



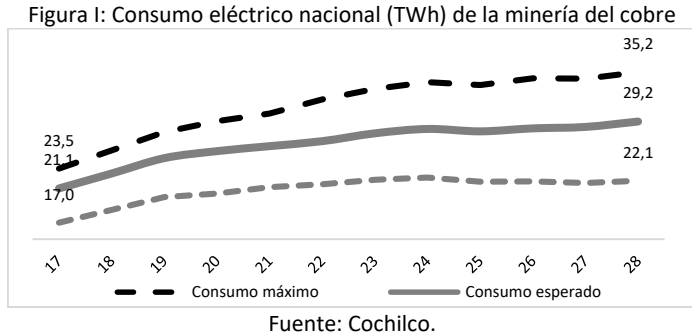
Proyección del consumo de energía eléctrica en la minería del cobre 2017-2028

DEPP 23/2017

Resumen Ejecutivo

El estudio proyecta el consumo eléctrico de la minería del cobre en el periodo 2017-2028 en base a dos factores: i) la cartera de proyectos y operaciones mineras vigentes, y ii) la proyección de los proyectos futuros. Asimismo, dada la incertidumbre asociada a la producción, las estimaciones de consumo eléctrico se construyen en base a tres escenarios: esperado, máximo y mínimo.

La figura I ilustra los tres escenarios de consumo para cada año del periodo de proyección. El consumo eléctrico esperado crecería desde 21,1 TWh hasta 29,2 TWh (~2,7% promedio anual). Durante los dos primeros años se prevé una alza significativa desde 21,1 TWh a 24,8 TWh (~8,4% promedio anual), para luego moderarse hacia el 2024 (~2,7%) y aún más desde dicho año hasta 2028 (~0,8%).



Actualmente la matriz de suministro electro a la minería del cobre se divide en los sistemas SING y SIC según la zona geográfica de cobertura. Sin embargo, a partir de 2018 se completará la interconexión de ambos sistemas a través de la línea entre Cardones y Polpaico con lo cual habrá un único gran sistema interconectado. Para efectos de este estudio las proyecciones son realizadas considerando la separación vigente. En este contexto, se prevé que la mayor provisión de energía sea del SING, representando por encima del 60% del total durante todo el periodo de estudio. Se espera además que esta relación sea mayor al término del periodo dado el crecimiento esperado de un 23% para el SIC (~1,7% promedio anual), y de un 44% para el SING (~3,1%).

A nivel regional no se proyectan grandes variaciones en las participaciones de consumo. La región de Antofagasta seguirá concentrando más de la mitad del uso de energía en minería cuprífera, seguida por las regiones de Atacama, Tarapacá y O'Higgins con alrededor del 10% del consumo estimado cada una al comienzo del periodo. Sin embargo, a partir de 2024, se espera que Atacama aumente su participación por encima del 12% y que O'Higgins baje al 6%. Para Tarapacá por su parte no se prevén variaciones significativas.

En relación a la potencia eléctrica requerida para satisfacer el consumo eléctrico esperado, se estima un crecimiento de 3,5 veces para el sistema SING y de unas 12 veces para el sistema SIC entre los años 2018 y 2028. Esto implica agregar una capacidad de generación eléctrica de 1.177 MW hacia el 2028, de las cuales cerca del 70% corresponderían al SING.

Por otra parte, enfocando el análisis según la condicionalidad de las operaciones vigentes y proyectos, encontramos que si bien al 2017 las operaciones ya existentes concentran prácticamente la totalidad del consumo eléctrico esperado en minería cuprífera, al 2028 los proyectos potenciales, posibles y probables llegan a representar cerca de un cuarto del total. De igual forma, analizando por tipo o propósito del proyecto, vemos que los proyectos de expansión, reposición y especialmente los nuevos adquirirán una importancia creciente, en conjunto pasando de representar un 14% del consumo esperado en 2017 al 55% en 2028.

Al revisar el consumo esperado por procesos, vemos que la Concentradora es por lejos la principal fuente de consumo esperado durante todo el periodo, creciendo desde un 53% del consumo en 2017 al 66% hacia el 2028. El uso de agua marítima es otro proceso para el cual se proyecta un alza importante, pasando del 5% en 2017 al 12% en 2028, convirtiéndose en el segundo proceso de mayor intensidad de consumo eléctrico detrás de la Concentradora. Para los procesos de lixiviación por su parte se proyecta una caída importante desde un 24% del total en 2017 al 6% en 2028, mientras que para los de fundición es estima una leve disminución, pasando del 7% en 2017 al 6% en 2028. Por último, los procesos de mina subterránea, refinera y servicios se mantendrán con participaciones relativamente bajas, con ninguno sobrepasando el 2% del consumo durante el periodo de estudio.

Tabla de Contenidos

Resumen Ejecutivo	I
1. Introducción	3
2. Metodología	4
2.1. Proyectos considerados	4
2.2. Consumo eléctrico por faenas y procesos	4
2.3. Escenarios de consumo eléctrico	5
2.4. Consumo esperado nacional de electricidad en minería del cobre	6
3. Proyección del consumo anual de energía eléctrica 2017 – 2028	7
3.1. Proyección a nivel país	7
3.2. Proyección de demanda por potencia eléctrica	8
3.3. Proyección por Sistemas SING y SIC	9
3.4. Proyección por regiones	10
4. Análisis del consumo eléctrico esperado según la condicionalidad de los proyectos	11
4.1. Análisis a nivel país	11
4.2. Análisis comparativo del SING y SIC	12
4.3. Análisis regional	13
4.3.1. Regiones del SING	13
4.3.2. Regiones del SIC	14
5. Análisis del consumo eléctrico esperado según tipo de proyecto	15
5.1. Análisis a nivel país	15
5.2. Análisis comparativo del SING y SIC	16
6. Análisis del consumo eléctrico esperado según procesos	17
6.1. Distribución del consumo eléctrico esperado a nivel país	17
6.2. Análisis comparativo del SING y SIC	18
7. Comentarios finales	20
8. Anexos	22
8.1. Anexos capítulo 2: Metodología	22
8.1.1. Proyectos mineros considerados en la proyección de energía	22
8.1.2. Detalle de la metodología de cálculo del consumo esperado de electricidad en plantas desaladoras y Sistemas de impulsión	27
8.2. Anexo con cifras de proyección de consumo esperado de electricidad 2017– 2028 en diferentes categorías	29
8.2.1. Proyección global	29
8.2.2. Proyección de consumo de electricidad según procesos	30
8.2.3. Proyección de consumo de electricidad según condición	30
8.2.4. Proyección de consumo de electricidad por tipo de proyecto	32
8.2.5. Proyección de consumo de electricidad por regiones	33



1. Introducción

La energía eléctrica es un insumo estratégico para la minería del cobre, dado que se requiere en sus diversos procesos productivos y servicios. De acuerdo a estimaciones de Cochilco, su uso representa alrededor del 9% de los costos operacionales de la gran minería del cobre nacional. Su impacto en el consumo eléctrico del país también es significativo. En promedio, en los últimos 15 años la minería del cobre ha tenido una participación de un tercio en el consumo nacional de energía eléctrica, situación que se puede explicar en gran parte por tres tendencias que han presionado al alza el consumo. A saber:

- Caída progresiva en las leyes de cobre, lo que responde al envejecimiento de las minas y al incremento en la dureza del mineral. Esta situación ha significado que las empresas tengan que extraer grandes y crecientes volúmenes de mineral para lograr mantener los niveles de producción de cobre fino esperados, situación que conlleva un incremento en el uso de energía en procesos como chancado y molienda.
- Creciente uso de agua de mar, dadas las restricciones para el abastecimiento de agua por otras fuentes y también debido a la preponderancia creciente en la producción de concentrados, que es intensiva en el uso de agua. Como el agua de mar debe ser impulsada a las faenas mineras desde una mayor distancia, se incrementa la demanda por energía eléctrica.
- Enfoque en la producción de concentrados de cobre, proceso que tiene un uso intensivo de energía eléctrica. En consecuencia, se prevé que la demanda de energía eléctrica también se incrementará en los próximos años.

En este contexto, considerando las tendencias mencionadas, Cochilco realiza su estimación de consumo de energía eléctrica en minería del cobre hasta el 2028, año en que podría estar en operación gran parte de la actual cartera de proyectos. Así, se muestran los resultados para el periodo 2017-2028 identificando los siguientes factores:

- Consumo eléctrico esperado según tipo de proyecto, sea Nuevo, Expansión, Reposición u Operación.
- Consumo eléctrico esperado según procesos, sea Concentradora, Lixiviación, Fundición, Refinería, Agua de Mar, Mina Rajo, Mina Subterránea o Servicios.

En cada caso, se realiza un análisis tanto a nivel nacional como regional. Asimismo, se compara por Sistemas Interconectados SING y SIC y se entregan proyecciones con valores esperados así como los límites mínimos y máximos estimados.



2. Metodología

2.1. Proyectos considerados

La proyección de consumo eléctrico en minería del cobre considera faenas mineras actualmente en operación, proyectos mineros en etapa de construcción y proyectos de inversión con posibilidades de concretarse durante el periodo 2017-2028, en base al informe *Inversión En La Minería Chilena - Cartera de Proyectos 2017-2028* publicado por Cochilco en agosto de 2017. Asimismo, también se consideran proyectos y operaciones mineras de oro y de hierro que tendrían una coproducción significativa de cobre en el periodo mencionado.

En paralelo a lo anterior, atendiendo al creciente uso de agua de mar, la proyección de consumo eléctrico considera la operación actual y la entrada en operación de plantas de desalación e impulsión de agua de mar durante el periodo.

2.2. Consumo eléctrico por faenas y procesos

Desde 1991 Cochilco calcula los coeficientes de consumo unitario de energía por faena y por procesos en base a datos operacionales provistos por las empresas mineras del país. A partir de esta información, se proyectan de forma determinística los coeficientes para el periodo 2017-2028. Para esto, se realiza una regresión normal-log basada en los consumos unitarios durante el periodo 2001-2016. Los resultados de dicha extrapolación se muestran en la Tabla 1.

Cabe señalar que la construcción de los coeficientes involucra dos supuestos:

- El consumo unitario de energía eléctrica por procesos es creciente en el tiempo debido principalmente al envejecimiento de las minas y a menores leyes de mineral a procesar.
- No habrá cambios tecnológicos que incidan significativamente en los procesos mineros. Es decir, no se abordan posibles avances en eficiencia energética que puedan implementarse a futuro tanto en operaciones existentes como en proyectos nuevos, lo que incidiría en un menor consumo de electricidad.

Se debe acotar además que a partir del año 2011, los coeficientes unitarios de energía en Servicios incorporan el consumo de electricidad por concepto de uso de agua de mar, por tanto, el pronóstico de este ítem se realiza sobre coeficientes estimados para el periodo 2001-2010, con el fin de no hacer una doble proyección respecto a uso de agua de mar, que en este informe está como ítem aparte.

Tabla 1: Proyección de consumos unitarios de electricidad por procesos 2017 – 2028

Proceso	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Mina Rajo KWh/ TMF Cu	191	192	193	194	196	197	197	198	199	200	201	202
Mina Subterránea KWh/ TMF Cu	632	639	646	652	659	664	670	675	681	686	690	695
Concentradora KWh/TM min. Proce.	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23
Fundición KWh/TM Conc. Proce.	332	332	332	333	333	333	333	333	333	333	333	333
Refinería KWh/ TMF Cu	364	365	365	366	366	367	367	368	368	368	369	369



LX/SX/EW KWh/ TMF Cu	3203	3217	3229	3241	3253	3264	3274	3284	3293	3303	3311	3320
Servicios KWh/ TMF Cu	163	164	164	165	165	165	166	166	167	167	167	168

Fuente: **Cochilco**.

Con respecto a los procesos de desalación e impulsión para el uso de agua de mar, se utiliza la metodología descrita en el informe *Proyección del Consumo de Agua en la Minería del Cobre en Chile 2017-2028* para efectuar los cálculos de la potencia y energía eléctrica a consumir en plantas desaladoras y Sistemas de impulsión de agua de mar.

2.3. Escenarios de consumo eléctrico

Dada las múltiples condiciones de variabilidad en la producción y consumo existentes, se definen tres escenarios, cada uno con distintos supuestos:

- **Escenario de consumo eléctrico máximo:** considera que todas las operaciones continúan según lo planificado y los proyectos posibles, potenciales y probables se ponen en marcha en las fechas y de acuerdo a las capacidades productivas estimadas actualmente por sus titulares.
- **Escenario de consumo eléctrico más probable:** considera que las operaciones no alcanzan los resultados planificados por los titulares en tanto que existen riesgos considerables de sufran retrasos y variaciones a la baja en su producción real con respecto a lo planificado.
- **Escenario de consumo eléctrico mínimo:** ajusta el escenario más probable con cifras inferiores dentro de un criterio técnico razonable.

