



Proyección de la producción de cobre en Chile 2018 – 2029

DEPP 15/2018

Resumen Ejecutivo



Resumen ejecutivo

Los resultados de la proyección esperada de producción para el periodo 2018 - 2029 han permitido determinar que, a fines del periodo en análisis, la producción esperada nacional de cobre fino, tanto en cátodos SxEw como contenido en concentrados, podría crecer un 28,3% comparada con la producción cuprífera alcanzada en 2017, para llegar a las 7,06 millones de toneladas de cobre fino. El peak productivo en el caso esperado sería alcanzable en el año 2025, con 7,25 millones de toneladas. Este perfil productivo está basado en los estados de certidumbre de los proyectos mineros catastrados, y por ende, considera retrasos y problemas productivos propios de un proyecto minero, pero no considera factores como huelgas u otros retrasos en las iniciativas.

Destaca el decaimiento productivo observado de las operaciones actuales, que se calcula sea de un 19%, llegando a las 4,46 millones de toneladas, donde los proyectos de reposición/expansión no logran impactar en el perfil productivo, debido al cierre de operaciones actuales, sobre todo aquellas asociadas a líneas hidrometalúrgicas que cada vez serán menos en la matriz productiva del país. Por esto, se espera que el crecimiento productivo del país solo será posible si se logran materializar todas aquellas iniciativas nuevas de la cartera inversional, las que aportarían un crecimiento con respecto a 2017 de 28,31% hacia 2029, alcanzando las esperadas 7,06 millones de toneladas de cobre fino.

La relación entre la minería subterránea y la minería rajo abierto se mantendrá estable durante el próximo decenio, tal cual como se ha mantenido en los últimos ocho años, donde esta última ha tenido participaciones entre 86,6% (2011) a 88,6% (2013). Para los próximos años se observa un mínimo de participación de la minería a rajo de 88,2% hacia el año 2022 y un máximo de participación de 89,4% el 2018, esto último debido al cierre de algunas operaciones de minería subterránea, como también a que los grandes proyectos considerados en la cartera actual son solo reemplazo productivo de operaciones actuales, sin generar aportes significativos al perfil de producción.

La producción hidrometalúrgica pasaría de una participación de 28,8% de la producción total en 2017 a 11,6% hacia 2029, mientras que la producción de concentrados pasa de una participación del 71,2% al 88,4% en el mismo periodo, sin cambios sustanciales en líneas productivas de FURE. Si la producción esperada de cobre fino en cátodos SxEw disminuye en un 48,3% hacia el 2029 con respecto a la producción del año 2017, a una tasa de decrecimiento anual de un 4,94%, la producción esperada de cobre fino contenida en concentrados aumentaría desde las 3,92 millones de toneladas de cobre fino en 2017 hasta 6,24 millones de toneladas de cobre fino en concentrados en 2029, un aumento de un 59,3% en el periodo analizado, a una tasa de crecimiento anual de 3,65%.

En el caso de la producción de concentrados, lo interesante a revisar es que este incremento no necesariamente se traduciría en aumento de producción de FURE en nuestro país, por el contrario, la producción de concentrados sin refinar en nuestro país irá aumentando desde el 64,5% actual (2017) de participación en la producción total de concentrados a un 74,1% hacia 2029, pasando de exportar alrededor de 2,5 millones de toneladas cobre fino en concentrados, en torno a las 9,27 millones de toneladas métricas secas de concentrados, a alrededor de 4,6 millones de toneladas de cobre fino hacia 2029, aproximadamente 16,6 millones de toneladas métricas secas de concentrados.



En el análisis regional, a pesar de que la región de Antofagasta sigue siendo la más importante región productora de cobre del país, su aumento porcentual es levemente superior al aumento de producción esperado para el país, destacándose como la región con más aumento Atacama, con un crecimiento de un 69%, en segundo lugar Tarapacá con 33% de crecimiento, Antofagasta en tercer lugar con 30%, y la región Metropolitana y Coquimbo con 25% cada una compartiendo el cuarto lugar.



Índice



Índice

Resumen ejecutivo	II
Índice	V
Índice de figuras	V
Índice de tablas	VI
Introducción	2
1. Análisis nacional de la proyección de producción esperada de cobre fino	4
1.1. Proyección nacional de cobre mina 2018 - 2029	4
1.1.1. Proyección nacional de producción de cobre fino según condición	5
1.1.2. Proyección nacional de producción de cobre fino según producto	7
1.1.3. Proyección nacional de producción de cobre fino según tipo de proyecto	10
1.1.4. Proyección nacional de producción de cobre fino según método de extracción	12
2. Análisis regional de la proyección de producción esperada de cobre fino	14
2.1. Proyección nacional de cobre mina 2018 - 2029	14
2.1.1. Aporte y estructura productiva futura región de Atacama	16
2.1.2. Aporte y estructura productiva futura región de Antofagasta	17
2.1.3. Aporte y estructura productiva futura región de Tarapacá	19
3. Comentarios finales	22
Anexo 1: Metodología de proyección de producción esperada	26
3.1. Escenarios de producción	26
3.1.1. Cálculo de la variable de producción máxima de cobre fino	27
3.1.2. Cálculo de la variable de producción más probable de cobre fino	28
3.1.3. Cálculo de la variable de producción mínima de cobre fino	30
Anexo 2: Proyección de producción a nivel nacional al año 2029	32
Anexo 3: Unidades de medida y abreviaciones	35

Índice de figuras

Figura 1: Producción de cobre mina 2017 y proyección periodo 2018 – 2029, a nivel nacional	4
Figura 2: Producción de cobre 2017 y proyección esperada 2018 – 2029, según condición	7



Figura 3: Producción de cobre 2017 y proyección esperada 2018 – 2029, según producto	8
Figura 4: Producción de concentrados refinados y sin refinar, histórico y esperada	9
Figura 5: Producción de Cu fino en concentrados vs procesamiento de minerales sulfurados, 2017 – 2029	10
Figura 6: Producción de cobre 2017 y proyección esperada 2018 – 2029, según tipo de proyecto.	11
Figura 7: Producción de cobre 2010 - 2017 y proyección esperada 2018 - 2029, según método de explotación. .	12
Figura 8: Producción regional de cobre 2017 y proyección de producción esperada 2018 – 2029.	14
Figura 9: Participación de la producción regional en el perfil de proyección de producción esperada.	15
Figura 10: Índice de variación anual de producción por región en el periodo 2017 - 2029, año base 2017.	15
Figura 11: Aporte productivo de los proyectos según condición en la región de Atacama.....	16
Figura 12: Producción esperada de cobre en la región de Atacama según producto final.	17
Figura 13: Aporte productivo de los proyectos según condición en la región de Antofagasta.	18
Figura 14: Producción esperada de cobre en la región de Antofagasta según producto final.	18
Figura 15: Aporte productivo de los proyectos según condición en la región de Tarapacá.	19
Figura 16: Producción esperada de cobre en la región de Tarapacá según producto final.	20

Índice de tablas

Tabla 1: Ponderadores determinísticos de producción futura máxima.....	28
Tabla 2: Ponderadores determinísticos de producción futura más probable	29
Tabla 3: Ponderadores determinísticos de producción futura mínima	31
Tabla 4: Proyección esperada, cap. máxima y mínima de producción, 2018 – 2029, en miles de toneladas.	32
Tabla 5: Proy. máxima de producción de cobre a nivel nacional según condición, 2018 – 2029, en miles de toneladas.....	32
Tabla 6: Proy. esperada de producción de cobre a nivel nacional según condición, 2018 – 2029, en miles de toneladas.....	32
Tabla 7: Proy. esperada de producción de cobre a nivel nacional según producto, 2018 – 2029, en miles de toneladas.....	33
Tabla 8: Proy. esperada de prod. de cobre país según producto exportable, 2018 – 2029, en miles de toneladas	33
Tabla 9: Proy. esperada de prod. de cobre a nivel nacional según tipo de proyecto, 2017 – 2028, en miles de toneladas.....	33
Tabla 10: Proy. esperada de prod. de cobre país según método de explotación, 2018 - 2029, en miles de toneladas.....	33
Tabla 11: Proy. esperada de prod. de cobre a nivel regional según área productiva, 2018 – 2029, en miles de toneladas.....	34



Introducción



Introducción

El presente reporte corresponde a la tercera edición de la línea de trabajo impulsada en 2015, que tenía como objetivo darle la importancia productiva que tenía la cartera de inversiones mineras que, hasta esa fecha, incluía una breve mirada de este aporte productivo. 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 2018 – 2029, dos años más del periodo considerado para la cartera inversionista, debido a que se estima que hacia esa fecha el *ramp up* del último proyecto incluido en la cartera finalizará. 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 2018 -2027* (COCHILCO, 2018).
- b. Cambios en la condicionalidad del proyecto Rajo Inca, que pasa de *potencial a probable*, y la inclusión del proyecto Michilla a partir de 2019, de propiedad de Haldeman, del proyecto Delirio de Santiago Metals a partir de 2019, y la extensión de la vida útil de Atacama Kozan hasta el 2023.
- c. Por la fecha del informe no se considera cambio en la condicionalidad del proyecto INCO de Pelambres, el nuevo proyecto subterráneo de Los Bronces ni la inclusión de la posible reapertura de Iván Zar en la región de Antofagasta, a través de su nuevo dueño, Coro Mining, y el proyecto de extracción denominado Marimaca.
- d. 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.

¹ Para mayor información respecto de esta categorización se ruega revisar el documento *Inversión en la minería chilena - Cartera de proyectos 2018 -2027* (COCHILCO, 2018).



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

Sobre la base de los resultados obtenidos al proyectar la producción nacional de cobre proveniente de las operaciones actuales, aquellos proyectos incluidos en la cartera de inversiones mineras para el periodo 2018 – 2027 y aquellos incluidos de forma adicional en este trabajo por ser proyectos de mediana envergadura que no son considerados en el catastro (ver metodología, ANEXO 1), se comparará la proyección de producción de cobre esperada a nivel nacional para el periodo 2018 – 2029 y con respecto a los niveles máximos y mínimos que se consideran posibles en este periodo. Finalmente, se muestra la proyección de producción categorizada según *condición, tipo de proyecto y producto*.

