura productiva futura región de Coquimbo.

La región de Coquimbo verá un crecimiento importante de la mano de Los Pelambres y sus proyectos de expansión, sumado a algunas pequeñas iniciativas de mediana minería. Estos serán responsables de un 15,6% de la oferta futura hacia 2030 (Figura 17).

Figura 17: Aporte productivo de los proyectos según condición en la región de Coquimbo.

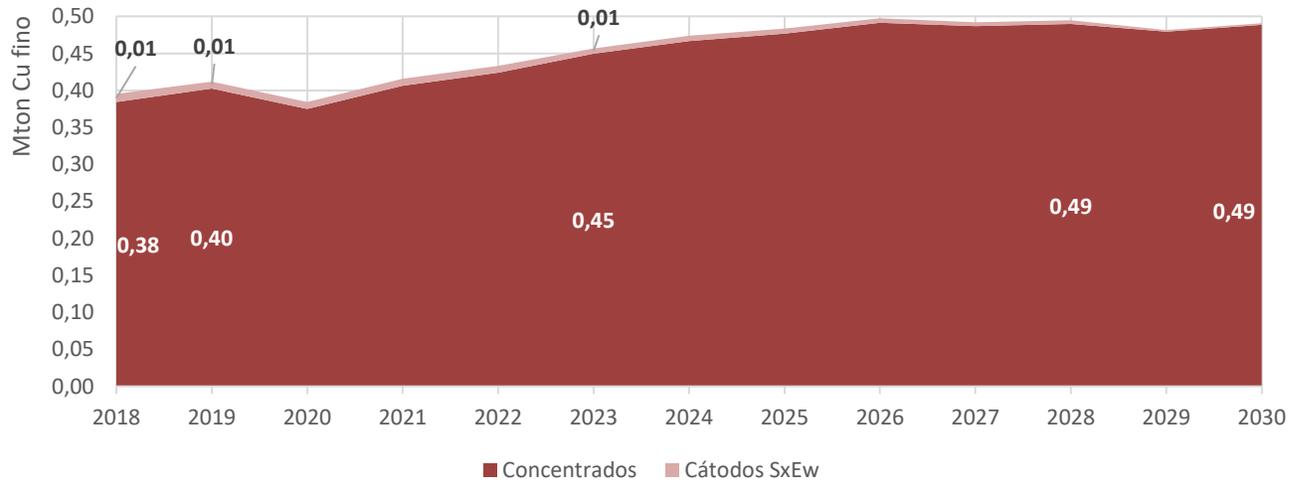


Fuente: Cochilco, 2019.



La estructura productiva de esta región es distinta, ya que la producción SxEw no es importante dentro de la región, por lo cual ésta tenderá a desaparecer hacia el 2030 (Figura 18).

Figura 18: Producción esperada de cobre en la región de Coquimbo según producto final.



Fuente: Cochilco, 2019.



Capítulo 3: Comentarios finales



3. Comentarios finales

La proyección de producción esperada de cobre para los próximos diez años, basada en el desenvolvimiento futuro de las operaciones actuales como también en la condicionalidad de materialización de los proyectos mineros, muestra un incremento de 20,7% hacia el 2030, respecto a la producción real de 2018. Esto quiere decir que nuestro país alcanzaría una producción de cobre de 7,04 millones de toneladas al año 2030, una tasa de crecimiento promedio de 1,6%, con un *peak* en el año 2027 de 7,33 millones de toneladas.

En los extremos de esta proyección encontramos que la producción de cobre máxima posible, sin aplicar condicionalidad de las iniciativas y sobre la base que todos los proyectos mineros considerados en esta proyección son ejecutados en los plazos indicados públicamente por las empresas mineras, sin retrasos, alcanzaría las 8,19 millones de toneladas de cobre fino en 2030, 38,5% más que la producción real de 2018, con una tasa de crecimiento anual de 2,75% con respecto al mismo año base y alcanzando un *peak* en el año 2027 de 8,46 millones de toneladas.