Luego, para cada escenario se estima el consumo de electricidad a ocupar en cada faena y proceso. Esto se puede representar de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Cons_{ijkt} = ProdEst_{ijt} PONDProd_{ikt} CoefUnit_{jt}$$

Donde,

- $Cons_{ijkt}$: Consumo de electricidad (en TWh) en la faena i , en el proceso j , de acuerdo a la condición/estado k del proyecto, en el año t .
- t : Periodo considerado (años 2017 – 2028).
- i : Faena minera considerada.
- j : Proceso minero considerado.
- k : Condición/estado del proyecto minero considerado¹.
- $ProdEst_{ijt}$: Capacidad de procesamiento estimada según diseño en la faena i , en el proceso j , y la condición/estado k del proyecto en el periodo t .
- $PONDProd_{ik}$: Ponderador de la producción estimada en base a información histórica según la condición de un proyecto k en una faena minera i en el periodo t . $PONDMax_{ikt} \in (0,1]$
- $CoefUnit_{jt}$: Consumo unitario estimado de electricidad en el proceso j en el periodo t . Estos son los valores reportados en la tabla 1.

¹ Las condiciones/estados de los proyectos que se establecen en el presente informe son: Base, Probable, Posible-factibilidad, Potencial-factibilidad y Potencial-prefactibilidad.



La modelación de las variaciones en cada escenario depende de la variable $PondProd_{ikt}$. Como sus valores fluctúan entre 0 y 1, mientras mayor sea $PondProd_{ikt}$, mayor será el consumo de energía. Así, en el escenario de consumo *máximo*, donde no hay riesgos de producción ni retrasos, todas las ponderaciones son equivalentes a 1, mientras que en los escenarios *más probable* y *mínimo* son consecuentemente inferiores.

Para visualizar lo anterior, en la tabla 2 se ilustra la matriz de ponderadores de producción para el caso *más probable*. Se aprecia por ejemplo que un proyecto que esté en condición de posible/factibilidad con un inicio de operaciones planificado por el titular para un año específico, sólo contará con un 37% de su producción planificada para el primer año.

Este escenario lleva de manera implícita que un proyecto potencial en prefactibilidad tarda dos años en pasar a factibilidad, luego dos años a la categoría de posible, luego otros tres años hasta probable y dos años de probable a base.

Tabla 2: Ponderadores determinísticos de producción futura probable

Condición/estado del proyecto	Año planificado del proyecto											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	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	0,28	0,32	0,37	0,42	0,45	0,49	0,55	0,69	0,70	0,71	0,80	0,80
Posible/Factibilidad	0,37	0,42	0,45	0,49	0,55	0,69	0,70	0,71	0,80	0,80	0,83	0,84
Probable	0,69	0,70	0,71	0,80	0,80	0,83	0,84	0,84	0,84	0,85	0,88	0,92
Base	0,71	0,80	0,80	0,83	0,84	0,84	0,84	0,85	0,88	0,92	0,92	0,93

Fuente: Cochilco.

2.4. Consumo esperado nacional de electricidad en minería del cobre

Finalmente, una vez estimados los consumos *máximo*, *mínimo* y *más probable*, se estima el consumo esperado para cada faena y proceso considerado a través de una simulación de Montecarlo en función de los valores encontrados. De tal forma, el consumo anual queda representado como:

$$C_t = \sum_i \sum_j \beta_{ijkt} (Cons_{ijkt}^{max}, Cons_{ijkt}^{MP}, Cons_{ijkt}^{min})$$

Donde,

- C_t : Consumo de electricidad (en TWh) en minería del cobre en el año t .
- $Cons_{ijkt}^{max}, Cons_{ijkt}^{MP}, Cons_{ijkt}^{min}$: Consumo máximo, más probable y mínimo (en TWh) respectivamente en la faena i , en el proceso j , de acuerdo a la condición/estado k del proyecto, en el año t .



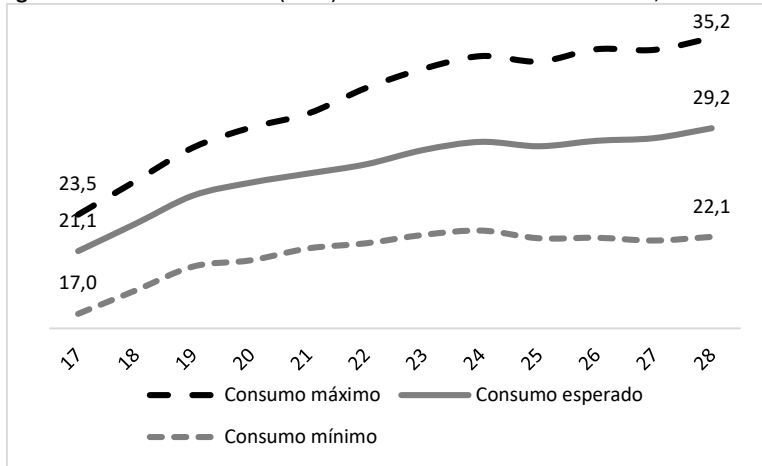
3. Proyección del consumo anual de energía eléctrica 2017 – 2028

En este capítulo se muestra el resultado global de la proyección del consumo de energía eléctrica en la minería del cobre en el período 2017 – 2028. El consumo esperado se acompaña de los escenarios de consumo máximo y mínimo, según se explicó en la metodología.

La figura 1 proyecta el consumo futuro esperado así como sus límites máximos y mínimos para cada año de estudio. Durante el periodo completo, el consumo eléctrico esperado crecería desde 21,1 TWh hasta 29,2 TWh (~2,7% promedio anual). Sin embargo, el crecimiento no es uniforme. En efecto, se aprecia un crecimiento esperado relativamente alto durante los próximos dos años desde 21,1 TWh a 24,8 TWh en 2019 (~8,4% promedio anual), para luego moderarse hasta 2024 (~2,7%) y estabilizarse desde dicho año hasta 2028 (~0,8%).

3.1. Proyección a nivel país

Figura 1: Consumo eléctrico (TWh) nacional de la minería del cobre, 2017 - 2028



Fuente: Cochilco.

Como vemos de la figura 1, en el caso esperado, que recoge las incertidumbres del desarrollo de los proyectos, el consumo eléctrico crecería en un 38%, equivalente a una tasa del 2,7% promedio anual durante el período 2017 – 2028. En el caso máximo en tanto, el consumo crecería en un 50%, a una tasa promedio anual del 3,3%. Para el escenario de consumo mínimo por su parte se estima un crecimiento del 30%, lo que implica una tasa del 2,2% anual.

Dividiendo el periodo en intervalos trianuales, vemos de la tabla 3 que durante los primeros años se proyecta el crecimiento más fuerte en el consumo, lo que se explica en parte por una menor incertidumbre con respecto a los proyectos a ejecutar. Así, para el primer trienio el crecimiento en el consumo esperado es de 17,4%, para luego caer a menos de un tercio de dicha tasa, con un 4,7% en el segundo. El tercer trienio es el de menor crecimiento en todos los escenarios, situación que se explica particularmente por una menor producción en las operaciones ya existentes así como en los proyectos nuevos a desarrollarse.

Tabla 3: Variación trianual (%) del consumo eléctrico y producción cobre mina en Chile, 2017 – 2028

Escenario	Variable	17-19	20-22	23-25	26-28
Máximo	Consumo energía eléctrica	18.9	8.9	1.4	2.2
	Producción cobre mina	14.6	6.1	-0.9	0.5
Esperado	Consumo energía eléctrica	17.4	4.7	0.9	2.9
	Producción cobre mina	11.3	2.3	-1.7	1.4
Mínimo	Consumo energía eléctrica	18.4	5.5	-1.0	0.3
	Producción cobre mina	14.1	0.9	-3.4	-0.9

Fuente: Cochilco.



Se aprecia además que en todos los trienios y para todos los escenarios la variación del consumo de energía eléctrica es superior al de la producción de cobre mina, situación que se explica principalmente por el decrecimiento de las leyes y el uso creciente de agua marítima en las faenas. Ahora bien, como se mencionó previamente, no se consideran eventuales mejoras de eficiencia energética que podrían aminorar el crecimiento proyectado en el consumo eléctrico.

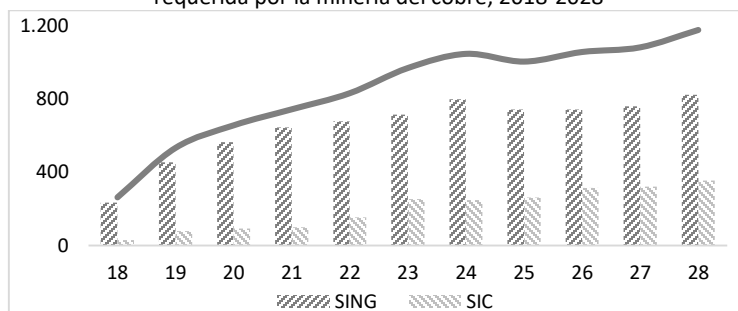
3.2. Proyección de demanda por potencia eléctrica

Dado el proyecto de interconexión entre los sistemas SING y SIC, a partir del 2018 corresponderá referirse a un sistema único en tanto que las distintas operaciones mineras podrán utilizar energía de distintas fuentes y zonas geográficas. En consecuencia, en versiones posteriores del presente estudio Cochilco reformulará el análisis a partir de la necesidad de evaluar al sistema de provisión de energía como un todo. No obstante, para efectos del estudio actual, se presentan las proyecciones de consumo desagregando por ambos sistemas.

En la figura 2 se ilustra la proyección de demanda acumulada de potencia eléctrica requerida para satisfacer el consumo eléctrico esperado de la minería del cobre² durante el periodo 2018-2028. Se estima que el alza anual de 2019 será la más relevante, con un incremento de 95% para el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) y de un 164% para el Sistema Interconectado Central (SIC). En general, la demanda del SING será creciente hasta el año 2023, mientras que la del SIC será creciente en prácticamente todo el periodo, con la excepción de los años 2025 y 2026.

En suma, para todo el periodo 2018-2028, se estima un crecimiento de 3,5 veces para el SING y de unas 12 veces para el SIC. En consecuencia, se requeriría agregar una capacidad de generación eléctrica de 1.177 MW, de las cuales cerca del 70%, equivalente a 823 MW, se estiman para el SING y el 30% restante, 354 MW, para el SIC.

Figura 2: Proyección de la demanda acumulada de potencia eléctrica (MW) requerida por la minería del cobre, 2018-2028



Fuente: Cochilco.

En relación a la ampliación de las capacidades de generación local y/o transmisión de electricidad, se han impulsado una serie de proyectos enfocados a optimizar la operación del sistema eléctrico nacional, lo que hará posible ampliar las capacidades actuales y contar con menores precios de suministro. Se destaca la interconexión entre el SIC y el SING a través de la línea Mejillones-Cardones de unos 600 km. de extensión) y también de la línea Cardones-Polpaico (784 km. de extensión, cuya construcción está en su etapa final. Al cierre del informe, el Coordinador Eléctrico Nacional estima que quedará pendiente la conexión del tramo Polpaico-Nueva Pan de Azúcar, parte de la línea Cardones-Polpaico, la cual se espera terminar dentro del primer trimestre de 2018.

² Los incrementos anuales de energía eléctrica proyectada se convierten en demanda de potencia de generación asumiendo que las centrales de generación debieran tener en promedio un factor de carga mínimo del 78,7% (6,9 Giga Watts-hora de energía útil por cada Mega Watt de potencia), considerando que la central debe disponer de tiempo de mantención regular, de potencia en giro, además que parte de la energía generada se auto consume en la central y otra parte se disipa en la transmisión (Fuente: CDEC SING-SIC).

Con el sistema interconectado una vez en funcionamiento en toda su capacidad, además de optimizar el uso de los recursos de generación ya disponibles, permitirá hacer un mayor aprovechamiento de las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) como la eólica, solar y geotérmica, que tienen un alto potencial en el norte del país, pero presentan características disímiles en cuanto a su patrón de generación. En efecto, como advierte Eduardo Andrade de Cigré Chile, si bien la electricidad generada a través de la geotermia es comparable a la producida por centrales eléctricas de carbón o gas, la producción de electricidad en las centrales fotovoltaicas o eólicas depende de las variaciones propias de la naturaleza, lo que supone incertidumbre en el suministro.