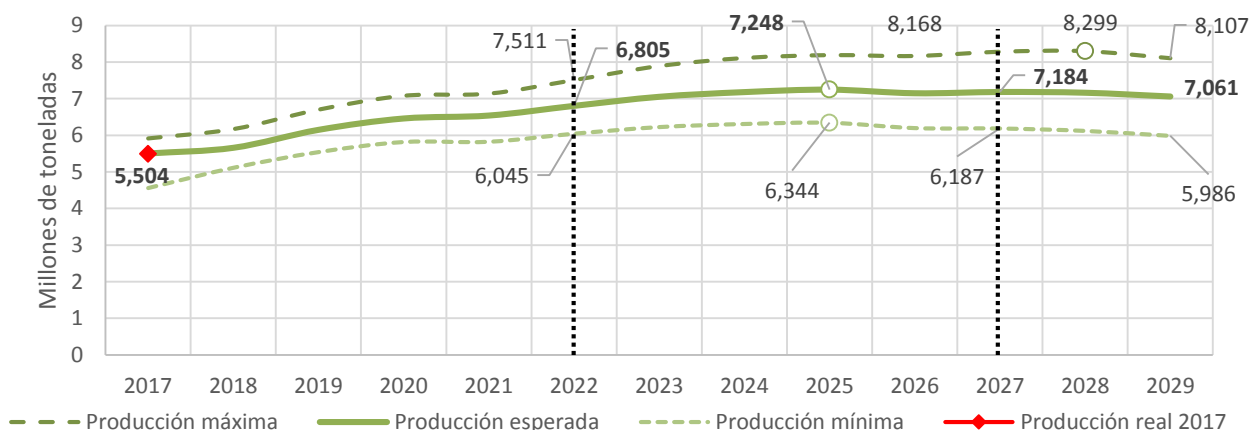
1.1. Proyección nacional de cobre mina 2018 - 2029

La proyección de producción esperada de cobre para los próximos diez años basada en la condicionalidad de materialización de los proyectos incluidos en la cartera de inversiones 2018 muestra un incremento de 28,3% hacia el 2029, respecto a la producción real de 2017. Esto quiere decir que nuestro país alcanzaría una producción de cobre de 7,06 millones de toneladas al año 2029, una tasa de crecimiento promedio de 2,1%, con un *peak* en el año 2025 de 7,25 millones de toneladas, a una tasa de crecimiento con respecto a 2017 de 3,5% (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 8,107 millones de toneladas de cobre fino en 2029, un 47,3% más de lo alcanzado en 2017, con una tasa de crecimiento anual de 2,66% con respecto al mismo año base y alcanzando un *peak* en el año 2028 de 8,3 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 8,8% mayor hacia el año 2029 con respecto a 2017, llegando a las 5,99 millones de toneladas de cobre fino.

Figura 1: Producción de cobre mina 2017 y proyección periodo 2018 – 2029, a nivel nacional.



Fuente: Cochilco, 2018.



Para efectos comparativos con el análisis realizado por quinquenios en el informe “Inversión en la minería chilena – Cartera de proyectos 2018-2027”, la producción asociada a esa cartera será analizada así:

- **Quinquenio 2018 – 2022:** donde la tasa de crecimiento de la producción es de un 4,72% anual en el periodo y la producción esperada alcanza, al cerrar el quinquenio, 6,81 millones de toneladas de cobre mina al año, un aumento de 20,3% con respecto a lo esperado para 2018 (5,66 millones de toneladas de cobre fino).
- **Quinquenio 2023 – 2027:** en este periodo la tasa de crecimiento anual es inferior al quinquenio anterior, 0,46% anual, alcanzando las 7,18 millones de toneladas hacia el 2023, un crecimiento de 1,9% con respecto a la producción esperada para 2023 (7,05 millones de toneladas).
- **2028 – 2029:** En este periodo la producción de cobre cae levemente, pasando de 7,16 millones de toneladas a 7,06 millones de toneladas, influenciada fuertemente por la caída de la producción hidrometalúrgica, la cual se estima que estaría bajo el millón 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.

Como se ha indicado en trabajos anteriores, los proyectos mineros están sujetos a diversas variables, las cuales inciden directamente en la probabilidad de materialización de estos. Por lo mismo, con el fin de hacer interactuar entre si estas variables y generar estimadores adecuados, es que se definen cuatro estados o condiciones: base, probable, posible y potencial², condiciones que pueden ser analizadas en lo que respecta al aporte productivo de las iniciativas consideradas en la cartera inversional de Chile. Asimismo, para efectos prácticos de análisis, se agruparan a su vez en proyectos con mayor o menor probabilidad de materializarse, esto quiere decir proyectos base-probable y posible-potencial, respectivamente.

Aquellos proyectos y operaciones pertenecientes a la condición *base* disminuyan su producción de cobre fino desde lo alcanzado en 2017 hasta el 2029 a una tasa de 0,28%, para llegar a 5,32 millones de toneladas cerrando el periodo de análisis, una caída de 3,33%. Asimismo, se espera que este grupo alcance un máximo productivo en 2020 de 6,26 millones de toneladas, para luego ir disminuyendo hasta el mínimo estimado hacia 2029. Al incluir en este perfil aquellas iniciativas en condición *probable*, la producción crecería a una tasa de 0,98% hasta alcanzar una producción hacia el 2029 de 6,18 millones de toneladas, un 12,4% más de lo alcanzando en 2017.

Una revisión por periodos de los proyectos con mayor probabilidad de materializarse se observa a continuación:

- **Quinquenio 2018 – 2022:** se espera un crecimiento de la producción *base*, llegando a las 6,13 millones de toneladas hacia el 2022, un aumento de 8,4% con respecto a la producción esperada para 2018. Al añadir la producción de los proyectos *probables*, la producción pasa de una tasa de crecimiento de 2,04% a 4,01% anual en el período, alcanzando las 6,62 millones de toneladas hacia el 2022, un aumento de 17% con

² Informe *Inversión en la minería chilena - Cartera de proyectos 2018 -2027 (Cochilco, 2018)*.



respecto a lo esperado para 2018, donde este año sería el registro de menor producción de este grupo (5,66 millones de toneladas).

- **Quinquenio 2023 – 2027:** En este periodo se espera que la producción *base + probable* disminuya a una tasa de 1,23% anual, alcanzando las 6,43 millones de toneladas hacia el 2027, 4,82% menos de producción con respecto a lo esperado para 2023. Cabe destacar que en este periodo, específicamente en el año 2023, los proyectos con más probabilidad de materialización alcanzan su máximo de producción, 6,72 millones de toneladas.
- **2028 – 2029:** 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 2029.

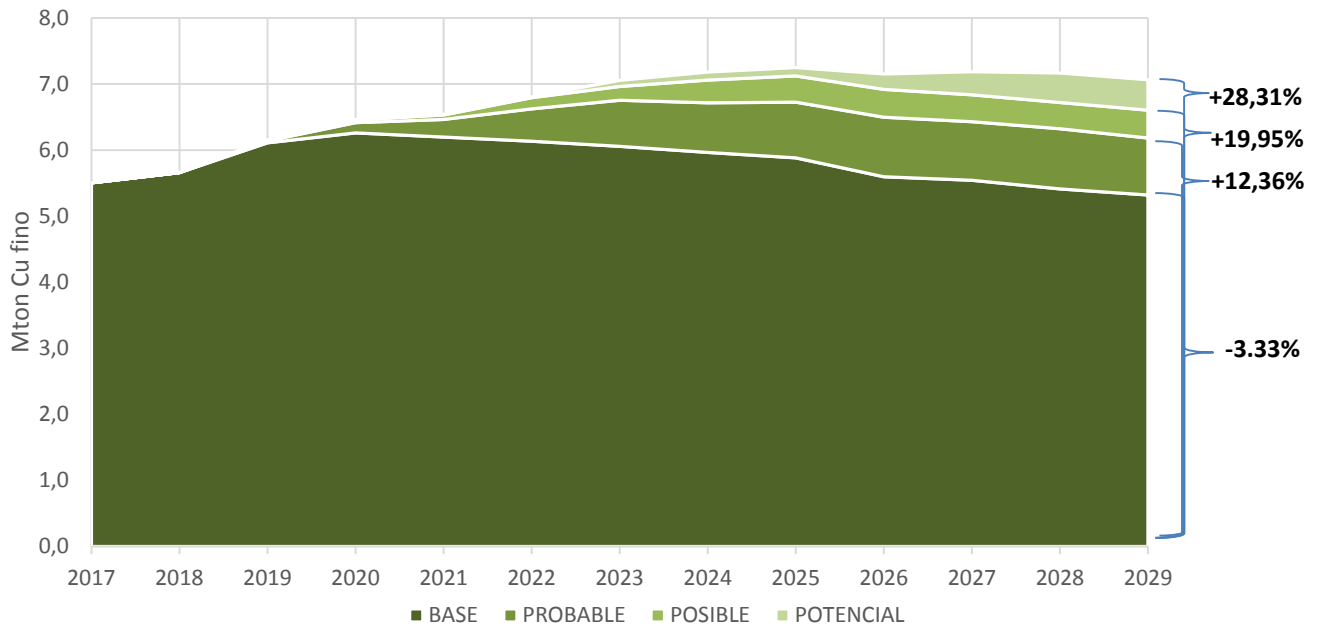
Ahora, al añadir a los perfiles de producción *base + probable* analizados recientemente aquellas iniciativas en condición *posible*, la tendencia de la producción esperada de 12,4% vista anteriormente pasaría a un crecimiento de 19,95% con respecto a 2017, alcanzando hacia 2029 una producción de 6,6 millones de toneladas, a una tasa de crecimiento anual de 1,53% en el periodo 2017-2029. Asimismo, si sumamos el aporte productivo de aquellos proyectos en condición *potencial*, el escenario de crecimiento es aún mayor, donde la producción hacia el 2029 aumentaría en un 28,31% con respecto a 2017, alcanzando las 7,06 millones de toneladas, un crecimiento productivo anual de 2,1%, donde la producción máxima se alcanzaría hacia el 2025 (7,25 millones de toneladas).

Con estos datos recopilados es posible analizar el comportamiento de los aportes productivos de aquellas iniciativas con menor probabilidad de materializarse en los plazos indicados por sus propietarios, es decir aquellas en condición *posible + potencial*:

- **Quinquenio 2018 – 2022:** El perfil de producción *base + probable*, al añadir aquellas iniciativas en condición *posible + potencial*, alcanzaría las 6,81 millones de toneladas, un crecimiento de 20,3% a una tasa anual de 4,72% con respecto a la producción esperada en 2018.
- **Quinquenio 2023 – 2027:** En este quinquenio, al añadir las iniciativas en condición *posible + potencial*, cambia el panorama de un decrecimiento de 1,23% anual a un crecimiento de 0,46% anual, llegando a las 7,18 millones de toneladas. En este periodo es donde se alcanza el máximo productivo de 7,25 millones de toneladas hacia el 2025.
- **2028 – 2029:** A pesar de incluir proyectos en condición *posible + potencial*, este periodo sigue siendo de decrecimiento productivo, 1,44% menos de producción, pasando de 7,16 millones de toneladas el 2028 a 7,06 millones de toneladas el 2029.



Figura 2: Producción de cobre 2017 y proyección esperada 2018 – 2029, según condición.



Fuente: Cochilco, 2018.