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

Al analizar bajo el parámetro de la condicionalidad, se observa que aquellos proyectos y operaciones pertenecientes a la condición base, considerando el periodo de análisis entre los años 2018 y 2030, podrían disminuir su producción de cobre fino en 15,28% a una tasa de 1,37%, para llegar a 4,94 millones de toneladas cerrando el periodo de análisis, con un máximo productivo esperado para el 2024 con 6,06 millones de toneladas. Al incluir en este perfil aquellas iniciativas en condición probable, la producción crecería a una tasa de 0,38% hasta alcanzar una producción hacia el 2030 de 6,1 millones de toneladas, un 4,61% más de lo alcanzado en 2018, con un máximo de 6,72 millones de toneladas hacia el 2024. Este escenario inicial no aseguraría en el largo plazo un incremento sustancial de la producción chilena, si no por el contrario, se estima que pasado el período de estudio esta decrezca lentamente si no se añaden nuevas iniciativas a los perfiles productivos. He aquí la importancia de aquellas iniciativas en condición posible y potencial.

Ahora, al añadir al perfil anterior aquellas iniciativas en condición posible, la tendencia hacia 2030 de la producción esperada de 4,61% de crecimiento pasaría a un aumento de 11,34% con respecto a 2018, alcanzando hacia 2030 alrededor de 6,49 millones de toneladas, a una tasa de crecimiento anual de 0,9%. La gran diferencia ocurre al incluir aquellos proyectos en condición potencial, donde el escenario de crecimiento casi se duplica con respecto a lo anterior, aumento hacia el 2030 de 20,7% con respecto a 2018, alcanzando las 7,04 millones de toneladas y el máximo productivo de 7,33 millones de toneladas hacia el 2027.

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

Las proyecciones actuales de las faenas operativas indican que, hacia el 2030, éstas podrían disminuir su producción en un 30%, a una tasa de decrecimiento de 2,9% con respecto a 2018, llegando a 4,08 millones de toneladas de cobre fino al cierre del periodo de análisis.



La necesidad de nuevos proyectos para la industria del cobre se observa cuando, al incluir 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) éstas no logran revertir el escenario de reducción de producción (o lo aminoran levemente), llegando a 5,41 millones de toneladas hacia el 2030, un 7,25% menos que lo alcanzando en 2018. La responsabilidad recae en el decaimiento de las operaciones actuales y sus proyectos asociados a la línea de óxidos.

En resumen, el crecimiento productivo del país solo es posible si se logran materializar todas aquellas iniciativas nuevas de la cartera inversional, las que aportarían lo necesario para llegar al crecimiento esperado de 20,7% hacia 2030.

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

Si bien en los últimos 8 años se ha observado un aumento fuerte de la producción proveniente de la minería a rajo abierto por sobre la subterránea (la primera con un crecimiento de 10,7% y la segunda decreciendo alrededor de 12%), lo que ha hecho pasar a la minería subterránea desde una participación del 14,2% en 2010 a un 11,6% el 2018, la próxima década muestra un fuerte crecimiento de la extracción subterránea, 48,1% entre 2018 y 2030, apoyado mayoritariamente por los proyectos Nuevo Nivel Mina y Los Bronces Integrado, versus un 17,1% de la minería a rajo abierto.

Sin embargo este crecimiento no se traduce en un aumento sustancial de la participación de la minería subterránea, ya que hacia 2030 se espera que este método de extracción tenga una participación de 14%, muy similar al año 2010, manteniendo la importancia de la actividad a rajo abierto. Este escenario muestra la necesidad de que la actividad extractiva sea más amigable con su entorno, debido a la magnitud de los proyectos futuros que utilicen este método de explotación.

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

Si revisamos el comportamiento de las operaciones hidrometalúrgicas actuales y vemos como se desenvolverán a futuro, de las actuales 31 operaciones activas, hacia el 2030 solo quedarán 19 operativas, 8 pertenecientes a la gran minería más las 5 operaciones de Enami y 6 operaciones de mediana minería. Los únicos “nuevos” proyectos observados en el futuro, dentro de las operaciones activas, serían Diego de Almagro óxidos (2021-2031), Productora óxidos (2022-2035), Marimaca (2025-2040), la reapertura de Rayrock (2021-2035), Planta NORA (Ex Berta, 2020-2035), Playa Verde (2023-2030) y algunos pequeños proyectos en el Distrito Centinela que mantendrían operativa la planta de óxidos actual (2026-2040).