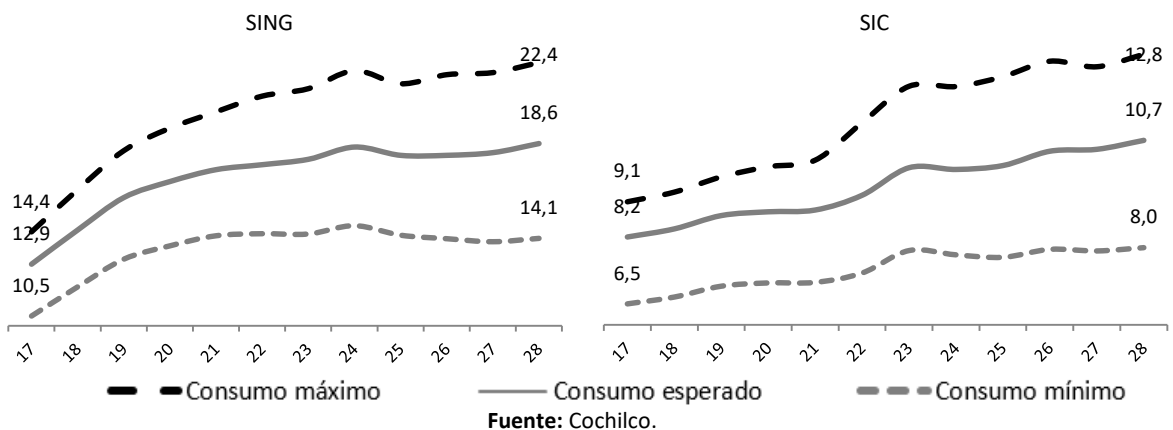
En consecuencia, considerando que el suministro eléctrico debe ser estable y seguro a las necesidades de consumo, la incorporación de ERNC a la matriz energética depende en buena parte de la capacidad del sistema como un todo de compensar las variaciones naturales de este tipo de energías. Para lograrlo, debe estar presente la opción de centrales convencionales que puedan variar rápidamente su generación de electricidad en función de las variaciones instantáneas de las ERNC. Las centrales más aptas para este tipo de compensaciones son las hidráulicas (que actualmente tienen una presencia mayoritaria en el SIC), en tanto pueden tomar carga muy rápidamente, mientras que las centrales en base a carbón o a gas (que constituyen la base del SING), salvo algunas excepciones, cuando ya están generando carecen de la capacidad de tomar grandes volúmenes adicionales de carga o no lo pueden hacer con la velocidad requerida. Así, la integración de los sistemas SIC y SING permitirá un trabajo conjunto de las fuentes energéticas ya existentes así como el incentivo a la adopción de una mayor oferta de ERNC.

Sumado a lo anterior, en 2016 se promulgó la Ley de Transmisión Eléctrica, marco legal que mejoró la competitividad del mercado promoviendo la llegada de nuevos proveedores al sistema eléctrico así como la integración y promoción de las ERNC. Este marco ya ha mostrado resultados positivos con menores precios promedio en el sector residencial así como un fuerte incremento de adjudicación de proyectos de estas energías en las licitaciones de 2016 y 2017. Dado que las mineras disponen de contratos de largo plazo con sus proveedores, el efecto no ha sido inmediato pero se estima que se disminuirán progresivamente sus costos de energía eléctrica en los próximos años.

3.3. Proyección por Sistemas SING y SIC

Las proyecciones de consumo desagregando por SIC y SING se ilustran en la figura 3.

Figura 3: Consumo eléctrico (TWh) de la minería del cobre en SING y SIC, 2017-2028



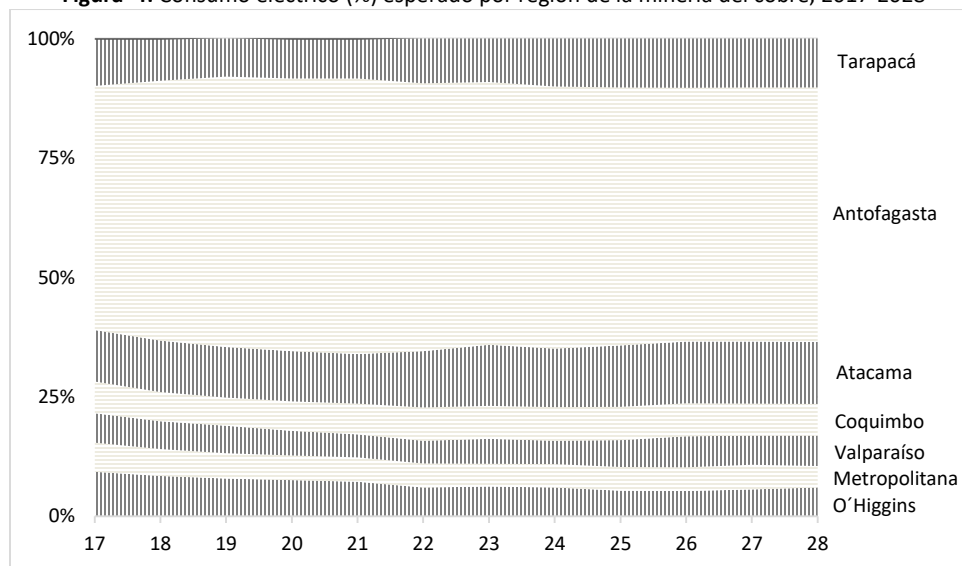
Al comparar ambos sistemas se desprenden dos puntos relevantes:

- El mayor uso de energía proviene del SING, superioridad que será mayor en el tiempo. En efecto, en el año 2017 el consumo esperado del SING es un 57% superior al del SIC, situación que aumentará hasta un 95% hasta el 2021 para luego decrecer hasta un 74% hacia el 2028.
- En general, para todo el periodo se contempla que el consumo en el SIC crezca en un 23% (~1,7% promedio anual), proyectando su mayor crecimiento en el año 2023 (~7%). En el SING por su parte se espera un crecimiento total de 44% (~3,1% promedio anual), estimando su mayor incremento al comienzo del periodo, entre 2017 y 2018 (~11% promedio anual).

3.4. Proyección por regiones

La figura 4 ilustra las participaciones de consumo energético en minería por región durante 2017 y 2028. Como se puede apreciar, en general no se esperan grandes variaciones. La región de Antofagasta, concentra más de la mitad del uso de energía, situación que se espera se mantenga durante todo el periodo de estudio. Le siguen las regiones de Atacama, Tarapacá y O'Higgins con alrededor del 10% del consumo proyectado cada una durante 2017. A partir de 2024, se espera que Atacama aumente ligeramente su participación por encima del 12% y que O'Higgins baje al 6%. Para Tarapacá por su parte se espera que se mantenga su participación.

Figura 4: Consumo eléctrico (%) esperado por región de la minería del cobre, 2017-2028



Nota: Se omite a la región de Arica y Parinacota, que cuenta con una participación en torno a 0-0,2% durante el periodo.

Fuente: Cochilco.

Para los escenarios mínimo y máximo, el patrón de comportamiento en la proyección del consumo de energía eléctrica en estos dos casos es básicamente el mismo que en la proyección del consumo esperado. En consecuencia, en ambos casos las regiones de Antofagasta y Atacama liderarán la demanda de energía eléctrica (véase tablas 20 y 22 del anexo).

4. Análisis del consumo eléctrico esperado según la condicionalidad de los proyectos

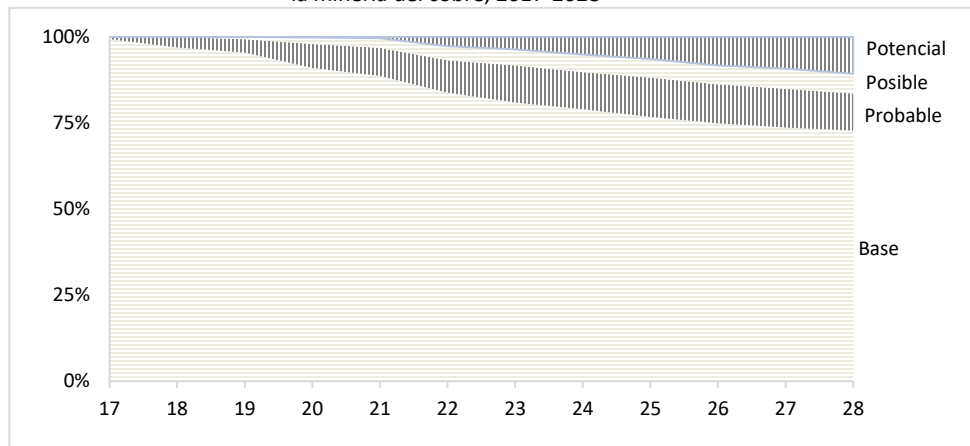
Como vimos previamente en la metodología, el consumo eléctrico esperado tiene su base más cierta en las actuales operaciones y en los proyectos ya en construcción. En cambio, el consumo eléctrico futuro que tendrían los proyectos que aún no cuentan con la decisión de construirse tiene un grado de incertidumbre creciente en el tiempo, por lo que su magnitud depende de posibles retrasos en su ejecución así como de eventuales mermas de producción respecto a lo planificado.

En este contexto, este capítulo se destina al análisis del consumo eléctrico esperado de los proyectos mineros de cobre según la condicionalidad de su ejecución.

4.1. Análisis a nivel país

Dada la construcción metodológica y considerando que el nivel de incertidumbre es creciente en el tiempo, la relevancia de los proyectos que aún no cuentan con la decisión de construirse será mayor conforme aumentan los años. Así, como se aprecia en la figura 5, al año 2017 se espera que prácticamente la totalidad del consumo energético proyectado en minería provenga de operaciones y proyectos ya en construcción (base). En relación a los proyectos probables posibles y potenciales, vemos que progresivamente adquieren una mayor relevancia hasta representar cerca de un cuarto del consumo esperado total al 2028.

Figura 5: Proyección del consumo eléctrico nacional esperado (%) según la condicionalidad de operaciones y proyectos de la minería del cobre, 2017-2028



Fuente: Cochilco.

En la tabla 4 se ilustra la proyección en términos absolutos (TWh). A partir de esta se desprende que en el corto plazo, hacia el 2020, la demanda eléctrica crecerá principalmente por el mayor consumo de las operaciones base. Sin embargo, en el mediano y largo plazo, a partir de 2021, la demanda crece por la puesta en marcha de los proyectos probables, posibles, potenciales que se hacen más relevantes. Los proyectos base en cambio comienzan progresivamente a perder terreno durante este intervalo.

Puesto que los proyectos probables, posibles y potenciales están en estudio, en el corto plazo debe quedar definida la modalidad contractual para el abastecimiento eléctrico. Así, un aspecto relevante

acotar es que resultará fundamental la activa participación de la nueva oferta que se generará por los proyectos de generación eléctrica en desarrollo dentro de un único sistema interconectado, donde las ERNC jugarán un papel crecientemente importante.

Tabla 4: Proyección del consumo eléctrico nacional esperado (TWh) según la condicionalidad de operaciones y proyectos de la minería del cobre, 2017-2028

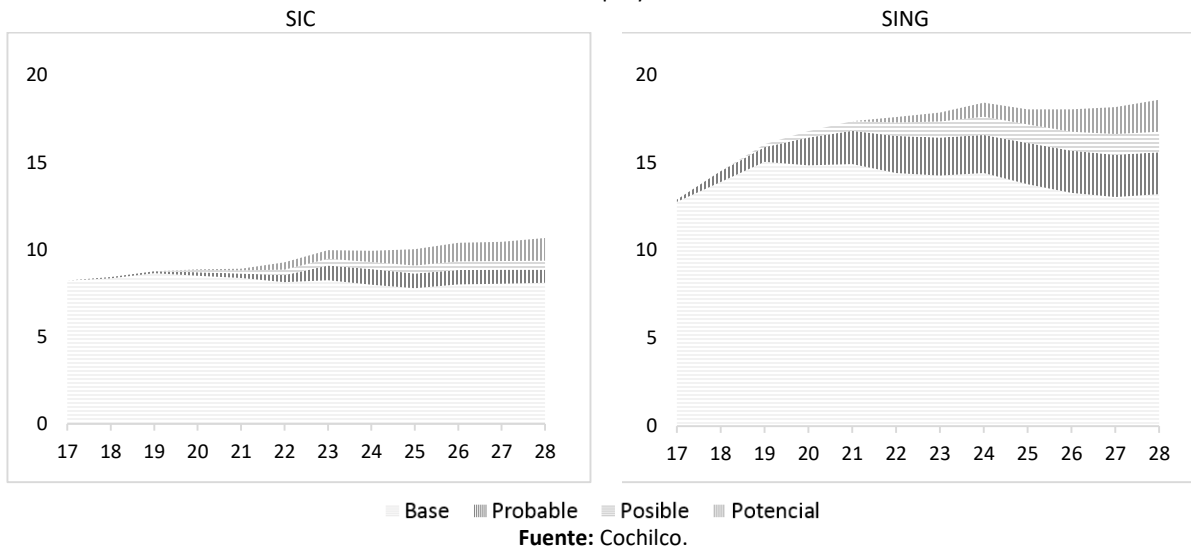
Condición	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Base	21.0	22.2	23.7	23.3	23.3	22.5	22.5	22.4	21.5	21.3	21.1	21.3
Probable	0.1	0.7	1.0	1.8	2.2	2.5	3.0	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2
Posible	0.0	0.0	0.2	0.5	0.7	1.1	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.7
Potencial	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	1.0	1.4	1.8	2.3	2.6	3.1
Total	21.1	22.9	24.8	25.6	26.3	26.9	27.8	28.3	28.0	28.4	28.6	29.2

Fuente: Cochilco.