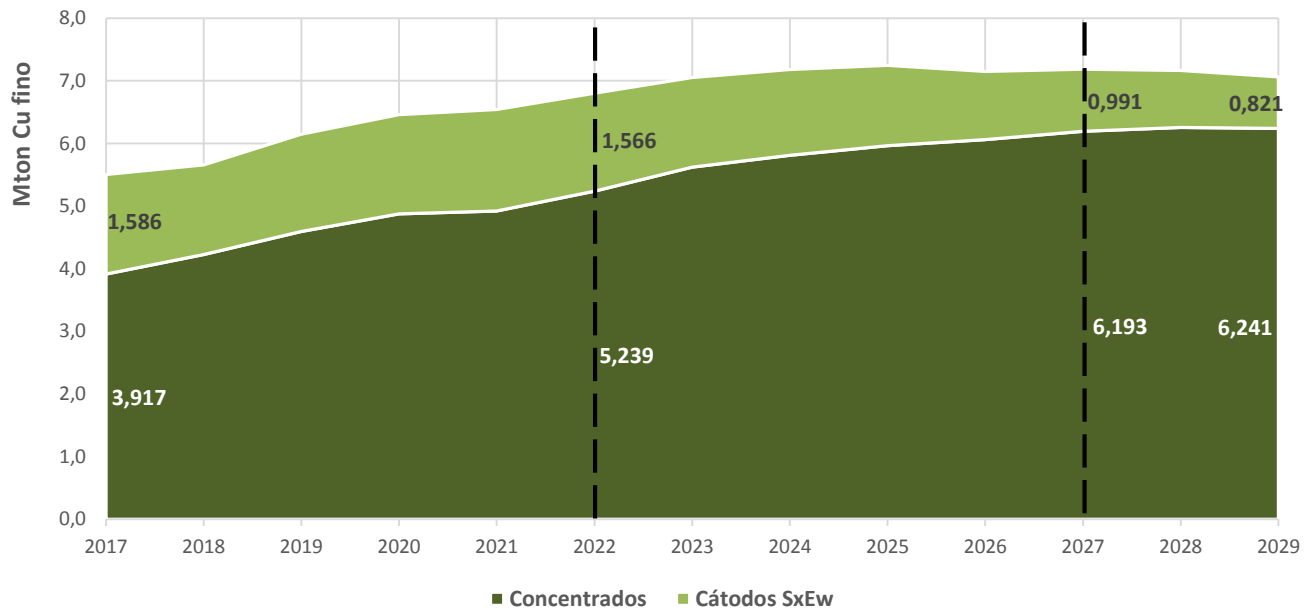
1.1.2. Proyección nacional de producción de cobre fino según producto.

Al revisar la proyección nacional de producción de cobre por tipo de producto, esto es concentrados y cátodos SxEw, se mantiene la percepción observada hace algunos años, donde la producción hidrometalúrgica cae mientras la producción de concentrados crece a un ritmo muy elevado. Es así como la producción hidrometalúrgica pasa de una participación de 28,8% de la producción total en 2017 a 11,6% hacia 2029, mientras que la producción de concentrados pasa de una participación del 71,2% al 88,4% en el mismo periodo, sin cambios sustanciales en líneas productivas de FURE.

No solo el cierre de operaciones hidrometalúrgicas en la próxima década, debido al agotamiento de recursos lixiviables, si no que la inexistencia de nuevos proyectos en esta línea productiva afectará la producción esperada de cátodos SxEw. Es así como de las actuales 31 operaciones hidrometalúrgicas activas, hacia fines de la década solo quedarán 18 operativas, 9 pertenecientes a la gran minería más las 5 operaciones de Enami y un remanente de 4 operaciones de mediana minería. Los únicos “nuevos” proyectos observados en el futuro serían Diego de Almagro óxidos (2020-2029), Productora óxidos (2021-2035), Sierra Gorda óxidos (2019-2030) y algunos pequeños proyectos en el Distrito Centinela que mantendrían operativa la planta de óxidos actual (2025-2035).



Figura 3: Producción de cobre 2017 y proyección esperada 2018 – 2029, según producto



Fuente: Cochilco, 2018.

Si la producción esperada de cobre fino en cátodos SxEw disminuiría en un 48,3% hacia el 2029 con respecto a la producción del año 2017, a una tasa de decrecimiento anual de un 5,34%, la producción esperada de cobre fino contenida en concentrados aumentaría desde las 3,92 millones de toneladas de cobre fino en 2017 hasta 6,24 millones de toneladas de cobre fino en concentrados en 2029, un aumento de un 59,3% en el periodo analizado, a una tasa de crecimiento anual de 3,96% (figura 3):

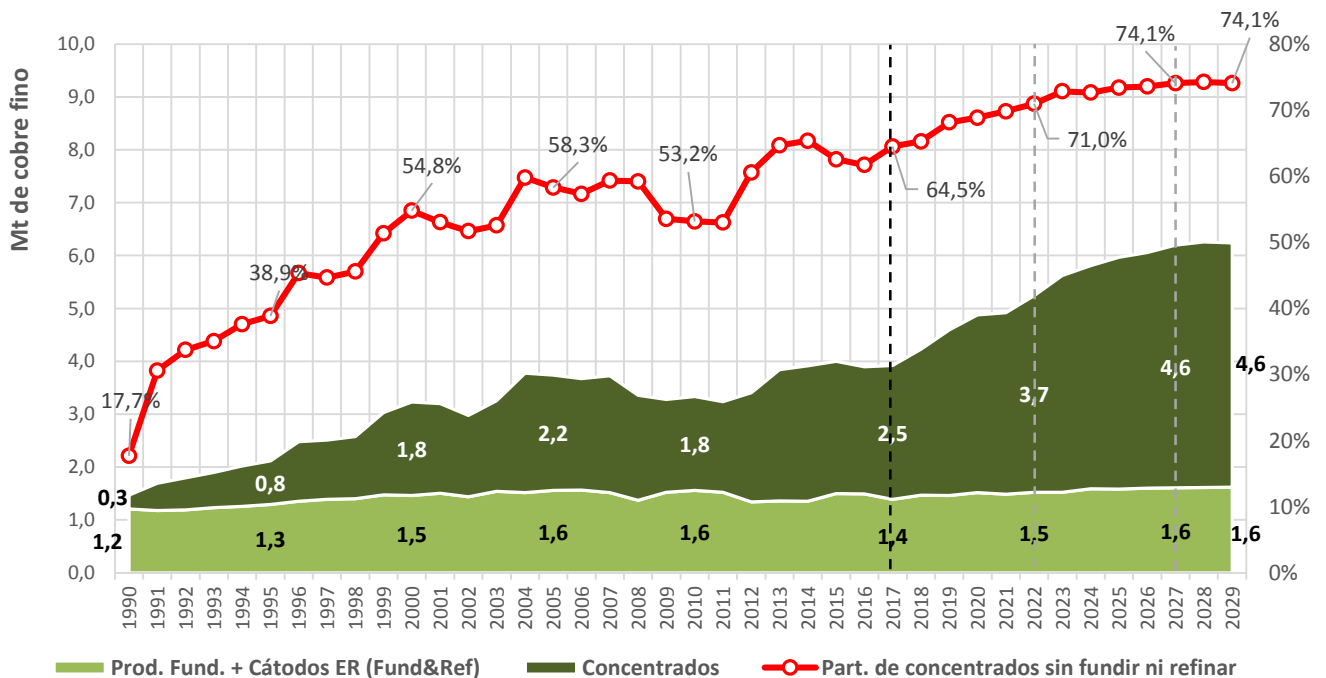
- **Quinquenio 2018 – 2022:** Producción de concentrados crece 23,97% en el período, hasta llegar a una producción esperada en 2022 de 5,24 millones de toneladas, a una tasa anual de 5,52%, y la producción de cátodos SxEw se ajusta al alza en 9,33% debido a mejoras operacionales de algunas faenas actuales y la entrada en operación de nuevos proyectos como Sierra Gorda, la reapertura de Michilla o de Iván Zar, o la entrada de Diego de Almagro, para alcanzar hacia el 2022 una producción de 1,57 millones de toneladas.
- **Quinquenio 2023 – 2027:** En este quinquenio es más leve el crecimiento de la producción de concentrados y la producción de cátodos empieza su caída. En el caso de los concentrados, estos crecen 10,2% en el periodo hasta llegar a 6,19 millones de toneladas el 2027, mientras que los cátodos SxEw caen 30,8%, hasta llegar a una producción de 991 mil toneladas. Este es el periodo de más fuerte decrecimientos de la producción SxEw.
- **2028 – 2029:** Este periodo, tal cual como se observó al analizar la producción total del país, es de decrecimiento. La producción de concentrados se ajusta levemente a la baja debido a que el 2028 es el *peak* de producción de concentrados, 6,26 millones de toneladas, para posteriormente el 2029 bajar a



6,24 millones de toneladas, debido al *ramp up* de los proyectos que entran en operación en 2026. Por otro lado, la producción de cátodos SxEw cae 9,7% en estos dos años, llegando al mínimo del periodo en 2029 de 821 mil toneladas.

Más allá del cambio de la estructura productiva de cobre en Chile que se viene observando en los últimos años, lo interesante a revisar es que el incremento en producción de minerales sulfurados no necesariamente se traduciría en aumento de producción de FURE en nuestro país, por el contrario, y tal como se observa en la Figura 4, la producción de concentrados sin refinar en nuestro país irá aumentando desde el 64,5% actual (2017) de participación en la producción total de concentrados a un 74,1% hacia 2029, pasando de exportar alrededor de 2,5 millones de toneladas cobre fino en concentrados, en torno a las 9,27 millones de toneladas métricas secas de concentrados, a alrededor de 4,6 millones de toneladas de cobre fino hacia 2029, aproximadamente 16,6 millones de toneladas métricas secas de concentrados.