Se estima que, si la producción hidrometalúrgica esperada disminuye un 52,6% hacia el 2030 con respecto a la producción del año 2018, a una tasa de decrecimiento anual de un 6%, la producción esperada de cobre fino contenida en concentrados aumentaría desde las 4,3 millones de toneladas de cobre fino en 2018 hasta 6,3 millones de toneladas de cobre fino en concentrados en 2030, un aumento de un 47,8% en el periodo analizado, a una tasa de crecimiento anual de 3,3%. Esto, sin cambios sustanciales en la producción FURE del país.



La producción de concentrados sin refinar en nuestro país irá aumentando desde el 71% de participación en la producción total de concentrados en 2018 a un 75% hacia 2030, pasando de exportar alrededor de 3 millones de toneladas cobre fino en concentrados, en torno a las 10,51 millones de toneladas métricas secas de concentrados, a alrededor de 4,74 millones de toneladas de cobre fino hacia 2030, aproximadamente 16,9 millones de toneladas métricas secas de concentrados. Asimismo, este aumento de la producción esperada de concentrados vendrá de la mano de un fuerte aumento del procesamiento de minerales sulfurados en plantas concentradoras, que se espera que pase de las 706 millones de toneladas en 2018 a 1.242 millones de toneladas hacia 2030, que corresponde a un crecimiento de 75,8%. Por otro lado, se estima que en Chile, debido a la disminución de la producción hidrometalúrgica, quedaría una capacidad instalada de plantas SxEw sin utilizar cercana a las 1,3 millones de toneladas.

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

A pesar de que Antofagasta seguiría siendo la región líder en producción cuprífera hacia el 2030 con 3,51 millones de toneladas de cobre fino, su participación en la producción nacional se reduciría pasando del actual 54% en 2018 a un 49,8% hacia el 2030, incluso aumentando su producción en 356 mil toneladas en el periodo de análisis. Entre las regiones que aumentan su participación en la producción nacional se encuentran Atacama (9,1% de participación en 2018 a 14,5% en 2030), Tarapacá (11,2% a 13,7%) y Coquimbo (6,8% a 7%).

Asimismo, el aumento productivo del país vendrá de la mano de las regiones anteriormente nombradas, donde Atacama crece en 92,6%, con 490,2 mil toneladas de cobre fino adicionales a lo producido en 2018, Tarapacá en segundo lugar con un crecimiento productivo de 48,5% equivalente a 315,5 mil toneladas adicionales y Coquimbo con un aumento productivo de 24,2% con respecto a 2018, equivalente a 95,5 mil toneladas más de producción. Antofagasta y el resto de regiones crecen inferiormente al aumento porcentual país (20,7%).



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 considerado⁶.
- 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.

⁶ 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 máxima⁷

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.

⁷ 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 2018.

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.

$$Ponderador_Prod_Cu_{kiat} = \frac{Producción_Real_{kiat}}{Producción_Est_{kiat}} \quad (4)$$

Donde,



- k : Condición/estado del proyecto minero considerado⁸.
- i : Faena minera considerada.
- 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 considerado⁹.
- 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 determinada¹⁰. 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.

⁸ Las condiciones/estados de los proyectos que se establecen en el presente informe son: Base, Probable, Posible-factibilidad, Potencial-factibilidad y Potencial-prefactibilidad.

⁹ Las condiciones/estados de los proyectos que se establecen en el presente informe son: Base, Probable, Posible-factibilidad, Potencial-factibilidad y Potencial-prefactibilidad.

¹⁰ 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.



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.

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: Proyección de producción a nivel nacional al año 2030.

En la Tabla 4 se muestra el detalle de la proyección esperada de producción de cobre fino mina a nivel nacional en el periodo 2019 – 2030. Esta producción se estima en 5,88 millones de toneladas de cobre en 2019, para luego aumentar hasta 7,04 millones de toneladas en 2030. Por otro lado, la producción máxima y mínima posible, en base a la cartera de proyectos 2019, sería de 8,08 millones de toneladas de cobre fino y 5,91 millones de toneladas hacia el 2030, respectivamente.

Tabla 4: Proyección esperada, cap. máxima y mínima de producción, 2019 – 2030, en miles de tons.

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Producción máxima	6.241,7	6.421,5	6.485,2	6.843,2	7.217,3	7.717,3	7.649,8	8.003,9	8.458,2	8.174,3	8.186,4	8.079,4
Producción esperada	5.882,0	5.870,3	5.912,3	6.188,5	6.539,5	6.885,6	6.813,8	7.011,0	7.327,2	7.151,9	7.083,6	7.038,9
Producción mínima	5.169,8	5.290,4	5.306,8	5.571,2	5.865,9	6.147,1	6.033,3	6.137,9	6.362,3	6.094,9	6.031,5	5.906,7

Fuente: Cochilco, 2019.