4.2. Análisis comparativo del SING y SIC

El comportamiento de la demanda eléctrica en ambos sistemas interconectados se aprecia gráficamente en la figura 6.

Figura 6: Consumo eléctrico (TWh) de la minería del cobre en el SING y SIC según la condicionalidad de sus operaciones y proyectos



De la comparación se ambos sistemas se dependen los siguientes puntos:

- En 2017 la demanda de energía eléctrica se centra mayormente en el SING con 12,9 TWh (~61% del total) versus 8,2 demandados en el SIC (~39% restante). Esta tendencia se mantendrá sin grandes variaciones al año 2028, año en el que se demandarán 16,1 TWh en el SING (~64% del total) versus 10,2 en el SIC (~36%).
- El consumo base en el SING muestra un incremento anual promedio de 8,5% en la demanda de energía hasta el año 2019, el que irá declinando progresivamente a una tasa promedio anual de 1,5% en los años siguientes. La razón de este declive se encuentra en la salida de operaciones y/o caídas proyectadas en las producciones, principalmente en la línea hidrometalurgia (Cerro

Colorado y Spence de BHP Billiton, Mantos Blancos de Mantos Copper, Quebrada Blanca de Teck, El Abra de Freeport McMoRan, entre otras), además del rajo de Chuquicamata en línea concentrados. El consumo base en el SIC también tiene un incremento al año 2019 (3,2% promedio anual). Posteriormente comienza a declinar levemente y con algunas intermitencias (0,7% promedio anual) hasta el 2028.

- Como en general el consumo base en ambos sistemas tiene leves variaciones, el crecimiento esperado de consumo se explica mayormente por los proyectos mineros que se encuentran en condición probable, posible o potencial, siendo el SING el sistema proporcionalmente más demandado. Algunos de los proyectos futuros más relevantes son Spence Growth Option de BHP Billiton, Distrito Centinela de Antofagasta Minerals y Quebrada Blanca Hipógeno de Teck, entre otros.

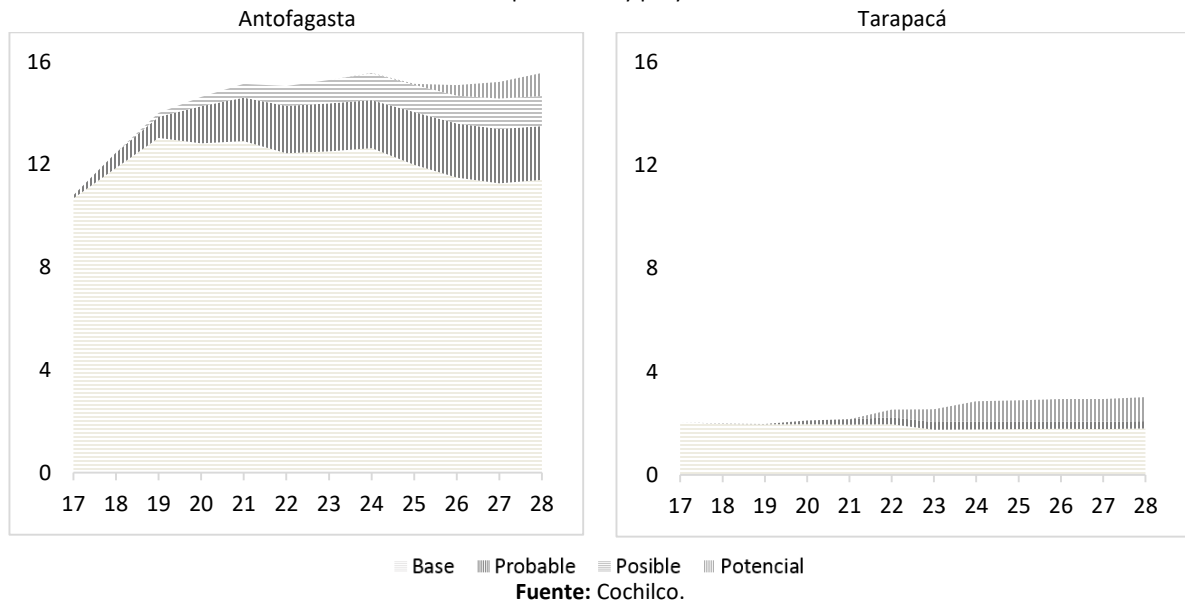
4.3. Análisis regional

Dada la relativa importancia que tendrán los proyectos en la futura demanda eléctrica, es relevante la ubicación geográfica donde se concentra la mayor demanda eléctrica minera y su condicionalidad.

4.3.1. Regiones del SING

El SING se extiende entre la XV Región de Arica y Parinacota, I Región de Tarapacá y la II Región de Antofagasta. En esta zona, la principal fuente de demanda esperada se concentra en la región de Antofagasta (~85% del total) y en una medida significativamente inferior en Tarapacá (~15%). El consumo de la región de Arica y Parinacota por su parte es prácticamente insignificante. En la figura 7 se ilustra el consumo para las dos primeras regiones.

Figura 7: Distribución regional del consumo eléctrico (TWh) de la minería del cobre en el SING según la condicionalidad de sus operaciones y proyectos



La demanda de energía de las operaciones base en la región de Antofagasta es significativamente más relevante en relación a la demanda de los proyectos probables, posibles y potenciales. El

consumo base se incrementaría hasta el año 2019 hasta alcanzar 13 TWh, equivalente al 93% del consumo energético regional en minería. Posteriormente disminuiría paulatinamente a 10 TWh hacia el año 2028, representando el 76% del total regional. Esta caída en la participación se explica en gran parte por la creciente activación de los proyectos probables, posibles y potenciales en el consumo. Dentro de los principales proyectos probables, posibles y potenciales se considera la Extensión Los Colorados de BHP Billiton, Sierra Gorda Expansión 230 KTPD de KGHM International, Desembotellamiento Mantos Blancos de Mantos Copper y Distrito Centinela de Antofagasta Minerals.

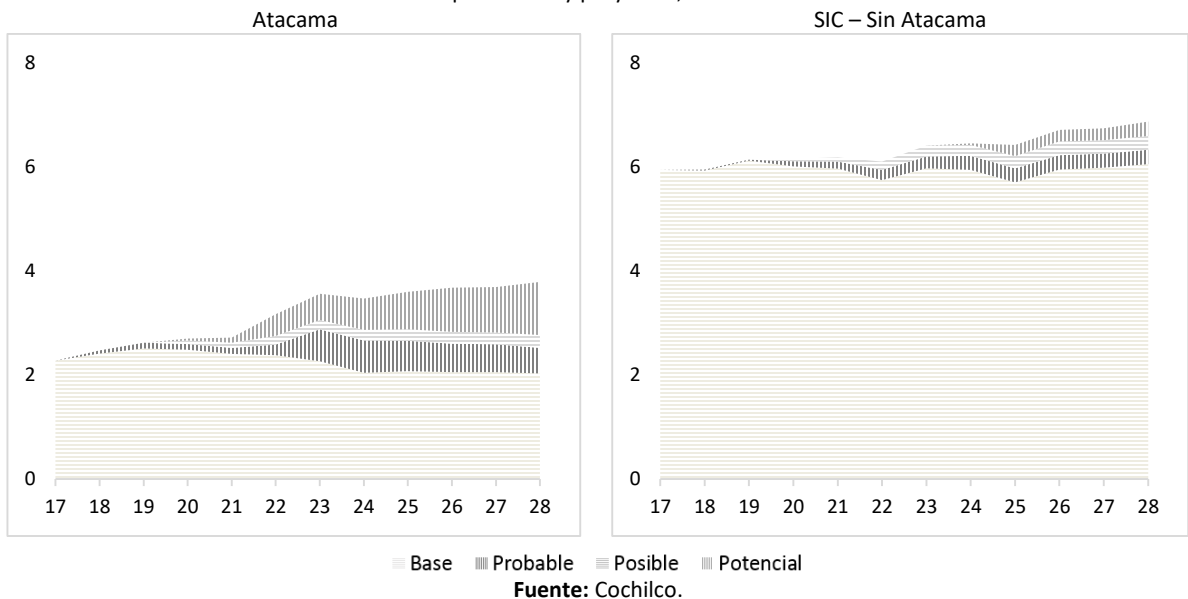
Por otra parte, en la región de Tarapacá se espera que los proyectos probables y potenciales comiencen a adquirir una participación mayoritariamente creciente, llegando a cerca del 40% del total hacia el 2028. Esto dependerá en un alto grado de la materialización de Quebrada Blanca Hipógeno de Teck, que contempla reemplazar su actual operación hidrometalúrgica.

4.3.2. Regiones del SIC

El SIC cubre desde Taltal en la Región de Antofagasta hasta la Región de Los Lagos. El mayor consumo esperado en minería cuprífera corresponde a Atacama (~33% del total), seguida de Coquimbo y O'Higgins (~18%) cada una, Valparaíso (~16%) y la Región Metropolitana (~14%).

Dada la alta relevancia de la región de Atacama y la dispersión del consumo en las otras regiones, en la figura 8 se ilustra la descomposición del consumo esperado de energía en Atacama y en SIC excluyendo a Atacama.

Figura 8: Distribución regional del consumo eléctrico (TWh) de la minería del cobre en el SIC según la condicionalidad de sus operaciones y proyectos, 2017-2028



Se aprecia en primer lugar que en Atacama el consumo base comienza a decrecer a partir de 2019, pero al mismo tiempo los proyectos probables, posibles y potenciales comienzan a activarse progresivamente. Lo anterior se vincula principalmente a la entrada en producción de Santo Domingo de Capstone Mining, Rajo Inca de Codelco, NuevaUnión Fase 1 de Teck y GoldCorp, y Candelaria 2030



de Ludin Mining, entre otros. Con todo, al final del periodo de estudio, se espera que estos proyectos representen cerca del 44% del consumo de la región.

Para las restantes regiones del SIC en cambio no se prevé una activación tan relevante de nuevos proyectos. En efecto, hacia el 2028 se estiman que estos representarán sólo un 11% del consumo. Para el consumo de operaciones base por su parte se estima que se mantendrá relativamente estable, entre 5,9 y 6 TWh durante todo el periodo, representando cerca del 93% del consumo total.

Al respecto cabe señalar que, como ya se ha mencionado en capítulos anteriores, el funcionamiento a fines del 2017 de la Interconexión SIC-SING, constituye un importante avance para dar mayor seguridad de abastecimiento, lo que a su vez permitiría una menor incertidumbre particularmente a los proyectos nuevos que deben negociar contratos de abastecimiento eléctrico en el largo plazo antes que comiencen sus operaciones. En este sentido, las iniciativas que han impulsado el Estado y entidades privadas hacia la provisión de un suministro de electricidad seguro y a precios competitivos es una de las variables que favorecerá la concreción de futuros proyectos mineros.