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

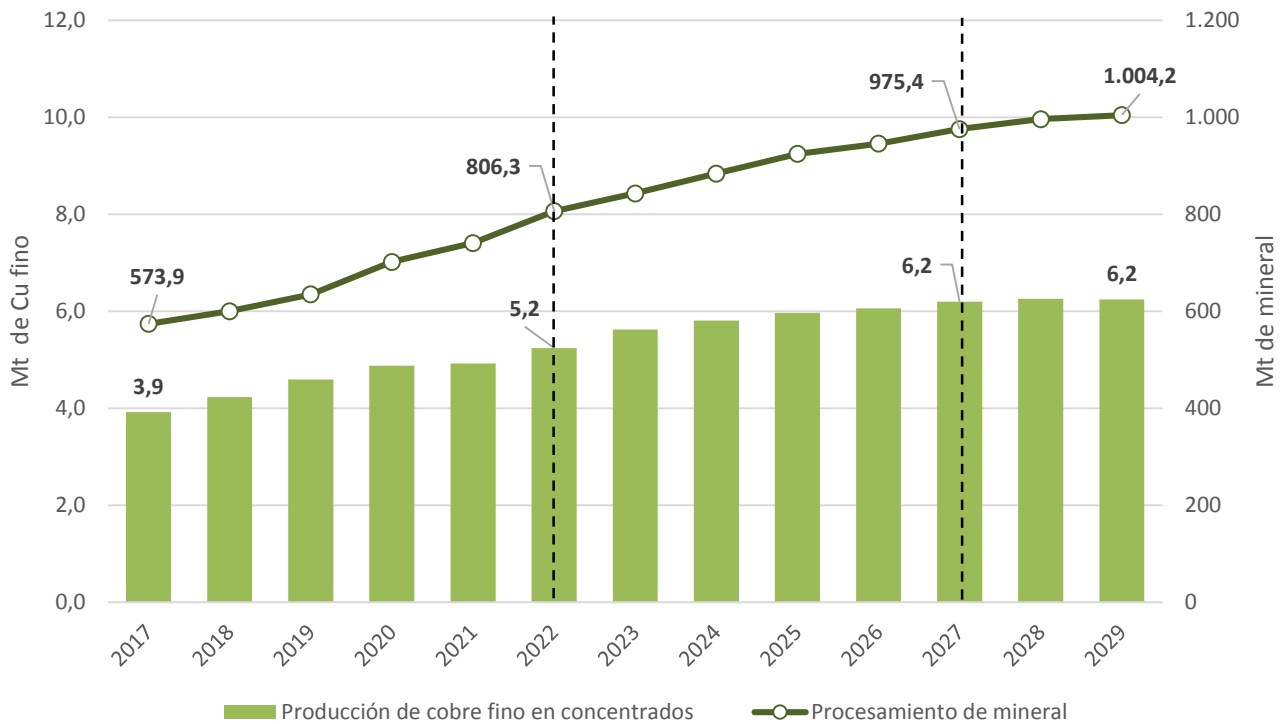


Fuente: Cochilco, 2018.

Debido al aumento de producción de concentrados, el procesamiento de minerales sulfurados en plantas concentradoras también se vería afectado. Si la producción de concentrados crece un 59,3% entre 2017 y 2029, en el mismo periodo, el procesamiento de mineral sulfurado en plantas concentradoras aumentaría en un 75% a una tasa de crecimiento anual del 4,4%, esto quiere decir que el mineral tratado en plantas concentradoras pasa de un total estimado de 574 millones de toneladas en 2017 a 1.004 millones de toneladas hacia el 2029 (Figura 5).



Figura 5: Producción de Cu fino en concentrados vs procesamiento de minerales sulfurados, 2017 – 2029



Fuente: Cochilco, 2018.

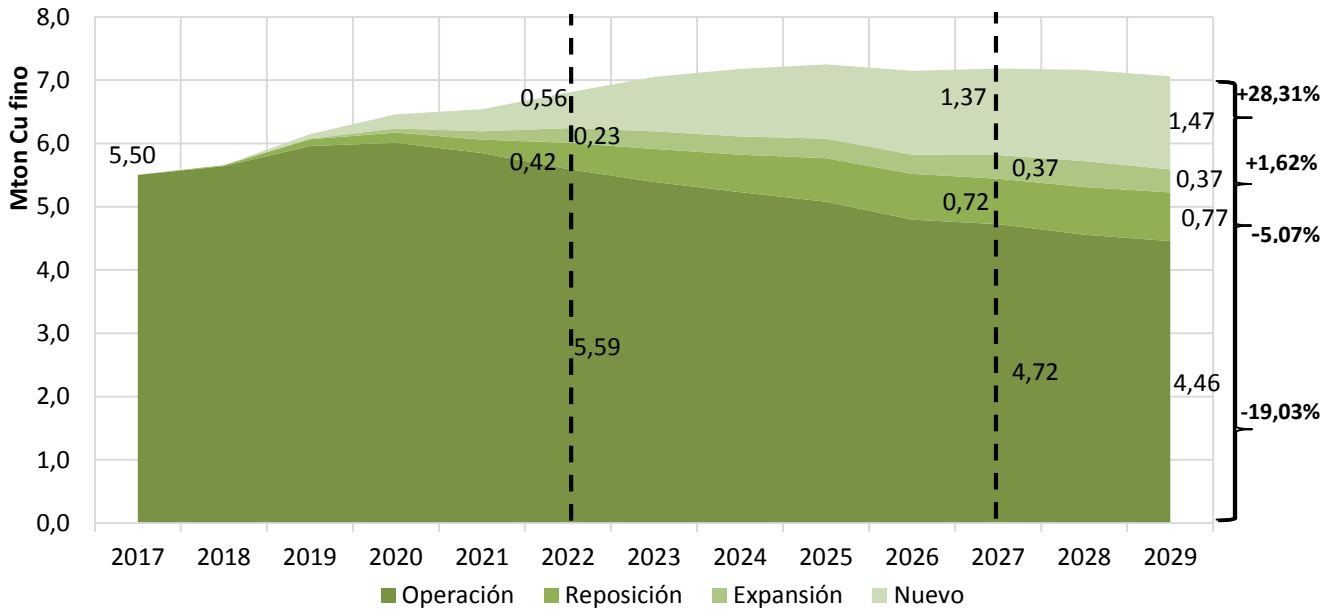
1.1.3. Proyección nacional de producción de cobre fino según tipo de proyecto.

El analizar la proyección de producción de cobre de nuestro país en base al tipo de proyecto, esto quiere decir, poder separar el aporte productivo futuro en operaciones activas, proyectos que buscan mantener las operaciones actuales (reposición), aquellos que buscan expandir las operaciones actuales (expansión), o aquellos proyectos tipo *greenfield* o cambios radiales en operaciones actuales, debido a crecimiento cambios en tipos de productos (nuevos), es sumamente interesante desde el punto de vista de dilucidar cuál es la real necesidad de iniciativas mineras en nuestro país, en lo que respecta a mantenernos como principal productor de cobre del mundo. Bajo esta categorización, se observa que hacia el 2029 las operaciones actuales disminuyen su producción en un 19,02%, a una tasa de decrecimiento de 1,74% con respecto a 2017, llegando a 4,46 millones de toneladas de cobre fino.

La inclusión en el perfil productivo de aquellas iniciativas que buscan mantener operativas faenas actuales (reposición) no cambia el escenario de disminución de producción, ya que la caída ahora es de un 5,07%, a una tasa de decrecimiento anual hacia 2029 de 0,43%, para llegar a 5,22 millones de toneladas de cobre fino, donde la única forma de mantener relativamente la actual producción de cobre fino es incluir las iniciativas de expansión productiva que existen en la cartera de proyectos actual, lo que haría crecer en un 1,62% la producción para llegar a las 5,59 millones de toneladas hacia 2029. Hasta este punto, los que afectan negativamente el perfil productivo del país son el decaimiento de las operaciones actuales y sus proyectos asociados a la línea de óxidos.



Figura 6: Producción de cobre 2017 y proyección esperada 2018 – 2029, según tipo de proyecto.



Fuente: Cochilco, 2018.

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 2017 de 28,31% hacia 2029, alcanzando las esperadas 7,06 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 2018 – 2022:** Se observa una caída de 0,8% en las operaciones actuales (5,59 millones de toneladas), sin embargo, al incluir las iniciativas de reposición y expansión, la producción de cobre crece en un 10,36% hasta alcanzar las 6,24 millones de toneladas, un crecimiento de 2,5% anual. Más aún, si añadimos aquellos proyectos nuevos, el crecimiento en este quinquenio sería de un 20,27% para llegar a las 6,8 millones de toneladas hacia el 2022.
- **Quinquenio 2023 – 2027:** En este periodo, 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 pasaría de 6,19 millones de toneladas el 2023 a 5,82 millones de toneladas hacia 2027, un decrecimiento anual de 1,55%. Los proyectos nuevos afectarían levemente el perfil, registrando un aumento de 1,86% en el periodo, hasta cerrar el quinquenio con una producción de 7,18 millones de toneladas.
- **2027 – 2028:** Este corto periodo la producción nacional se ve reducida en 2,28%, incluyendo operaciones actuales y proyectos de reposición y expansión, solo la inclusión de los proyectos nuevos permite

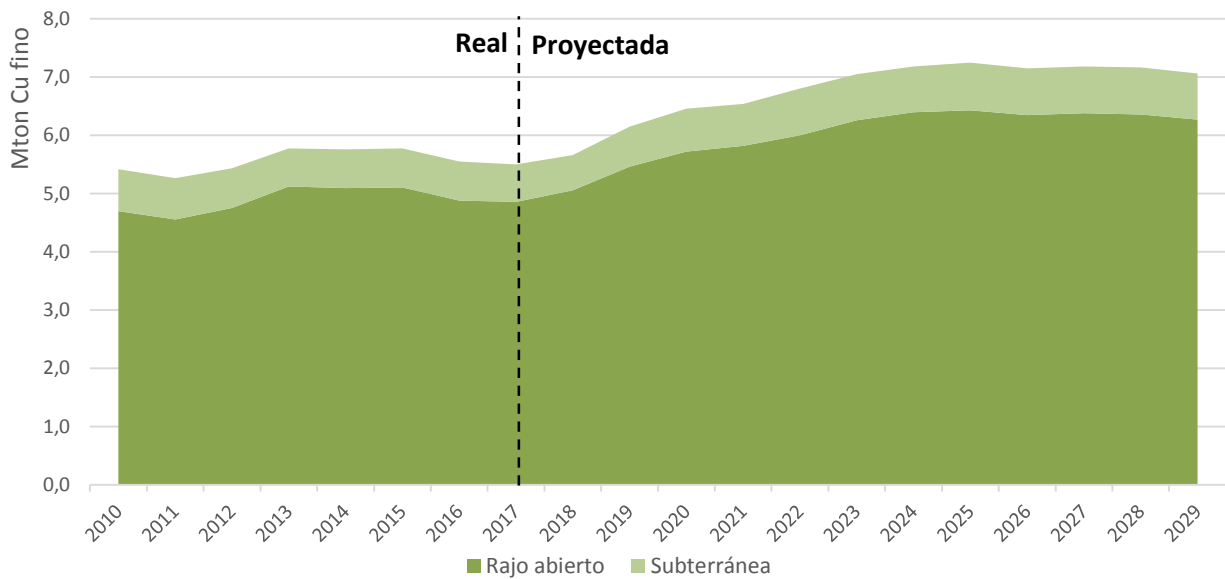


augmentar levemente la producción de estos dos años, aunque sin modificar el perfil decreciente que se observa en este último periodo de análisis.

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

En el último tiempo se ha generado la idea de que la minería cuprífera nacional pasaría fuertemente desde la extracción a rajo abierto a una minería subterránea, aduciendo factores como profundización de los rajos actuales, explotación de minerales hipógenos, bajas leyes superficiales, e incluso la búsqueda de una mejor interacción con el entorno. Bajo esta premisa se han hecho múltiples propuestas de avances tecnológicos y de innovación y desarrollo en esta materia, sin embargo las cifras observadas en la proyección de producción esperada no muestran un cambio sustancial en la próxima década (Figura 7).