En la Tabla 5 se muestran las proyecciones de producción máxima según tipo de proyecto, mientras que en las tablas 6, 7, 8, 9, 10 y 11 se muestran los datos de la producción de cobre esperada al año 2030 desagregada según diferentes clasificaciones.

Tabla 5: Proy. máx. de prod. de cobre a nivel nacional según condición, 2019 – 2030, en miles de tons.

Condición	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BASE	6.238,4	6.406,0	6.385,5	6.413,6	6.517,2	6.589,8	6.312,0	6.188,7	6.200,8	5.964,3	5.637,4	5.364,8
PROBABLE	3,2	6,5	73,8	364,7	584,3	806,2	854,3	926,0	1.117,3	964,5	1.180,1	1.304,3
POSIBLE	0,0	9,0	25,9	31,6	76,6	155,6	239,0	396,6	388,4	414,4	495,7	491,6
POTENCIAL	0,0	0,0	0,0	33,2	39,3	165,6	244,6	492,8	751,7	831,1	873,2	918,8
Total	6.241,7	6.421,5	6.485,2	6.843,2	7.217,3	7.717,3	7.649,8	8.003,9	8.458,2	8.174,3	8.186,4	8.079,4

Fuente: Cochilco, 2019.

Tabla 6: Proy. esperada de prod. de cobre a nivel nacional según condición, 2019 – 2030, en miles de tons.

Condición	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BASE	5.882,0	5.862,7	5.842,1	5.868,1	5.992,9	6.058,0	5.811,9	5.706,3	5.713,1	5.492,0	5.189,9	4.940,8
PROBABLE	0,0	2,4	54,1	284,1	479,4	666,9	716,0	782,0	946,3	906,4	1.027,2	1.159,7
POSIBLE	0,0	5,2	16,0	21,7	48,5	85,5	168,5	287,5	289,3	314,1	389,3	392,7
POTENCIAL	0,0	0,0	0,0	14,5	18,6	75,2	117,5	235,3	378,5	439,4	477,2	545,8
Total	5.882,0	5.870,3	5.912,3	6.188,5	6.539,5	6.885,6	6.813,8	7.011,0	7.327,2	7.151,9	7.083,6	7.038,9

Fuente: Cochilco, 2019.



Tabla 7: Proy. esperada de prod. de cobre a nivel nacional según producto, 2019 – 2030, en miles de tons.

Producto final	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Concentrados	4.300,0	4.334,2	4.365,6	4.658,9	5.076,2	5.469,4	5.478,6	5.692,4	5.996,4	6.063,6	6.147,0	6.292
Cátodos EW	1.582,0	1.536,1	1.546,7	1.529,6	1.463,3	1.416,2	1.335,2	1.318,6	1.330,8	1.088,3	936,6	747,4

Fuente: Cochilco, 2019.

Tabla 8: Proy. esperada de prod. de cobre país según producto exportable, 2019 – 2030, en miles de tons.

Producto final	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Cátodos EW	1.582,0	1.536,1	1.546,7	1.529,6	1.463,3	1.416,2	1.335,2	1.318,6	1.330,8	1.088,3	936,6	747,4
Ánodos + Cátodos ER	1.108,9	1.393,3	1.427,3	1.389,2	1.422,2	1.536,3	1.541,9	1.535,1	1.535,8	1.541,1	1.548,6	1.548,5
Concentrados	3.191,2	2.940,9	2.938,3	3.269,7	3.654,0	3.933,0	3.936,7	4.157,4	4.460,6	4.522,5	4.598,4	4.743,0

Fuente: Cochilco, 2019.

Tabla 9: Proy. esperada de prod. de cobre a nivel nacional según tipo de proyecto, 2019 – 2030, en miles de tons.

Tipo de proyecto	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Operación	5.875,2	5.851,8	5.750,3	5.617,7	5.597,3	5.560,1	5.339,0	5.185,8	4.954,7	4.681,9	4.348,0	4.079,9
Reposición	0,0	2,4	6,8	56,3	128,8	164,6	229,7	274,7	597,3	599,5	685,5	698,7
Expansión	6,8	10,9	43,7	145,1	228,6	271,4	328,0	377,7	449,0	439,5	494,7	630,4
Nuevo	0,0	5,2	111,5	369,4	584,9	889,5	917,1	1.172,7	1.326,2	1.431,0	1.555,4	1.629,9

Fuente: Cochilco, 2019.