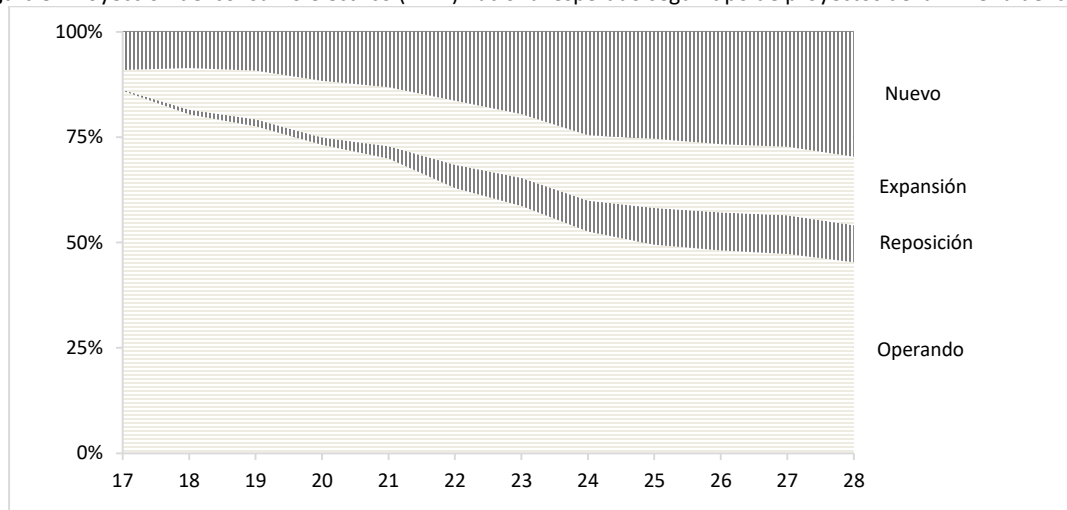
5. Análisis del consumo eléctrico esperado según tipo de proyecto

El presente capítulo está destinado a analizar la distribución del consumo eléctrico esperado entre las operaciones vigentes y los proyectos según su tipo, es decir, el propósito que tienen las compañías por emprenderlos. Es así como algunos proyectos son de reposición, para recuperar su capacidad productiva que se hubiere visto disminuida por efecto del deterioro de su base mineral, otros son de expansión para sustentar su competitividad vía aumento de escala de producción y los nuevos proyectos, cuyo desarrollo parte prácticamente de cero. El análisis cubre la situación global país, junto al análisis comparativo de las zonas del SING y SIC.

5.1. Análisis a nivel país

La figura 9 muestra el consumo eléctrico esperado de la minería del cobre nacional, distribuido por operaciones y tipos de proyectos.

Figura 9: Proyección del consumo eléctrico (TWh) nacional esperado según tipo de proyectos de la minería del cobre



Fuente: Cochilco.

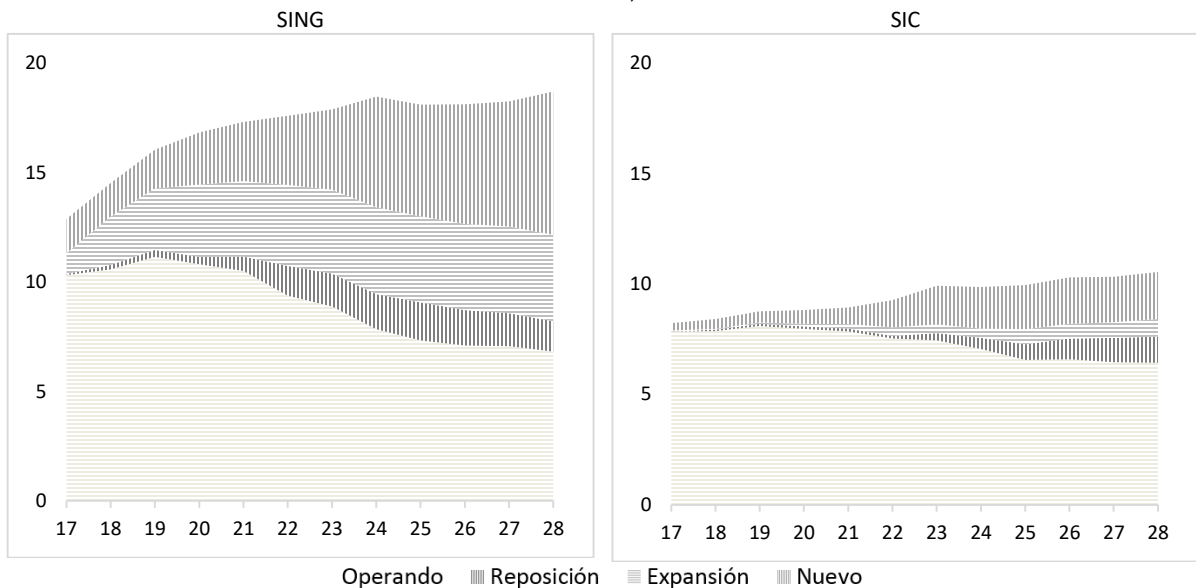
De la figura 9 se aprecia en primer lugar que los proyectos de expansión, reposición y particularmente los nuevos comienzan a adquirir una importancia creciente en el tiempo. Así, se proyecta que los proyectos nuevos pasen de representar el 10% del consumo esperado en 2017 al 30% en 2028. En términos absolutos esto implica pasar desde 1,9 TWh a 8,7 TWh.

Cabe señalar que los proyectos nuevos, si bien son los más relevantes detrás de aquellos que ya están operando, son los que enfrentan el mayor grado de incertidumbre en su desarrollo debido a las eventuales complejidades en su construcción y también dada la obtención de los permisos necesarios para darles inicio.

5.2. Análisis comparativo del SING y SIC

La estructura de la demanda eléctrica según operaciones y tipo de proyectos en ambos sistemas se grafica en la figura 10.

Figura 10: Proyección del consumo eléctrico (TWh) esperado en el SING y SIC según operaciones y tipo de proyectos de la minería del cobre, 2017-2028



En el SING la demanda esperada de energía eléctrica para operaciones vigentes alcanza su punto máximo en 2019 con 11,2 TWh (~64% del total), para luego caer progresivamente hasta 6,8 TWh en 2028, (~36%). Se destaca la importancia relativa de los proyectos nuevos, pasando de demandar 1,6 TWh en 2017 (~12% del total) a 6,5 en 2028 (~35%).

En relación al SIC, el consumo de las operaciones vigentes se proyecta en 7,8-8 TWh en el período 2017-2021, lo que representa en torno al 95% del consumo eléctrico proyectado. Posteriormente irá decreciendo paulatinamente hasta llegar a 6,4 TWh en 2028, equivalente al 61% del consumo en el sistema. Al igual que en el SING, son los proyectos nuevos los que cobran gran importancia en el período, pasando de ocupar 0,34 TWh en 2017, representando el 4% del total, a 2,13 en 2028, representando el 20%.

6. Análisis del consumo eléctrico esperado según procesos

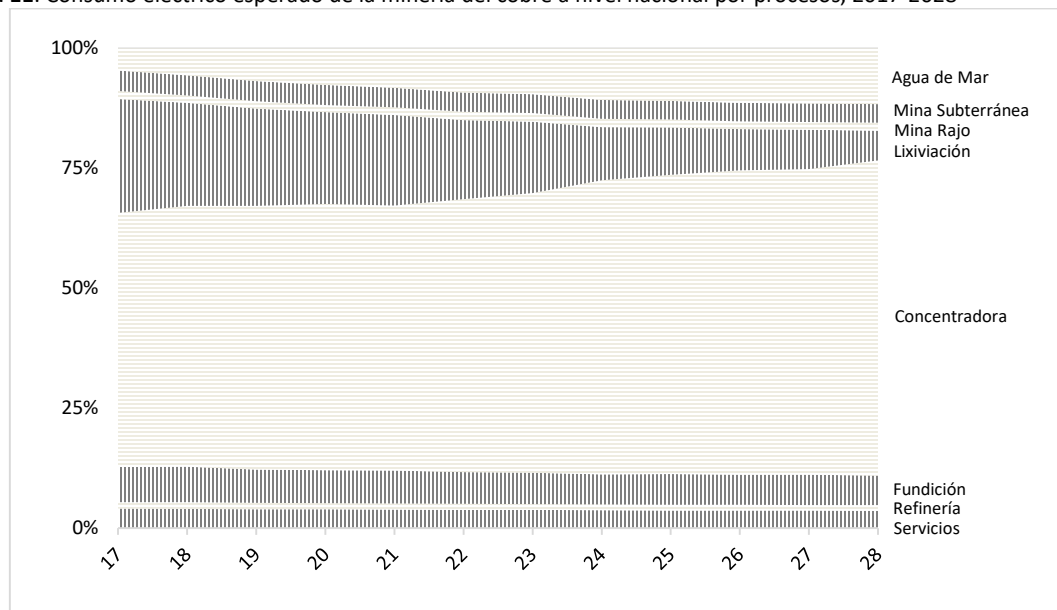
Para efectos del análisis de consumo eléctrico, Cochilco divide la minería del cobre en ocho procesos intensivos en energía eléctrica: uso de agua de mar (desalación y/o impulsión), minería subterránea, minería a rajo abierto, lixiviación (LX-SX-EW), concentradora, fundición, refinería y servicios. Considerando que cada uno emplea cantidades diferentes de energía, resulta útil desagregarlos para comprender su evolución futura.

Como se mencionó en la metodología, la proyección esperada de consumo se basa en dos supuestos. Primero, no habrá cambios tecnológicos disruptivos en minería que incidan significativamente en los procesos mineros. Segundo, el consumo unitario de energía eléctrica por procesos es creciente en el tiempo debido principalmente al envejecimiento de las minas y a menores leyes de mineral a procesar.

6.1. Distribución del consumo eléctrico esperado a nivel país

El resultado a nivel país del consumo eléctrico esperado por proceso se muestra en la en la figura 11.

Figura 11: Consumo eléctrico esperado de la minería del cobre a nivel nacional por procesos, 2017-2028



Fuente: Cochilco.

Para el 2017 se estima que el mayor consumo de energía eléctrica provenga de la Concentradora con 11,2 TWh, lo que representa el 53% de la energía demandada. Esta relación será creciente en el tiempo, llegando 19,22 TWh hacia el 2028, representando el 66%. Esto se debe a que gran parte de los proyectos de expansión y nuevos están enfocados en la obtención de concentrados de cobre y también debido a las menores leyes, lo que implica que haya una mayor cantidad de mineral a procesar.

Otro factor relacionado al aumento de la participación de la Concentradora es la caída en la producción de cátodos SXEW, lo que se refleja en que los procesos de lixiviación experimentarán una caída desde 5 TWh en 2017 a 1,8 TWh en 2028, pasando de representar un 24% a un 6% del total al

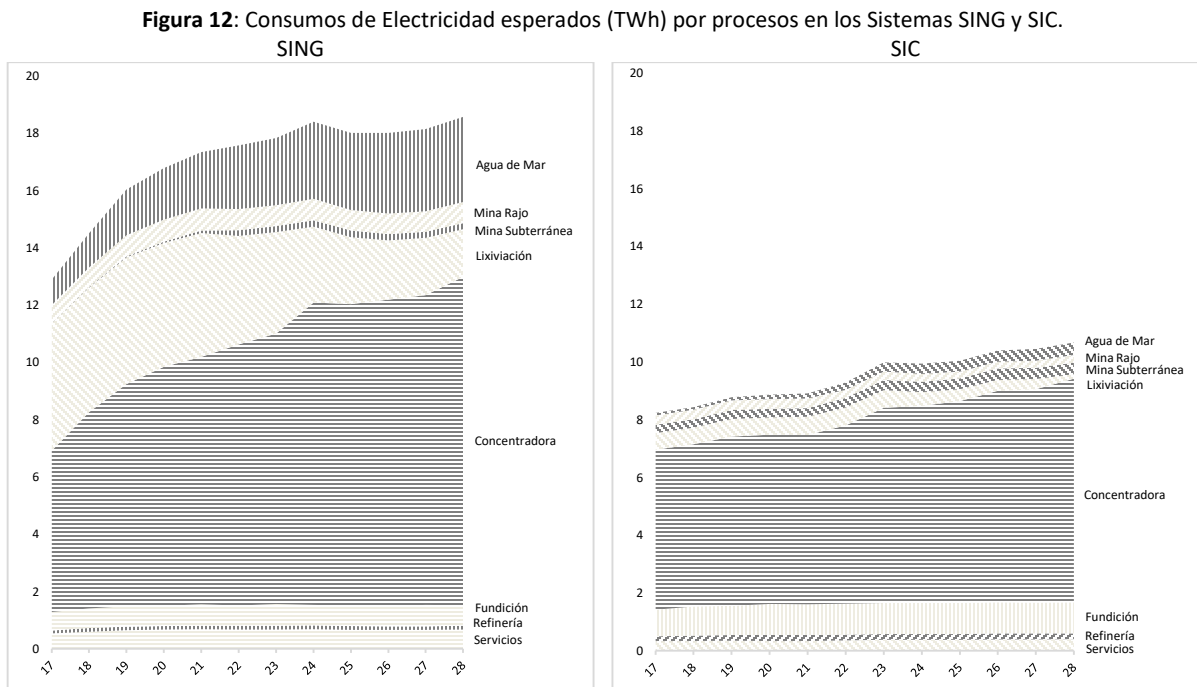
final del periodo de estudio. Los procesos de fundición no experimentarán un cambio significativo, pasando de 1,6 TWh a 1,8 TWh durante el periodo, lo que equivale a un cambio de un 7% a un 6% hacia el 2028. Por último, los procesos de mina subterránea, refinería y servicios se mantendrán con participaciones relativamente marginales, con ninguno sobrepasando el 2% del consumo esperado durante todo el periodo de estudio.