Figura 7: Producción de cobre 2010 - 2017 y proyección esperada 2018 - 2029, según método de explotación.



Fuente: Cochilco, 2018.

Como se observa, la relación entre la minería subterránea y la minería rajo abierto se mantendrá estable durante el próximo decenio, tal cual como se ha mantenido en los últimos ocho años, donde esta última ha tenido participaciones entre 86,6% (2011) a 88,6% (2013). Para el próximo decenio se observa un mínimo de participación de la minería a rajo de 88,2% hacia el año 2022 y un máximo de participación de 89,4% el 2018, todo esto debido al cierre de algunas operaciones de minería subterránea (Andina II Panel, Salvador Inca, Ojos del Salado, Atacama Kozan, entre otras faenas de mediana minería), como también a que los grandes proyectos considerados en la cartera actual son solo reemplazo productivo de operaciones actuales, sin generar aportes significativos al perfil de producción (Nuevo Nivel Mina y los proyectos satélites considerados en el plan minero de El Teniente, y Chuqui Subterránea).



Capítulo 2:

Análisis regional de la proyección de producción esperada de cobre fino



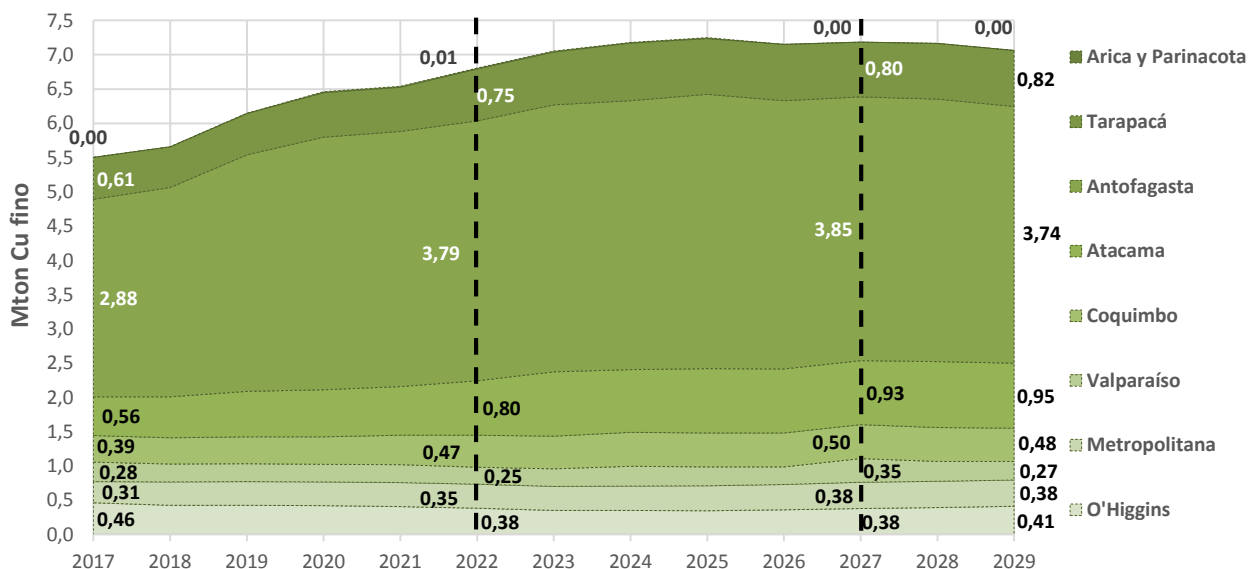
2. Análisis regional de la proyección de producción esperada de cobre fino

Aparte del análisis general realizado anteriormente, es bueno conocer una mirada regional de la producción de cobre futura del país, análisis que permitirá entrever las regiones con mayor participación en el aporte productivo futuro, donde se debiesen concentrar los esfuerzos para acelerar las inversiones.

2.1. Proyección nacional de cobre mina 2018 - 2029

Al analizar la proyección de producción esperada regionalizada, está va muy de la mano de los niveles inversionales de las regiones mineras observados en el informe de inversiones 2018 - 2027 (COCHILCO, 2018), donde la región de Antofagasta mantiene su liderazgo como región minera y Atacama se destaca como el segundo destino inversional en minería. La Figura 8 muestra la proyección de producción esperada para la minería chilena por región, actualizada al 2018, con la producción real del año 2017 y la proyección para el periodo 2018 – 2029.

Figura 8: Producción regional de cobre 2017 y proyección de producción esperada 2018 – 2029.

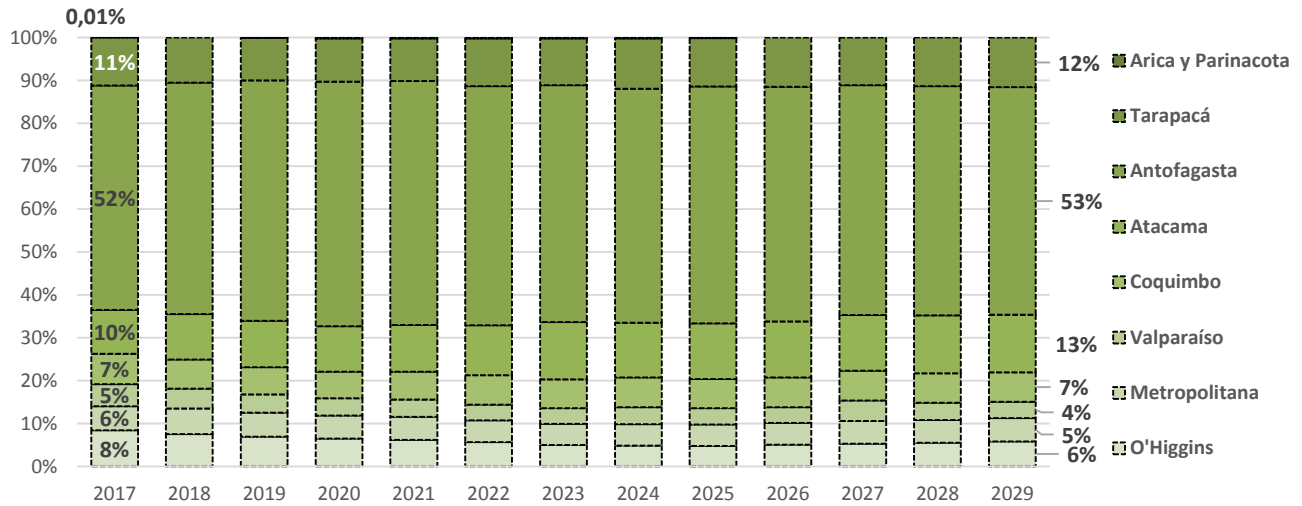


Fuente: Cochilco, 2018.

Antofagasta seguiría siendo la región líder en producción cuprífera hacia el 2029 con 3,7 millones de toneladas de cobre fino, pasando del actual 52% de participación en la producción nacional a un 53% de participación hacia el 2029, un aumento de alrededor de 863 mil toneladas de producción. En segundo lugar se encontrará la región de Atacama, la cual desplaza a la región de Tarapacá como actual segundo mayor productor de cobre del país, alcanzando las 936 mil toneladas de cobre fino hacia 2029, 388 mil toneladas más de lo producido en 2017, y pasando de un 10% de participación a un 13%. En tercer lugar se encuentra la región de Tarapacá, que impulsada particularmente por el proyecto Quebrada Blanca Fase 2 aumenta su producción en 203 mil toneladas hacia el 2029, hasta alcanzar las 816 mil toneladas de cobre fino y pasar de 11% de participación a un 12% (Figura 9).



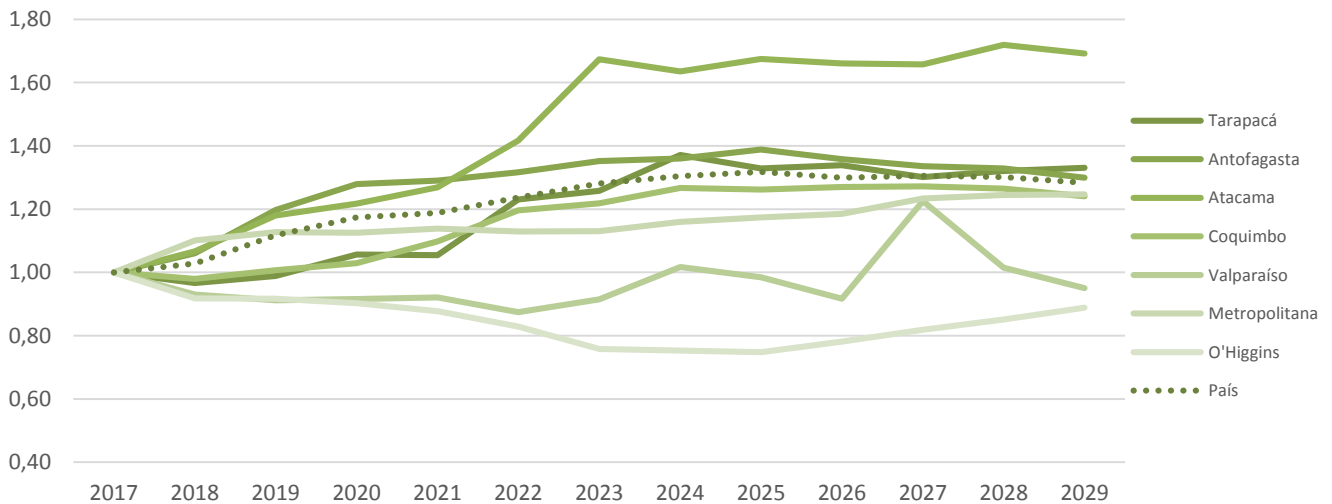
Figura 9: Participación de la producción regional en el perfil de proyección de producción esperada.



Fuente: Cochilco, 2018.

A pesar de que la región de Antofagasta sigue siendo la más importante región productora de cobre del país, su aumento porcentual es levemente superior al aumento de producción esperado para el país, destacándose como la región con más aumento Atacama, con un crecimiento de un 69%, en segundo lugar Tarapacá con 33% de crecimiento, Antofagasta en tercer lugar con 30%, y la región Metropolitana y Coquimbo con 25% cada una compartiendo el cuarto lugar (Figura 10).

Figura 10: Índice de variación anual de producción por región en el periodo 2017 - 2029, año base 2017.



Fuente: Cochilco, 2018.