Tabla 10: Proy. esperada de prod. de cobre país según método de explotación, 2019 – 2030, en miles de tons.

Método de explotación	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Rajo abierto	5.171,3	5.179,0	5.268,2	5.544,5	5.846,9	6.147,1	6.055,8	6.088,9	6.321,7	6.153,3	6.089,7	6.038,5
Subterránea	710,7	691,3	644,1	644,0	692,6	738,5	758,0	922,1	1.005,5	998,6	993,9	1.000,5

Fuente: Cochilco, 2019.



Tabla 11: Proy. esperada de prod. de cobre a nivel regional según área productiva, 2019 – 2030, en miles de tons.

Región/Producto	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Arica y Parinacota	4,1	10,1	10,0	9,3	8,2	7,5	6,7	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0
CONCENTRADO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SXEW	4,1	10,1	10,0	9,3	8,2	7,5	6,7	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Tarapacá	625,4	667,7	668,8	686,4	734,7	863,7	892,4	996,0	978,8	939,1	879,0	966,4
CONCENTRADO	540,0	585,9	590,5	632,0	728,0	830,2	829,6	933,1	916,3	881,1	826,9	914,0
SXEW	85,4	81,8	78,3	54,4	6,8	33,5	62,8	62,9	62,5	58,1	52,1	52,4
Antofagasta	3.213,3	3.198,1	3.173,4	3.353,9	3.573,0	3.699,5	3.539,9	3.574,2	3.792,5	3.657,1	3.647,1	3.506,7
CONCENTRADO	1.900,5	1.928,5	1.885,5	2.070,0	2.308,0	2.465,9	2.408,6	2.471,7	2.672,2	2.752,8	2.882,1	2.911,9
SXEW	1.312,7	1.269,7	1.287,9	1.283,9	1.265,0	1.233,6	1.131,3	1.102,6	1.120,3	904,3	765,0	594,8
Atacama	603,0	646,0	674,2	754,8	801,9	890,5	923,6	949,9	963,1	968,1	989,1	1.019,7
CONCENTRADO	489,7	533,2	563,5	632,4	676,9	804,9	836,1	860,6	873,3	890,3	920,9	954,1
SXEW	113,3	112,8	110,7	122,4	125,0	85,6	87,6	89,3	89,8	77,9	68,3	65,5
Coquimbo	411,9	384,3	415,8	433,1	456,7	473,9	483,6	497,5	492,1	494,8	481,6	490,8
CONCENTRADO	402,5	374,9	406,3	424,0	449,7	466,7	476,8	491,5	486,9	489,9	479,4	488,7
SXEW	9,4	9,4	9,5	9,2	7,0	7,2	6,8	6,0	5,2	4,9	2,2	2,2
Valparaíso	270,2	248,3	273,3	272,3	265,5	257,9	266,3	263,0	331,8	364,9	329,3	301,0
CONCENTRADO	253,7	233,0	258,0	257,0	250,5	242,7	251,4	248,1	316,9	351,4	321,9	294,4
SXEW	16,5	15,3	15,3	15,2	15,0	15,2	15,0	14,9	14,9	13,5	7,4	6,6
Metropolitana	347,4	344,3	345,0	347,8	356,9	358,0	361,8	372,7	416,3	357,9	379,6	369,8
CONCENTRADO	308,5	308,2	310,9	313,5	321,6	325,3	337,6	335,9	378,9	329,0	338,5	344,4
SXEW	38,8	36,1	34,1	34,3	35,3	32,7	24,2	36,9	37,4	28,9	41,2	25,5
O'Higgins	406,7	371,4	351,8	331,0	342,5	334,6	339,5	352,4	352,6	370,0	377,8	384,5
CONCENTRADO	405,0	370,5	350,8	330,0	341,6	333,7	338,6	351,7	351,8	369,2	377,4	384,1
SXEW	1,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5

Fuente: Cochilco, 2019.

Anexo 3: 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

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Victor Garay L.

Director de Estudios y Políticas Públicas (s)

Diciembre/ 2019