Un ítem que ha tenido y seguirá cobrando una importancia creciente en el consumo eléctrico en el norte del país es el uso de agua de mar, lo que conlleva la desalinización y especialmente la impulsión del agua a las faenas mineras. Esto responde al aumento de operaciones de concentración, proceso altamente intensivo en el empleo de agua, insumo particularmente escaso en Antofagasta y Atacama. En efecto, Cochilco en su estudio de “Proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2017-2028” estima que el consumo de agua de mar crezca en un 290% entre 2016 y 2028, aumento impulsado fuertemente por Antofagasta, particularmente entre 2017 y 2024, periodo en el cual se espera la puesta en marcha o ampliación de varias plantas desaladoras, tales como las de Escondida y Spence de BHP Billiton, Distrito Norte de Codelco, Distrito Centinela de Antofagasta Minerals y la extracción de agua para la posible expansión de Sierra Gorda de KGHM. En segundo lugar se proyecta que Atacama tenga un crecimiento importante a partir de 2023, destacando los proyectos Santo Domingo de Capstone Mining y Nueva Unión de Goldcorp y Teck.

En suma, se estima que el proceso de agua de mar tendrá un aumento de su consumo desde 1 TWh en 2017 a 3,4 TWh en 2028. Con esto, se proyecta que a fines del periodo el agua de mar será el proceso de mayor intensidad en consumo energético después de la Concentradora.

6.2. Análisis comparativo del SING y SIC

El consumo eléctrico proyectado por procesos para el SING y SIC se ilustran en la figura 12.



Fuente: Cochilco



Comparando los niveles de consumo energético por SING y SIC se destacan los siguientes puntos:

- En ambos procesos la concentración representa una participación mayoritaria y creciente del consumo energético. En SING se espera que pase de 5,5 TWh en 2017, lo que representa el 67% del total, a 7,8, equivalente al 73% del total. En SIC por su parte se proyecta que crezca de 5,6 TWh en 2017, 44% del total, a 11,5 TWh, equivalente al 62% en 2028.
- El crecimiento de la Concentradora explica la mayor parte del crecimiento de uso de energía eléctrica total en ambos sistemas. En efecto, se estima que el consumo del SING crecerá en un 44%, incremento que se atribuye en un 97% al crecimiento del consumo en este proceso. Esto se explica en gran parte por la producción esperada de concentrados en Chuquicamata de Codelco así como la puesta en marcha de una serie de proyectos nuevos, incluyendo Extensión Los Colorados de BHP Billiton, Quebrada Blanca Hipógeno de Teck y Distrito Centinela de Antofagasta Minerals, entre otros. En paralelo, se estima que el SIC crezca en un 23%, aumento que se atribuye en un 90% al crecimiento de los procesos de concentración. Dentro de los proyectos nuevos más relevantes, se destaca el comienzo proyectado de NuevaUnión Fase 1 de Teck y GoldCorp y Santo Domingo de Capstone Mining.
- En el SING, el segundo proceso con mayor uso de energía eléctrica al comienzo del periodo es la lixiviación con 4,4 TWh, un 34% de la demanda total. Sin embargo, se proyecta una disminución en el consumo energético hasta 1,7 TWh en 2028, representando sólo un 9%. Lo anterior se explica principalmente por cierres y/o disminuciones de producción esperada en Chuquicamata Mina Sur de Codelco, RT Sulfuros Fase I de Codelco, Radomiro Tomic Óxidos de Codelco y Quebrada Blanca de Teck, Tesoro de Antofagasta Minerals, Cerro Colorado de BHP Billiton, entre otras. A su vez, no se consideran nuevos proyectos o proyectos de expansión en el periodo 2017 – 2028 que involucren la explotación de minerales oxidados, lo que incide en la generación de capacidad de SXEW ociosa. El agua de mar por su parte tendrá un crecimiento de 1 TWh en 2017 a 3,4 TWh en 2028, llegando a posicionarse como el segundo proceso de mayor uso de energía eléctrica del SING, con un 12% del total al final del periodo.
- En el SIC, el segundo proceso de mayor demanda proyectada es la Fundición, fluctuando entre 0,9 y 1,1 TWh durante todo el periodo, lo que representa entre un 10% y un 12% del consumo eléctrico estimado para el sistema. Esto se explica por la estabilidad en la producción de las principales fundiciones del país con la excepción de Potrerillos de Codelco, para la cual se estima un alza de alrededor de dos tercios en su consumo eléctrico durante el intervalo 2017-2020. Por otra parte, si bien el proceso de lixiviación no es tan relevante en consumo de energía eléctrica como en el SING, también se espera una caída pronunciada, desde 0,57 TWh en 2017, equivalentes al 7% del total para el SIC, a 0,15 en 2028, representando sólo el 1,5% del total. Asimismo, de un modo similar al SING, el proceso de uso de agua cobrará una importancia creciente, pasando de 0,08 TWh en 2017, equivalente al 1% del total, a 0,43 TWh en 2028, 4% del total.



7. Comentarios finales

Para el periodo 2017-2028 se espera que el consumo total de energía eléctrica en minería del cobre aumente un 38%, de 21.1 TWh en a 29.2 TWh, con incrementos continuados en cada año, con la única excepción de una caída interanual del 1% proyectada para el 2025. La región con el liderazgo actual y futuro del uso de energía en minería cuprífera es Antofagasta, con más de la mitad del total durante todo el periodo de estudio. Será seguida por las regiones de Atacama, Tarapacá y O'Higgins con alrededor del 10% del consumo proyectado cada una al comienzo del periodo. Ya a partir de 2024, sin embargo, se espera que Atacama aumente su participación por encima del 12%, reforzando su posición como la segunda región de mayor relevancia en el consumo eléctrico. O'Higgins por su parte bajará al 6% de participación mientras que para Tarapacá no se prevé una variación significativa.

Al revisar el consumo esperado por procesos, hay dos puntos especialmente destacables:

- La Concentradora, que para el 2017 ya es la principal fuente de consumo con más de la mitad de la demanda esperada de energía eléctrica en minería del cobre, seguirá creciendo hasta representar dos tercios del total al 2028. Esto se explica por el incremento en la producción de concentrados, proceso intensivo en uso de energía, pero también por una menor producción de cátodos de cobre, lo que trae como contraparte una caída en la demanda eléctrica en los procesos de lixiviación, que bajarán su participación desde un 24% del consumo total proyectado en 2017 hasta apenas un 6% en 2028.
- El uso de agua marítima experimentará un alza importante, pasando del 5% en 2017 al 12% en 2028, llegando a convertirse en el segundo proceso de mayor intensidad de consumo eléctrico. Esto responde principalmente a los proyectos futuros de plantas desalinizadoras ubicadas en las regiones de Antofagasta y Atacama, lo que implicará un mayor uso de energía eléctrica para el funcionamiento de las plantas, pero principalmente para impulsar el agua hacia las faenas mineras.

Ahora bien, en los últimos años la industria cuprífera nacional ha debido lidiar con múltiples problemas para satisfacer su consumo energético. Además de la dependencia a fuentes externas como carbón, petróleo y gas para la generación de energía, enfrenta el progresivo envejecimiento de las principales minas y la consecuente caída en las leyes del mineral, lo que presiona a mayores niveles de consumo energético. Asimismo, el desarrollo futuro de nuevos proyectos constituye una presión adicional al alza que plantea el problema de satisfacer a una demanda creciente.

No obstante, la capacidad de la oferta para dar respuestas eficientes no ha satisfecho las aspiraciones industriales, llegando a identificarse a la matriz energética por diferentes analistas de la industria como un “cuello de botella” para el desarrollo cuprífero nacional. En términos acotados, este problema se puede dividir en dos desafíos clave: en primer lugar asegurar el abastecimiento necesario para satisfacer la producción, y en segundo lugar, mantener los costos acotados a fin de lograr una mayor rentabilidad en los proyectos y obtener una posición competitiva en el mercado.

En este escenario, tanto el Estado como agentes privados han logrado avanzar en mejoras significativas. En primer lugar, se destaca el desarrollo de la interconexión de los sistemas SING y SIC, anhelo histórico para la minería nacional, en tanto que repercutirá en menores costos y una mayor



sostenibilidad en el suministro energético. Asimismo, permitirá un mayor aprovechamiento de las ERNC dado que en el norte grande del país (donde se encuentra la mayor parte de actividad minera, actualmente cubierta en su mayor parte por el SING) habrá una mayor capacidad de compensación con energía hidráulica (proveniente de las regiones centro y del sur, actualmente cubiertas por el SIC), ante las posibles variaciones inherentes a la energía solar o eólica, por ejemplo.

En línea con lo anterior, en 2016 se promulgó la Ley de Transmisión Eléctrica, con la cual se han generado cambios significativos en el mercado así como en la dinámica de licitaciones para la provisión de energía eléctrica. De este modo, actualmente hay una mayor cantidad de proveedores, lo que se traduce en menores precios de la energía a clientes regulados, situación que eventualmente repercutirá en los grandes contratos mineros fijados a largo plazo. Al mismo tiempo se ha favorecido la integración de las ERNC. El nuevo marco legal dado por esta ley ya mostró resultados positivos, con un fuerte incremento de adjudicación de proyectos de ERNC en las licitaciones de 2016 y 2017.

Por último, otro elemento que ha cobrado una creciente relevancia en los últimos años radica en la consecución de mejoras de eficiencia en el uso de energía. Al respecto, entidades privadas y gremiales como la Agencia Chilena de Eficiencia Energética y el Consejo Minero ha llevado a cabo varios proyectos piloto así como una serie de auditorías que apuntan a detectar posibles problemas a fin de buscar eventuales oportunidades de optimización en el uso de la energía. En paralelo, en los últimos años el Estado ha trabajado en el diseño de una Ley de Eficiencia Energética que apunta a tres objetivos clave: la implementación de un sistema de gestión de energía en cada sitio de empresas con altos consumos de energía, el establecimiento de un plan anual de eficiencia energética con metas concretas de reducción en el tiempo, y la contratación de auditorías energéticas técnicas externas de carácter periódico que validen y verifiquen las medidas de eficiencia energética identificadas, evaluadas e implementadas, junto a los ahorros logrados. Una vez promulgada esta ley, Cochilco tendrá una base sólida para identificar las metas de ahorro de energía anuales e incluir las mejoras de eficiencia estimadas en versiones posteriores de este estudio.

Con todo, considerando los puntos anteriores, si bien los desafíos en demanda energética siguen siendo crecientes, la matriz energética ha obtenido avances importantes que permiten anticipar mejoras en la seguridad del suministro eléctrico a costos progresivamente menores, situación que mejorará la posición competitiva de la industria cuprífera nacional.



8. Anexos

8.1. Anexos capítulo 2: Metodología

8.1.1. Proyectos mineros considerados en la proyección de energía

Tabla 5: Operaciones vigentes de cobre

Compañía	Mina	Región	Etapas de desarrollo	Condición	Producto	Sistema
Mantos Copper	Mantos Blancos	Antofagasta	Operación	Base	Concentrado	SING
Mantos Copper	Desembotellamiento Mantos Blancos	Antofagasta	Factibilidad	Probable	Concentrado	SING
Mantos Copper	Desarrollo Mantoverde	Atacama	Factibilidad	Posible	Concentrado	SIC
Anglo American Chile	El Soldado	Valparaíso	Operación	Base	Concentrado	SIC
Anglo American Chile	Los Bronces	RM	Operación	Base	Concentrado	SIC
Antofagasta Minerals	Esperanza	Antofagasta	Operación	Base	Concentrado	SING
Antofagasta Minerals	Actualización Esperanza	Antofagasta	Operación	Base	Concentrado	SING
Antofagasta Minerals	Esperanza Sur	Antofagasta	Factibilidad	Probable	Concentrado	SING
Antofagasta Minerals	Encuentro Sulfuros	Antofagasta	Factibilidad	Probable	Concentrado	SING
Antofagasta Minerals	Los Pelambres	Coquimbo	Operación	Base	Concentrado	SIC
Antofagasta Minerals	Los Pelambres Ampliación Marginal I	Coquimbo	Factibilidad	Probable	Concentrado	SIC
Antofagasta Minerals	Los Pelambres Ampliación Marginal II	Coquimbo	Factibilidad	Posible	Concentrado	SIC
Antofagasta Minerals	Los Pelambres Ampliación IV	Coquimbo	Hipotético	Hipotético	Concentrado	SIC
BARRICK	Cerro Casale	Atacama	Hipotético	Hipotético	Concentrado	SIC
BHP Billiton	Escondida	Antofagasta	Operación	Base	Concentrado	SING
BHP Billiton	Escondida OGP I	Antofagasta	Operación	Base	Concentrado	SING
BHP Billiton	Extensión Los Colorados	Antofagasta	Factibilidad	Probable	Concentrado	SING
BHP Billiton	Spence Growth Option	Antofagasta	Factibilidad	Posible	Concentrado	SING
Capstone Mining	Santo Domingo	Atacama	Factibilidad	Probable	Concentrado	SIC
CODELCO	Chuqui Rajo	Antofagasta	Operación	Base	Concentrado	SING
CODELCO	Chuqui Subte	Antofagasta	En Ejecución	Base	Concentrado	SING
CODELCO	RT Sulfuros Fase I	Antofagasta	Operación	Base	Concentrado	SING
CODELCO	RT Sulfuros Fase II	Antofagasta	En Ejecución	Base	Concentrado	SING
CODELCO	Ministro Hales	Antofagasta	Operación	Base	Concentrado	SING
CODELCO	Ministro Hales Subte	Antofagasta	Pre-Fact.	Potencial	Concentrado	SING
CODELCO	Salvador	Atacama	Operación	Base	Concentrado	SIC
CODELCO	Rajo Inca	Atacama	Pre-Fact.	Potencial	Concentrado	SIC
CODELCO	Andina	Valparaíso	Operación	Base	Concentrado	SIC
CODELCO	Andina Exp. Fase II	Valparaíso	Pre-Fact.	Potencial	Concentrado	SIC
CODELCO	El Teniente	O'Higgins	Operación	Base	Concentrado	SIC
CODELCO	Nuevo Nivel Mina y Otros Proy	O'Higgins	En Ejecución	Base	Concentrado	SIC
Doña Inés de Collahuasi	Collahuasi	Tarapacá	Operación	Base	Concentrado	SING
Doña Inés de Collahuasi	Collahuasi Optimización 170 ktpd	Tarapacá	Factibilidad	Probable	Concentrado	SING