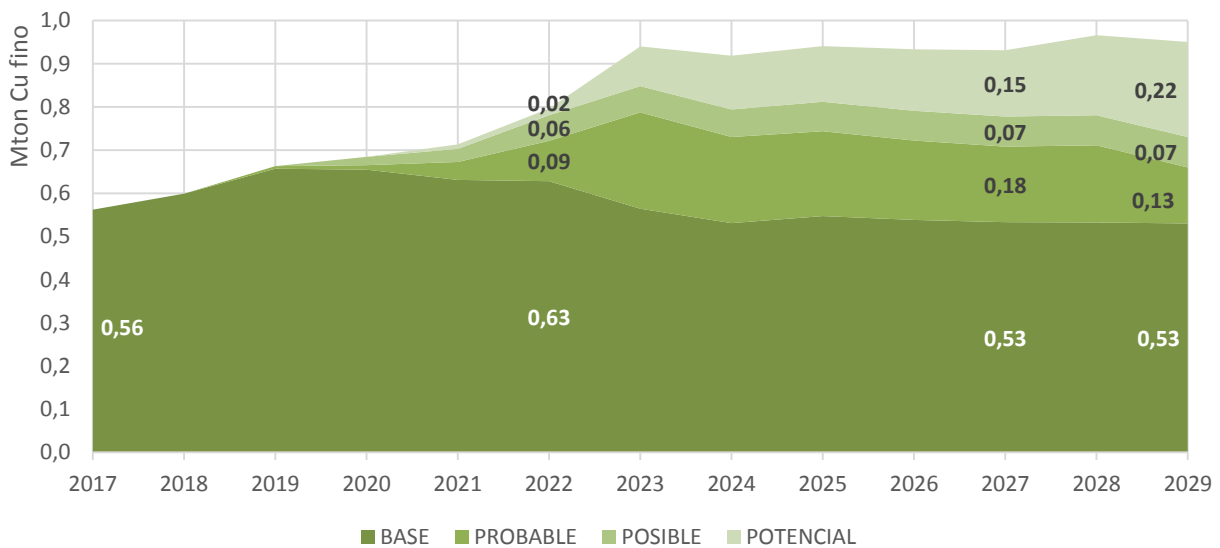


Bajo la premisa de que las regiones de Atacama, Tarapacá y Antofagasta serán las con más crecimiento productivo, revisaremos que tipo de proyectos son los que más influencias estos crecimientos y como se espera que quede definida su matriz productiva.

2.1.1. Aporte y estructura productiva futura región de Atacama

Según lo observado en la proyección de producción de la región de Atacama, el impulso productivo se dará fuertemente influenciado por aquellas iniciativas en condición *probable* y *potencial*, las cuales aportarían un 90% de la nueva oferta de la región, alrededor de 350 mil toneladas de cobre fino (Figura 11).

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

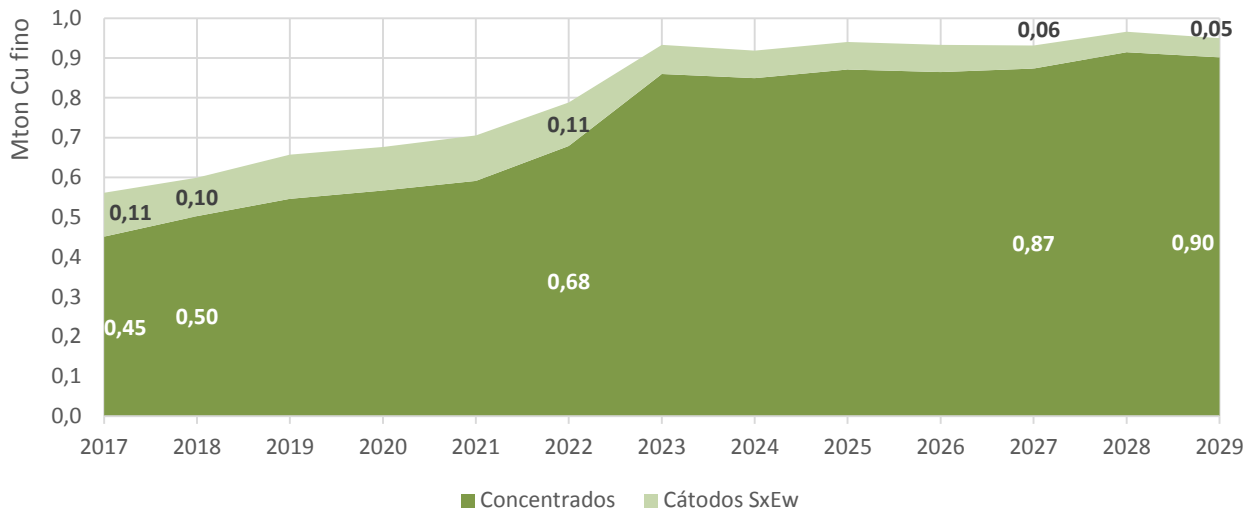


Fuente: Cochilco, 2018.

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, 2018.

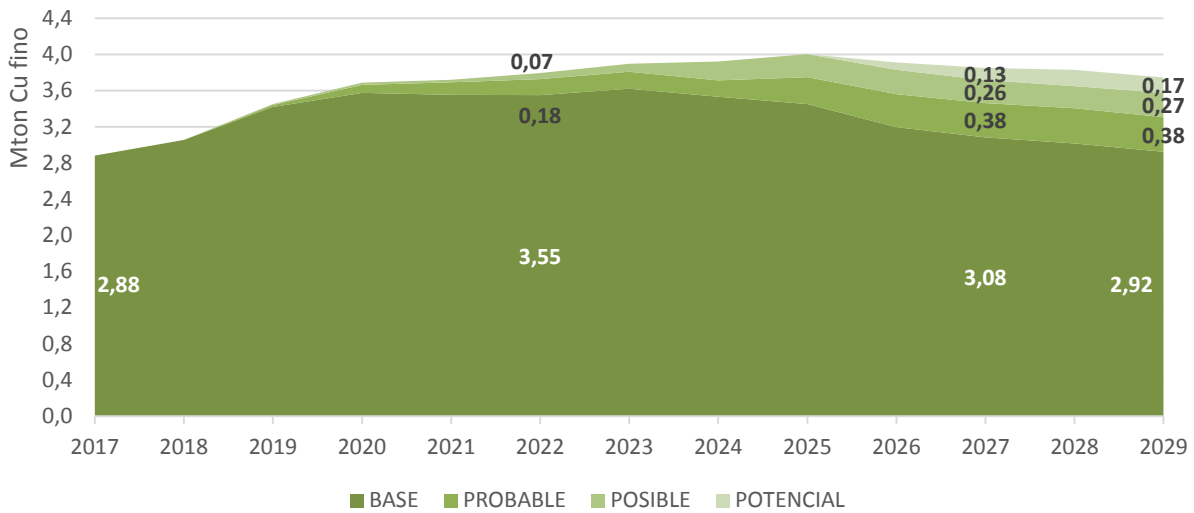
Por otro lado, se observa que la estructura productiva de la región se mantendrá enfocada en la producción de concentrados, pasando de un 80% de participación al 95% hacia 2029. Este aumento de participación es debido a que la producción de concentrados aumentará en 450 mil toneladas, +100% con respecto a 2017, mientras que la producción de cátodos SxEw caerá en 62 mil toneladas, -56% con respecto a 2017 (Figura 12).

2.1.2. Aporte y estructura productiva futura región de Antofagasta.

Para el caso de la proyección de producción de la región de Antofagasta, el impulso productivo lo darán aquellos proyectos en condición *probable* y *posible*, los que aportarían un 76% de la nueva oferta de la región, equivalente a más de 650 mil toneladas de cobre fino.



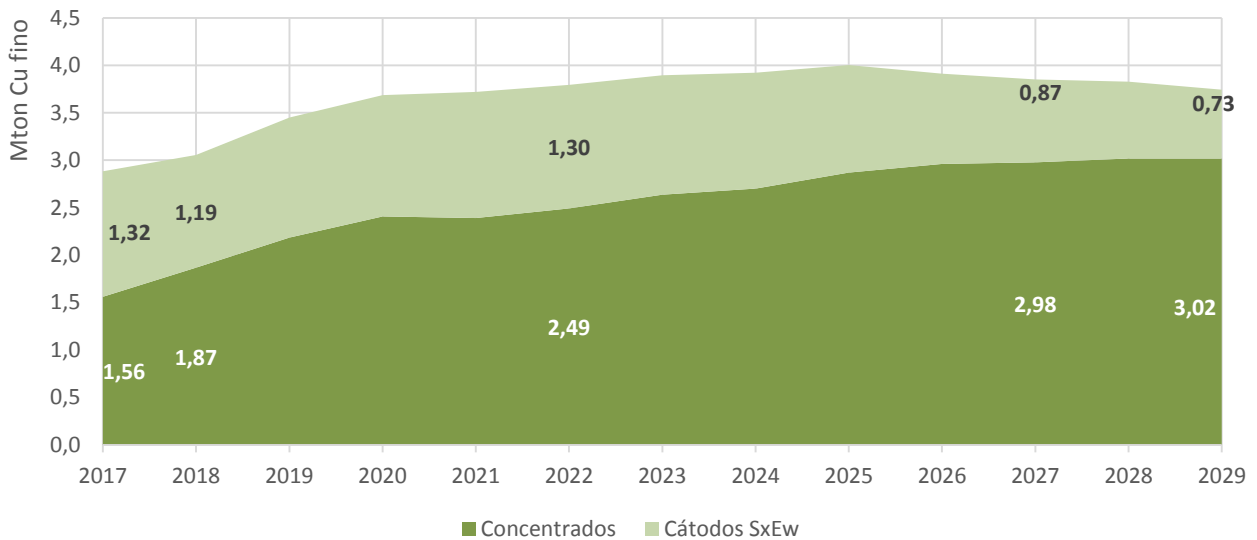
Figura 13: Aporte productivo de los proyectos según condición en la región de Antofagasta.



Fuente: Cochilco, 2018.

Entre los proyectos *probables* más importantes de la región encontramos a Distrito Centinela, que pudiese aportar en promedio alrededor de 290 mil toneladas de cobre fino hacia el 2029, y en el caso de los proyectos *posibles* están Sierra Gorda 230 ktpd y RT Sulfuros Fase II, que aportarían alrededor de 240 mil toneladas de cobre fino en conjunto.

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



Fuente: Cochilco, 2018.