Doña Inés de Collahuasi	Collahuasi Ampl. Fase III	Tarapacá	Hipotético	Hipotético	Concentrado	SING
Freeport McMoRan	El Abra Mill Project	Antofagasta	Factibilidad	Potencial	Concentrado	SING
Glencore-Xstrata	Lomas Bayas Sulfuros	Antofagasta	Hipotético	Hipotético	Concentrado	SING
Glencore-Xstrata	Altos de Punitaqui	Coquimbo	Operación	Base	Concentrado	SIC
KGHM INT.	Sierra Gorda Concentrados	Antofagasta	Operación	Base	Concentrado	SING
KGHM INT.	Sierra Gorda Expansión 230 ktpd	Antofagasta	Factibilidad	Posible	Concentrado	SING
Lunding Mining	Ojos del Salado	Atacama	Operación	Base	Concentrado	SIC
Lunding Mining	Candelaria	Atacama	Operación	Base	Concentrado	SIC
Lunding Mining	Candelaria 2030	Atacama	Factibilidad	Probable	Concentrado	SIC
Pan Pacific Copper	Caserones Concentrados	Atacama	Operación	Base	Concentrado	SIC
Teck	Andacollo Hipógeno	Atacama	Operación	Base	Concentrado	SIC
Teck	Quebrada Blanca Hipógeno	Tarapacá	Factibilidad	Potencial	Concentrado	SING
Teck - Gold Corp	NuevaUnión Fase 1	Atacama	Pre-Fact.	Potencial	Concentrado	SIC
Teck - Gold Corp	NuevaUnión Fase 2	Atacama	Pre-Fact.	Potencial	Concentrado	SIC
Andes Iron SpA	Dominga	Coquimbo	Factibilidad	Posible	Concentrado	SIC
Amerigo Res.	Valle Central - Relaves frescos	O'Higgins	Operación	Base	Concentrado	SIC
Amerigo Res.	Valle Central - Colihues	O'Higgins	Cerrada	Base	Concentrado	SIC
Amerigo Res.	Valle Central Expansión (Cauquenes)	O'Higgins	Operación	Base	Concentrado	SIC
CEM San Andrés	San Andres	Atacama	Operación	Base	Concentrado	SIC
Cerro Dominador	Faride	Antofagasta	Cerrada	Base	Concentrado	SING
Cerro Negro	Cerro Negro	Valparaíso	Operación	Base	Concentrado	SIC
COEMIN	Carola	Atacama	Operación	Base	Concentrado	SIC
Copec	Diego de Almagro Sulf.	Atacama	Factibilidad	Probable	Concentrado	SIC
Copper Bay	Playa Verde	Atacama	Factibilidad	Probable	Concentrado	SIC
Don Alberto	Planta Las Vacas	Coquimbo	Operación	Base	Concentrado	SIC
ENAMI	Matta	Atacama	Operación	Base	Concentrado	SIC
ENAMI	Vallenar	Atacama	Operación	Base	Concentrado	SIC
ENAMI	Delta	Coquimbo	Operación	Base	Concentrado	SIC
Hot Chili	Productora	Atacama	Pre-Fact.	Potencial	Concentrado	SIC
Las Cenizas	Cabildo	Valparaíso	Operación	Base	Concentrado	SIC
Las Cenizas	Taltal	Antofagasta	Operación	Base	Concentrado	SING
La Patagua	Peumo y Don Jaime	Valparaíso	Operación	Base	Concentrado	SIC
Linderos	Linderos	Coquimbo	Operación	Base	Concentrado	SIC
Nittetsu Mining	Atacama Kozan	Atacama	Operación	Base	Concentrado	SIC
Pan Aust	Inca de Oro	Atacama	Hipotético	Hipotético	Concentrado	SIC
Pucobre	San José	Atacama	Operación	Base	Concentrado	SIC
Pucobre	El Espino Conc	Coquimbo	Factibilidad	Probable	Concentrado	SIC
San Gerónimo	Planta Talcuna	Coquimbo	Operación	Base	Concentrado	SIC
SCM Tambillos	Tambillos	Coquimbo	Operación	Base	Concentrado	SIC
Talcuna	Talcuna	Coquimbo	Operación	Base	Concentrado	SIC
Varios	Plantas Conc. varias	No determ.	Operación	Base	Concentrado	No det.
Mantos Copper	Mantos Blancos	Antofagasta	Operación	Base	SXEW	SING
Mantos Copper	Mantoverde	Atacama	Operación	Base	SXEW	SIC
Anglo American CHILE	El Soldado	Valparaíso	Operación	Base	SXEW	SIC
Anglo American CHILE	Los Bronces	RM	Operación	Base	SXEW	SIC
Antofagasta Minerals	Encuentro Óxidos	Antofagasta	En Ejecución	Base	SXEW	SING



Antofagasta Minerals	Michilla	Antofagasta	Cerrada	Base	SXEW	SING
Antofagasta Minerals	Tesoro	Antofagasta	Operación	Base	SXEW	SING
Antofagasta Minerals	Antucoya	Antofagasta	Operación	Base	SXEW	SING
Antofagasta Minerals	Zaldivar	Antofagasta	Operación	Base	SXEW	SING
BHP Billiton	Cerro Colorado	Tarapacá	Operación	Base	SXEW	SING
BHP Billiton	Spence	Antofagasta	Operación	Base	SXEW	SING
BHP Billiton	Escondida Óxidos	Antofagasta	Operación	Base	SXEW	SING
BHP Billiton	Escondida Biolix.	Antofagasta	Operación	Base	SXEW	SING
Codelco	Mina Sur Chuqui y Otros	Antofagasta	Operación	Base	SXEW	SING
Codelco	R.Tomic Óxidos	Antofagasta	Operación	Base	SXEW	SING
Codelco	Ministro Hales	Antofagasta	Operación	Base	SXEW	SING
Codelco	Salvador	Atacama	Operación	Base	SXEW	SIC
Codelco	TTE. Recuperación Cu	O'Higgins	Operación	Base	SXEW	SIC
Codelco	Andina SBL	Valparaíso	Proy. Hipotético	Hipotético	SXEW	SIC
Codelco	Gabriela Mistral	Antofagasta	Operación	Base	SXEW	SING
Doña Inés de Collahuasi	Collahuasi SxEw	Tarapacá	Operación	Base	SXEW	SING
Freeport McMoRan	El Abra	Antofagasta	Operación	Base	SXEW	SING
Glencore-Xstrata	Lomas Bayas HEAP	Antofagasta	Operación	Base	SXEW	SING
KGHM International	Sierra Gorda Óxidos	Antofagasta	Factibilidad	Probable	SXEW	SING
KGHM International	Franke	Antofagasta	Operación	Base	SXEW	SING
KGHM International	Franke - Continuidad Operacional	Antofagasta	En Ejecución	Base	SXEW	SING
Pan Pacific Copper	Caserones	Atacama	Operación	Base	SXEW	SIC
Teck	Quebrada Blanca	Tarapacá	Operación	Base	SXEW	SING
Teck	Andacollo Óxidos	Coquimbo	Operación	Base	SXEW	SIC
Teck	Andacollo Lix Ripios	Coquimbo	Factibilidad	Probable	SXEW	SIC
CEMIN	Dos Amigos	Atacama	Operación	Base	SXEW	SIC
CEMIN	Catemu	Valparaíso	Operación	Base	SXEW	SIC
Cerro Negro	Cerro Negro	Valparaíso	Operación	Base	SXEW	SIC
Copec	Diego de Almagro Óxidos	Atacama	Factibilidad	Posible	SXEW	SIC
ENAMI	Planta Matta	Atacama	Operación	Base	SXEW	SIC
ENAMI	Planta Vallenar	Atacama	Operación	Base	SXEW	SIC
ENAMI	Planta El Salado	Atacama	Operación	Base	SXEW	SIC
ENAMI	Planta J.A. Moreno (Taltal)	Antofagasta	Operación	Base	SXEW	SING
ENAMI	Delta	Coquimbo	Operación	Base	SXEW	SIC
Haldeman	Sagasca	Tarapacá	Operación	Base	SXEW	SING
Haldeman	Sagasca cont. Operacional	Tarapacá	Factibilidad	Probable	SXEW	SING
Las Cenizas	Taltal Óxidos	Antofagasta	Operación	Base	SXEW	SING
Mantos de la Luna	Mantos de Luna	Antofagasta	Operación	Base	SXEW	SING
Pucobre	Pucobre	Atacama	Operación	Base	SXEW	SIC
Pucobre	El Espino Oxidos	Coquimbo	Factibilidad	Probable	SXEW	SIC
Vecchiola	Tres Valles	Coquimbo	Operación	Base	SXEW	SIC
Pampa Camarones	Pampa Camarones	Arica y Parinacota	Operación	Base	SXEW	SING
Tocopilla	Tocopilla	Antofagasta	Operación	Base	SXEW	SING

Fuente: Inversión en la Minería Chilena - Cartera de Proyectos 2017 -2028, Cochilco.