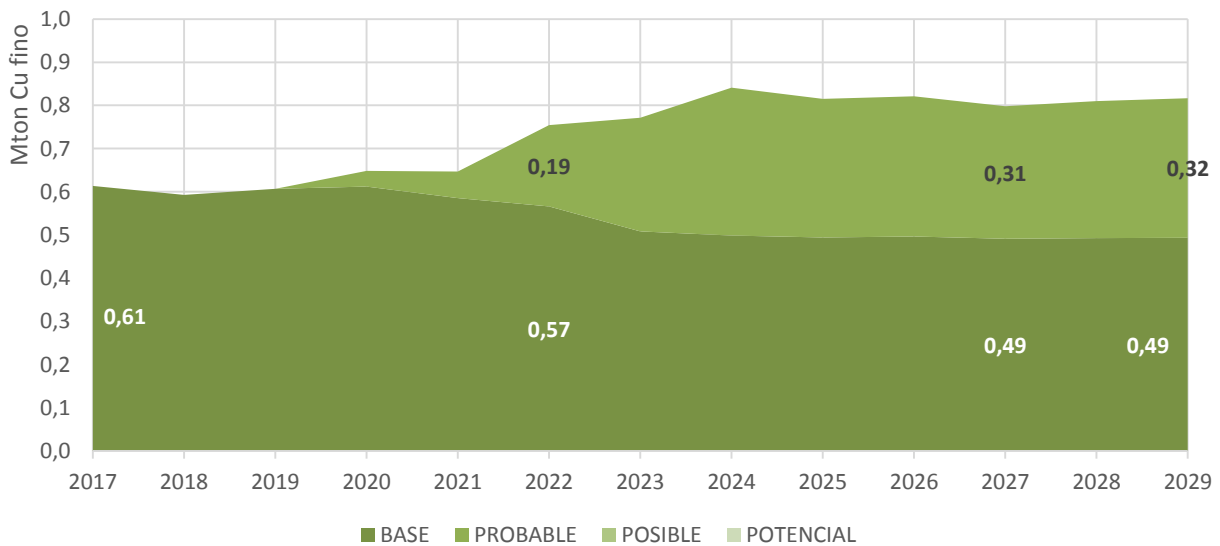


Con respecto a la estructura productiva esperada para los próximos años, el escenario es bastante similar al resto del país, donde la producción de concentrados cobra mayor relevancia. Es así como, si al 2017 la participación de los concentrados con respecto a la producción de cátodos SxEw era bastante similar, 54% contra 46% respectivamente, hacia el 2029 se observa una disminución de casi 600 mil toneladas de cátodos SxEw (-45% con respecto a 2017) versus un incremento de 93% en la producción de concentrados (1,46 millones de toneladas de cobre fino adicionales a la producción 2017), para llegar a una participación de 81% en la producción de la región (Figura 14).

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 su optimización productiva y su pequeño proyecto de expansión, junto al aporte proveniente de Quebrada Blanca Fase 2, ambos son responsables del 100% del crecimiento de la región, un aporte de 203 mil toneladas adicionales a la producción registrada en 2017, bajo la premisa de que Quebrada Blanca reemplazará toda la producción de la actual operación de óxidos (Figura 15).

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

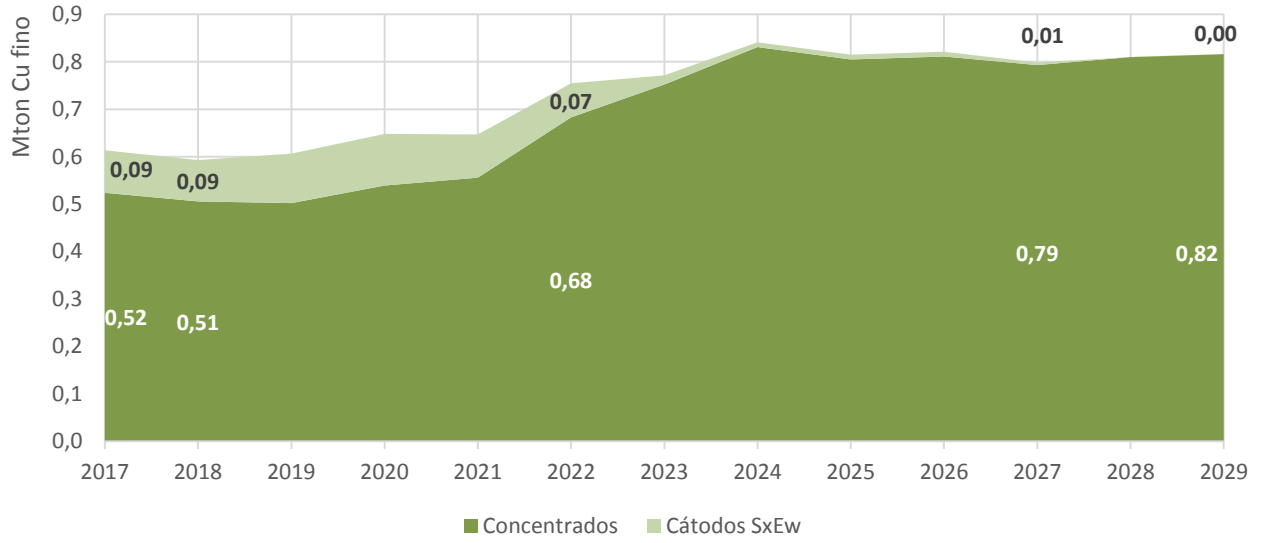


Fuente: Cochilco, 2018.

El cambio en la estructura productiva de esta región es radical, ya que la producción de cátodos SxEw, sin ser un gran ponderador dentro de la producción cuprífera de la región (15% en 2017), hacia el 2029 desaparece por completo. Esto en gran parte debido al cierre de la operación actual de Quebrada Blanca en 2023 y el potencial cierre hacia el año 2022 de Cerro Colorado (que actualmente está en proceso de cambio de dueño, lo que podría cambiar las expectativas de cierre en el mediano plazo). El impulso de la región viene de la mano de la producción de concentrados, lo que conllevaría considerar inversión en los actuales puertos de la región (Figura 16).



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



Fuente: Cochilco, 2018.



Capítulo 3:

Comentarios finales



3. Comentarios finales

Los resultados de la proyección esperada de producción para el periodo 2018 - 2029 han permitido determinar que, a fines del periodo en análisis, la producción esperada nacional de cobre fino, tanto en cátodos SxEw como contenido en concentrados, podría crecer un 28,3% comparada con la producción cuprífera alcanzada en 2017, para llegar a las 7,06 millones de toneladas de cobre fino. El peak productivo en el caso esperado sería alcanzable en el año 2025, con 7,25 millones de toneladas. Este perfil productivo está basado en los estados de certidumbre de los proyectos mineros catastrados, y por ende, considera retrasos y problemas productivos propios de un proyecto minero, pero no considera factores como huelgas u otros retrasos en las iniciativas.

Por otra parte encontramos que la producción máxima posible de cobre, 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 8,107 millones de toneladas de cobre fino en 2029, un 47,3% más de lo alcanzado en 2017. En el caso contrario, el cual denominaremos caso mínimo, la producción sería un 10% mayor hacia el 2029, respecto a 2017, llegando a las 5,98 millones de toneladas de cobre fino.

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

Los proyectos y operaciones pertenecientes a la condición base podrían disminuir su producción de cobre fino desde lo alcanzado en 2017 hasta el 2029 a una tasa de 0,28%, para llegar a 5,32 millones de toneladas cerrando el periodo de análisis, una caída de 3,33%. Al incluir en este perfil aquellas iniciativas en condición probable, la producción crecería a una tasa de 0,98% hasta alcanzar una producción hacia el 2029 de 6,18 millones de toneladas, un 12,4% más de lo alcanzando en 2017.

Ahora, al añadir a los perfiles de producción *base + probable* analizados recientemente aquellas iniciativas en condición *posible*, la tendencia de la producción esperada de 12,4% vista anteriormente pasaría a un crecimiento de 19,95% con respecto a 2017, alcanzado hacia 2029 una producción de 6,6 millones de toneladas, a una tasa de crecimiento anual de 1,53% en el periodo 2017-2029. Asimismo, si sumamos el aporte productivo de aquellos proyectos en condición *potencial*, el escenario de crecimiento es aún mayor, donde la producción hacia el 2029 aumentaría en un 28,31% con respecto a 2017, alcanzando las 7,06 millones de toneladas.

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

Se observa que hacia el 2029 las operaciones actuales disminuyen su producción en un 19%, llegando a las 4,46 millones de toneladas, donde la inclusión de proyectos de reposición/expansión permitiría aumentar solo en 1,6% la producción (5,59 millones de toneladas). Este escenario es responsabilidad de las operaciones actuales que comienzan a cerrar su actividad, sobre todo aquellas asociadas a líneas hidrometalúrgicas que cada vez serán menos en la matriz productiva del país.



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 2017 de 28,31% hacia 2029, alcanzando las esperadas 7,06 millones de toneladas de cobre fino.

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

La relación entre la minería subterránea y la minería rajo abierto se mantendrá estable durante el próximo decenio, tal cual como se ha mantenido en los últimos ocho años, donde esta última ha tenido participaciones entre 86,6% (2011) a 88,6% (2013). Para los próximos años se observa un mínimo de participación de la minería a rajo de 88,2% hacia el año 2022 y un máximo de participación de 89,4% el 2018, esto último debido al cierre de algunas operaciones de minería subterránea (Andina III Panel, Salvador Inca, Ojos del Salado, Atacama Kozan, entre otras faenas de mediana minería), como también a que los grandes proyectos considerados en la cartera actual son solo reemplazo productivo de operaciones actuales, sin generar aportes significativos al perfil de producción (Nuevo Nivel Mina y los proyectos satélites considerados en el plan minero de El Teniente, y Chuqui Subterránea).

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

La producción hidrometalúrgica pasaría de una participación de 28,8% de la producción total en 2017 a 11,6% hacia 2029, mientras que la producción de concentrados pasa de una participación del 71,2% al 88,4% en el mismo periodo, sin cambios sustanciales en líneas productivas de FURE. Si la producción esperada de cobre fino en cátodos SxEw disminuiría en un 48,3% hacia el 2029 con respecto a la producción del año 2017, a una tasa de decrecimiento anual de un 4,94%, la producción esperada de cobre fino contenida en concentrados aumentaría desde las 3,92 millones de toneladas de cobre fino en 2017 hasta 6,24 millones de toneladas de cobre fino en concentrados en 2029, un aumento de un 59,3% en el periodo analizado, a una tasa de crecimiento anual de 3,65%.

Lo más influyente en la caída de la producción de cátodos SxEw no es solo el cierre de operaciones hidrometalúrgicas en la próxima década, debido al agotamiento de recursos lixiviables, si no que la inexistencia de nuevos proyectos en esta línea productiva. Es así como, de las actuales 31 operaciones hidrometalúrgicas activas, hacia fines de la década solo quedarán 18 operativas, 9 pertenecientes a la gran minería más las 5 operaciones de Enami y un remanente de 4 operaciones de mediana minería. Los únicos “nuevos” proyectos observados en el futuro serían Diego de Almagro óxidos (2020-2029), Productora óxidos (2021-2035), Sierra Gorda óxidos (2019-2030) y algunos pequeños proyectos en el Distrito Centinela que mantendrían operativa la planta de óxidos actual (Ex Tesoro) más allá del 2029.

En el caso de la producción de concentrados, lo interesante a revisar es que este incremento no necesariamente se traduciría en aumento de producción de FURE en nuestro país, por el contrario, la producción de concentrados sin refinar en nuestro país irá aumentando desde el 64,5% actual (2017) de participación en la producción total de concentrados a un 74,1% hacia 2029, pasando de exportar alrededor de 2,5 millones de toneladas cobre fino en concentrados, en torno a las 9,27 millones de toneladas métricas secas de concentrados, a alrededor de 4,6



millones de toneladas de cobre fino hacia 2029, aproximadamente 16,6 millones de toneladas métricas secas de concentrados.

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

Antofagasta seguiría siendo la región líder en producción cuprífera hacia el 2029 con 3,7 millones de toneladas de cobre fino, pasando del actual 52% de participación en la producción nacional a un 53% de participación hacia el 2029, un aumento de alrededor de 863 mil toneladas de producción. En segundo lugar se encontrará la región de Atacama, la cual desplaza a la región de Tarapacá como actual segundo mayor productor de cobre del país, alcanzando las 936 mil toneladas de cobre fino hacia 2029, 388 mil toneladas más de lo producido en 2017, y pasando de un 10% de participación a un 13%. En tercer lugar se encuentra la región de Tarapacá, que impulsada particularmente por el proyecto Quebrada Blanca Fase 2 aumenta su producción en 203 mil toneladas hacia el 2029, hasta alcanzar las 816 mil toneladas de cobre fino y pasar de 11% de participación a un 12%.

A pesar de que la región de Antofagasta sigue siendo la más importante región productora de cobre del país, su aumento porcentual es levemente superior al aumento de producción esperado para el país, destacándose como la región con más aumento Atacama, con un crecimiento de un 69%, en segundo lugar Tarapacá con 33% de crecimiento, Antofagasta en tercer lugar con 30%, y la región Metropolitana y Coquimbo con 25% cada una compartiendo el cuarto lugar.



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 un proyecto k en una faena minera i . En este caso se utiliza un ponderador de valor 1, ya 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 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.

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

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.



- a : 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

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.



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 2029.

En la Tabla 4 se muestra el detalle de la proyección esperada de producción de cobre fino mina a nivel nacional en el periodo 2018 – 2029. Esta producción se estima en 5,66 millones de toneladas de cobre en 2018, para luego aumentar hasta 7,06 millones de toneladas en 2029. Por otro lado, la producción máxima y mínima posible, en base a la cartera de proyectos 2018, sería de 8,11 millones de toneladas de cobre fino y 5,99 millones de toneladas hacia el 2029, respectivamente.

Tabla 4: Proyección esperada, cap. máxima y mínima de producción, 2018 – 2029, en miles de toneladas.

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Producción máxima	6.172,4	6.703,5	7.081,9	7.140,5	7.510,5	7.893,1	8.112,5	8.191,0	8.167,6	8.283,4	8.299,4	8.106,9
Producción esperada	5.658,5	6.149,4	6.460,2	6.540,7	6.805,3	7.053,2	7.181,5	7.248,5	7.149,8	7.184,4	7.164,3	7.061,5
Producción mínima	5.112,8	5.541,8	5.817,3	5.824,6	6.044,9	6.225,9	6.311,0	6.343,8	6.198,6	6.187,2	6.121,7	5.985,5

Fuente: Cochilco, 2018.

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 2029 desagregada según diferentes clasificaciones.

Tabla 5: Proy. máxima de producción de cobre a nivel nacional según condición, 2018 – 2029, en miles de toneladas.

Condición	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
BASE	6.172,4	6.647,3	6.804,9	6.672,0	6.608,7	6.521,5	6.439,9	6.350,8	6.036,5	5.978,0	5.836,4	5.740,2
PROBABLE	0,0	36,2	199,7	330,1	604,4	843,9	904,5	1.008,6	1.066,1	1.041,0	1.053,1	984,0
POSIBLE	0,0	20,0	77,3	105,1	256,4	310,5	502,4	571,6	574,2	529,7	514,7	522,7
POTENCIAL	0,0	0,0	0,0	33,2	41,0	217,2	265,8	260,1	490,9	734,8	895,2	860,0
Total	6.172,4	6.703,5	7.081,9	7.140,5	7.510,5	7.893,1	8.112,5	8.191,0	8.167,6	8.283,4	8.299,4	8.106,9

Fuente: Cochilco, 2018.

Tabla 6: Proy. esperada de producción de cobre a nivel nacional según condición, 2018 – 2029, en miles de toneladas.

Condición	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
BASE	5.658,5	6.110,3	6.259,4	6.194,0	6.134,9	6.055,4	5.963,5	5.882,1	5.595,5	5.539,9	5.409,6	5.320,0
PROBABLE	0,0	27,6	154,9	268,5	487,5	699,0	752,6	840,8	901,2	888,8	914,3	863,9
POSIBLE	0,0	11,6	45,9	68,1	167,4	206,7	340,9	396,7	422,8	406,1	396,2	417,8
POTENCIAL	0,0	0,0	0,0	10,1	15,4	92,1	124,5	128,9	230,4	349,5	444,3	459,8
Total	5.658,5	6.149,4	6.460,2	6.540,7	6.805,3	7.053,2	7.181,5	7.248,5	7.149,8	7.184,4	7.164,3	7.061,5

Fuente: Cochilco, 2018.



Tabla 7: Proy. esperada de producción de cobre a nivel nacional según producto, 2018 – 2029, en miles de toneladas.

Producto final	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Concentrados	4.226,0	4.594,2	4.875,1	4.920,5	5.239,2	5.621,3	5.809,9	5.965,6	6.059,8	6.193,3	6.255,5	6.240,9
Cátodos EW	1.432,5	1.555,2	1.585,1	1.620,2	1.566,1	1.431,9	1.371,5	1.282,9	1.090,1	991,1	908,9	820,6

Fuente: Cochilco, 2018.

Tabla 8: Proy. esperada de prod. de cobre país según producto exportable, 2018 – 2029, en miles de toneladas

Producto final	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Cátodos EW	1.432,5	1.555,2	1.585,1	1.620,2	1.566,1	1.431,9	1.371,5	1.282,9	1.090,1	991,1	908,9	820,6
Ánodos + Cátodos ER	1.467,9	1.463,0	1.518,0	1.484,5	1.521,9	1.525,8	1.588,5	1.585,8	1.600,7	1.605,5	1.611,1	1.616,9
Concentrados	2.758,1	3.131,3	3.357,1	3.436,0	3.717,2	4.095,5	4.221,5	4.379,8	4.459,1	4.587,8	4.644,4	4.624,0

Fuente: Cochilco, 2018.

Tabla 9: Proy. esperada de prod. de cobre a nivel nacional según tipo de proyecto, 2017 – 2028, en miles de toneladas.

Tipo de proyecto	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Operación	5.639,2	5.958,7	6.008,7	5.849,4	5.594,4	5.392,1	5.231,7	5.080,1	4.794,5	4.724,4	4.556,9	4.456,1
Reposición	19,3	107,7	162,6	211,8	417,0	522,0	589,9	689,2	723,6	720,0	756,5	768,3
Expansión	0,0	9,7	66,7	129,5	233,5	278,5	290,8	305,3	305,4	372,0	409,9	368,3
Nuevo	0,0	73,3	222,2	350,0	560,4	860,6	1.069,2	1.173,9	1.326,3	1.368,1	1.441,1	1.468,9

Fuente: Cochilco, 2018.

Tabla 10: Proy. esperada de prod. de cobre país según método de explotación, 2018 - 2029, en miles de toneladas.

Método de explotación	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Rajo abierto	5.057,8	5.462,7	5.721,2	5.821,6	6.001,7	6.257,9	6.395,7	6.431,2	6.345,0	6.382,6	6.357,9	6.272,4
Subterránea	600,7	686,7	739,0	719,1	803,6	795,2	785,7	817,3	804,9	801,8	806,4	789,0

Fuente: Cochilco, 2018.



Tabla 11: Proy. esperada de prod. de cobre a nivel regional según área productiva, 2018 – 2029, en miles de toneladas.

Región/Producto	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Arica y Parinacota	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	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	0,0	4,7	14,6	14,4	13,5	11,9	11,9	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Tarapacá	592,9	606,5	648,1	646,9	754,7	771,5	841,2	815,2	821,3	798,5	810,0	816,3
CONCENTRADO	505,8	502,2	539,3	555,9	682,9	752,2	831,1	805,0	811,2	793,1	810,0	816,3
SXEW	87,1	104,4	108,8	91,1	71,7	19,4	10,1	10,2	10,1	5,3	0,0	0,0
Antofagasta	3.055,6	3.450,8	3.686,4	3.718,6	3.793,6	3.895,1	3.920,3	4.001,9	3.912,2	3.850,2	3.828,8	3.744,4
CONCENTRADO	1.866,1	2.183,3	2.406,6	2.390,3	2.492,5	2.635,5	2.700,3	2.869,3	2.959,3	2.975,6	3.018,5	3.019,3
SXEW	1.189,5	1.267,5	1.279,8	1.328,4	1.301,1	1.259,6	1.220,0	1.132,6	952,9	874,7	810,3	725,1
Atacama	598,9	657,3	676,7	705,6	788,4	933,0	918,7	940,6	933,1	931,3	965,7	950,2
CONCENTRADO	502,9	546,0	567,0	591,5	679,0	859,8	849,7	870,8	864,6	873,6	914,2	901,8
SXEW	96,0	111,3	109,6	114,1	109,4	73,2	69,1	69,8	68,5	57,7	51,5	48,4
Coquimbo	376,7	387,6	396,3	423,3	461,5	469,9	488,7	487,1	491,3	493,4	493,3	483,9
CONCENTRADO	372,0	383,8	392,5	419,5	457,9	468,5	487,3	485,6	489,9	491,9	491,9	482,5
SXEW	4,7	3,9	3,8	3,8	3,6	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5
Valparaíso	263,6	258,5	259,8	261,3	248,1	259,4	288,3	279,1	260,0	347,6	287,8	269,6
CONCENTRADO	250,7	246,4	243,9	245,4	232,4	243,8	272,8	263,7	244,6	336,4	279,8	261,7
SXEW	12,9	12,1	15,9	15,8	15,7	15,6	15,5	15,4	15,3	11,1	8,0	7,9
Metropolitana	339,4	347,4	346,8	350,9	348,2	348,3	357,4	361,9	365,2	380,3	383,7	384,3
CONCENTRADO	303,3	308,5	308,2	312,4	311,2	311,2	320,7	325,2	328,8	343,9	347,6	348,1
SXEW	36,1	38,8	38,6	38,5	37,0	37,1	36,7	36,7	36,4	36,4	36,1	36,2
O'Higgins	426,2	425,7	419,3	407,3	384,9	351,8	349,5	347,4	362,9	380,3	395,1	412,7
CONCENTRADO	425,4	424,0	417,6	405,5	383,2	350,3	348,0	346,0	361,4	378,7	393,5	411,2
SXEW	0,9	1,7	1,7	1,8	1,7	1,6	1,6	1,4	1,5	1,6	1,5	1,5

Fuente: Cochilco, 2018.



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	Feldespatos
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

Jorge Cantallopts Araya

Director de Estudios y Políticas Públicas

Diciembre/ 2018