Tabla 6: Operaciones y proyectos considerados con Uso de Agua de Mar, total o parcialmente

Compañía	Mina	Región	Etapas de desarrollo	Condición	Sistema
Mantos Copper	Desarrollo Mantoverde	Atacama	Factibilidad	Potencial	SIC
Antofagasta Minerals	Centinela (Esperanza)	Antofagasta	Operación	Base	SING
Antofagasta Minerals	Centinela (Actualización Esperanza)	Antofagasta	Operación	Base	SING
Antofagasta Minerals	Esperanza Sur	Antofagasta	Factibilidad	Posible	SING
Antofagasta Minerals	Encuentro Sulfuros	Antofagasta	Factibilidad	Potencial	SING
Antofagasta Minerals	Los Pelambres Ampliación Marginal I	Coquimbo	Factibilidad	Probable	SIC
Antofagasta Minerals	Los Pelambres Ampliación Marginal II	Coquimbo	Factibilidad	Posible	SIC
BHP Billiton	Escondida	Antofagasta	Operación	Base	SING
BHP Billiton	Escondida OGP I	Antofagasta	Operación	Base	SING
BHP Billiton	Extensión Los Colorados	Antofagasta	Factibilidad	Probable	SING
BHP Billiton	Spence Growth Option	Antofagasta	Factibilidad	Posible	SING
Capstone Mining	Santo Domingo	Atacama	Factibilidad	Probable	SIC
CODELCO	Chuqui Subte	Antofagasta	En Ejecución	Base	SING
CODELCO	RT Sulfuros Fase I	Antofagasta	Operación	Base	SING
CODELCO	RT Sulfuros Fase II	Antofagasta	En Ejecución	Base	SING
CODELCO	Ministro Hales	Antofagasta	Operación	Base	SING
Freeport McMoRan	El Abra Mill Project	Antofagasta	Factibilidad	Potencial	SING
KGHM INT.	Sierra Gorda Concentrados	Antofagasta	Operación	Base	SING
KGHM INT.	Sierra Gorda Expansión 230 ktpd	Antofagasta	Factibilidad	Posible	SING
Lunding Mining	Ojos del Salado	Atacama	Operación	Base	SIC
Lunding Mining	Candelaria	Atacama	Operación	Base	SIC
Lunding Mining	Candelaria 2030	Atacama	Factibilidad	Probable	SIC
Teck	Quebrada Blanca Hipógeno	Tarapacá	Factibilidad	Potencial	SING
Teck - Gold Corp	NuevaUnión Fase 1	Atacama	Pre-Factibilidad	Potencial	SIC
Teck - Gold Corp	NuevaUnión Fase 2	Atacama	Pre-Factibilidad	Potencial	SIC
Andes Iron SpA	Dominga	Coquimbo	Factibilidad	Posible	SIC
COPEC	Diego de Almagro Sulf.	Atacama	Factibilidad	Probable	SIC
Copper Bay	Playa Verde	Atacama	Factibilidad	Probable	SIC
Las Cenizas	Taltal	Antofagasta	Operación	Base	SING
BHP Billiton	Escondida	Antofagasta	Operación	Base	SING
BHP Billiton	Escondida OGP I	Antofagasta	Operación	Base	SING
BHP Billiton	Extensión Los Colorados	Antofagasta	Factibilidad	Probable	SING
Mantos Copper	Mantoverde	Atacama	Operación	Base	SIC
Antofagasta Minerals	Encuentro Óxidos	Antofagasta	En Ejecución	Base	SING
Antofagasta Minerals	Michilla	Antofagasta	Cerrada	Base	SING
Antofagasta Minerals	Antucoya	Antofagasta	Operación	Base	SING
KGHM International	Sierra Gorda Óxidos	Antofagasta	Factibilidad	Probable	SING
COPEC	Diego de Almagro Óxidos	Atacama	Factibilidad	Posible	SIC



ENAMI	Planta J.A. Moreno (Taltal)	Antofagasta	Operación	Base	SING
Las Cenizas	Taltal Óxidos	Antofagasta	Operación	Base	SING
Mantos de la Luna	Mantos de Luna	Antofagasta	Operación	Base	SING
BHP Billiton	Spence	Antofagasta	Operación	Base	SING
BHP Billiton	Escondida Óxidos	Antofagasta	Operación	Base	SING
BHP Billiton	Escondida Biolix.	Antofagasta	Operación	Base	SING

Fuente: **Cochilco, 2017**



8.1.2. Detalle de la metodología de cálculo del consumo esperado de electricidad en plantas desaladoras y Sistemas de impulsión

Por la naturaleza de la desalación de agua de mar y su impulsión, sus consumos tienen su propio tratamiento. La metodología implica una estimación de la potencia eléctrica requerida para la planta y para el Sistema de impulsión. Luego, para el cálculo de la energía se asume una tasa promedio de horas diarias donde se aplica la potencia.

a) Los supuestos usados en este ítem son los siguientes:

- Plantas en operación se mantienen según la vida útil de la faena a la que abastecen.
- El caudal de agua desalinizada/impulsada es según la proyección que hace Cochilco sobre el consumo de agua esperado de cada faena. La capacidad de la planta es lo que es en base a lo informado por las empresas.
- Se considera el mismo caudal para la planta desaladora y para su Sistema de impulsión en los casos que se utilice agua desalada.
- Todos los proyectos en estudio o pre-factibilidad comienzan a operar Inician su actividad en función del inicio en producción del proyecto minero asociado.
- Para el Sistema de impulsión se estimó el consumo energético en base a cota y distancia de la costa dimensionando la cantidad de bombas requeridas.
- Para la planta desaladora se estimó el consumo eléctrico según un factor por m³ de agua a desalinizar.
- Funcionamiento plantas generadoras de 360 días al año y 24 horas al día.
- Energía por m³ necesaria para desalinizar: 3.4KWh/m³.
- Eficiencia bombas de 70%.
- Perdidas de carga horizontal: 0.03 Kwh/(m³/km)
- Consumo energía eléctrica por diferencia de cota: 0.003 Kwh/(m³/m)

b) Cálculo de la potencia:

Se calcula la potencia requerida por las plantas desaladoras y luego la potencia necesaria para la impulsión del agua utilizando las siguientes fórmulas:

Tabla 7: Cálculo de la potencia requerida en la desalación e impulsión de agua

Proceso	Potencia (MW)
Desalación de agua	$4 \frac{KWh}{m^3} \times Q \times \frac{3,6}{1.000}$
Impulsión de agua	$\frac{g \times \rho \times Q \times H}{1.000.000 \times \eta_b \times \eta_m}$

Fuente: Cochilco.

Donde:

- g: Aceleración de gravedad, la cual es igual a 9,8 (m/s²).
- ρ: Densidad del agua, la cual es igual a 1000 (kg/m³).
- H: Altura (msnm).
- Q: Caudal en metros cúbicos por segundo (m³/s).



- η_b : Rendimiento de bombas (%).
- η_m : Rendimiento del motor (%).

c) Cálculo de la energía eléctrica a consumir, según la siguiente fórmula:

$$Energía (TWh) = \frac{Potencia \times días \times horas}{1.000.000}$$

Donde:

- *Potencia*: está expresada en MW.
- *días*: Se consideraron 360 días de operación en el año
- *horas*: Se consideraron 24 horas de funcionamiento diarias.

d) Generación de escenarios:

Posteriormente se generan escenarios anuales para cada una de las plantas desadoras y Sistemas de impulsión, aplicándoles los mismos ponderadores de los proyectos mineros y además un factor de 100%, 90% y 80% para los escenarios máximo, más probable y mínimo respectivamente, para agregarle variabilidad a la cantidad de días y horas de funcionamiento de las plantas y Sistemas de impulsión.

Con los escenarios generados se aplica el método de Montecarlo explicado en la metodología, obteniendo una distribución probabilística del consumo de energía anual para cada una de las plantas desadoras y Sistemas impulsión. Posteriormente se procedió a calcular el valor esperado de cada una de las distribuciones probabilísticas, tal como se efectuó para la proyección de consumo de electricidad por parte de los procesos mineros.

El valor esperado del consumo eléctrico por este concepto es sumable al valor esperado del consumo minero propiamente tal.



8.2. Anexo con cifras de proyección de consumo esperado de electricidad 2017– 2028 en diferentes categorías

8.2.1. Proyección global

Tabla 8: Consumo máximo, mínimo y esperado (TWh) de la minería del Cobre 2017-2028, país.

Escenario	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Consumo máximo	23.53	25.76	27.98	29.29	30.23	31.91	33.18	34.02	33.65	34.47	34.43	35.21
Consumo esperado	21.12	22.93	24.80	25.65	26.25	26.86	27.81	28.34	28.05	28.41	28.59	29.24
Consumo mínimo	16.98	18.52	20.10	20.51	21.30	21.63	22.19	22.47	21.96	22.00	21.81	22.05

Fuente: Cochilco.

Tabla 9: Consumo máximo, mínimo y esperado (TWh) de la minería del Cobre 2017-2028, SING.

Escenario	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Consumo máximo	14.4	16.4	18.2	19.3	20.1	20.8	21.1	22.0	21.4	21.8	21.9	22.4
Consumo esperado	12.9	14.5	16.0	16.8	17.3	17.6	17.8	18.4	18.0	18.0	18.1	18.6
Consumo mínimo	10.5	11.8	13.1	13.8	14.2	14.3	14.3	14.7	14.3	14.1	13.9	14.1

Fuente: Cochilco.

Tabla 10: Consumo máximo, mínimo y esperado (TWh) de la minería del Cobre 2017-2028, SIC.

Escenario	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Consumo máximo	9.1	9.4	9.7	10.0	10.2	11.1	12.0	12.0	12.3	12.7	12.5	12.8
Consumo esperado	8.2	8.4	8.8	8.9	8.9	9.3	10.0	9.9	10.0	10.4	10.4	10.7
Consumo mínimo	6.5	6.7	7.0	7.1	7.1	7.3	7.9	7.8	7.7	7.9	7.9	8.0

Fuente: Cochilco.



8.2.2. Proyección de consumo de electricidad según procesos

Tabla 11: Consumo esperado de electricidad (TWh) por parte de la minería del cobre por procesos, país

Proceso	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Concentradora	11.18	12.46	13.63	14.23	14.50	15.29	16.21	17.38	17.50	18.03	18.21	19.22
Mina Rajo	0.90	0.97	1.04	1.07	1.08	1.07	1.10	1.10	1.09	1.11	1.11	1.13
Mina Subte.	0.34	0.35	0.37	0.38	0.41	0.48	0.49	0.50	0.47	0.45	0.46	0.49
Fundición	1.56	1.70	1.73	1.77	1.81	1.78	1.82	1.79	1.79	1.78	1.81	1.79
Refinería	0.28	0.32	0.32	0.33	0.33	0.33	0.33	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
Lixiviación	5.02	4.92	5.03	4.91	4.96	4.41	4.15	3.13	2.76	2.45	2.36	1.81
Servicios	0.86	0.92	0.98	1.00	1.01	1.02	1.05	1.05	1.03	1.04	1.04	1.06
Agua de Mar	0.98	1.28	1.70	1.96	2.15	2.48	2.65	3.05	3.07	3.22	3.27	3.41
Total	21.12	22.93	24.80	25.65	26.25	26.86	27.81	28.34	28.05	28.41	28.59	29.24

Fuente: Cochilco.

Tabla 12: Consumo esperado de electricidad (TWh) por parte de la minería del cobre por procesos, SING.

Proceso	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Concentradora	5.64	6.85	7.77	8.36	8.64	9.12	9.45	10.56	10.52	10.71	10.82	11.47
Mina Rajo	0.62	0.68	0.74	0.77	0.77	0.74	0.74	0.74	0.72	0.71	0.72	0.73
Mina Subte.	0.02	0.02	0.03	0.04	0.08	0.19	0.21	0.22	0.24	0.22	0.21	0.22
Fundición	0.64	0.69	0.71	0.70	0.74	0.71	0.75	0.71	0.72	0.70	0.74	0.72
Refinería	0.10	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
Lixiviación	4.45	4.35	4.42	4.32	4.33	3.79	3.54	2.66	2.34	2.06	2.00	1.66
Servicios	0.53	0.59	0.64	0.66	0.67	0.67	0.67	0.68	0.66	0.65	0.65	0.66
Agua de Mar	0.90	1.19	1.59	1.80	1.97	2.23	2.34	2.70	2.69	2.83	2.87	2.98
Total	12.89	14.50	16.03	16.78	17.34	17.58	17.83	18.41	18.02	18.02	18.14	18.57

Fuente: Cochilco.

Tabla 13: Consumo esperado de electricidad (TWh) por parte de la minería del cobre por procesos, SIC

Proceso	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Concentradora	5.54	5.61	5.86	5.87	5.86	6.17	6.75	6.81	6.98	7.32	7.39	7.75
Mina Rajo	0.28	0.29	0.30	0.30	0.30	0.33	0.36	0.36	0.38	0.40	0.39	0.39
Mina Subte.	0.33	0.33	0.34	0.33	0.33	0.28	0.29	0.27	0.23	0.23	0.24	0.27
Fundición	0.92	1.01	1.01	1.07	1.07	1.07	1.07	1.08	1.07	1.07	1.06	1.07
Refinería	0.17	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Lixiviación	0.57	0.58	0.61	0.59	0.63	0.62	0.61	0.48	0.42	0.38	0.35	0.15
Servicios	0.33	0.33	0.34	0.34	0.34	0.35	0.38	0.37	0.38	0.39	0.39	0.40
Agua de Mar	0.08	0.09	0.10	0.16	0.18	0.25	0.31	0.35	0.37	0.39	0.40	0.43
Total	8.23	8.43	8.77	8.86	8.91	9.28	9.98	9.93	10.03	10.39	10.44	10.67

Fuente: Cochilco.

8.2.3. Proyección de consumo de electricidad según condición

Tabla 14: Consumo esperado de electricidad (TWh) por parte de la minería del cobre según condición, país.

Condición	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Base	20.99	22.24	23.68	23.34	23.28	22.52	22.50	22.40	21.54	21.29	21.08	21.28
Hipotético	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Posible	0.00	0.00	0.15	0.48	0.72	1.11	1.29	1.44	1.52	1.58	1.67	1.68
Potencial	0.00	0.00	0.00	0.04	0.10	0.72	1.01	1.44	1.78	2.33	2.62	3.13



Probable	0.13	0.70	0.97	1.80	2.16	2.51	3.01	3.06	3.21	3.21	3.22	3.15
Total	21.12	22.93	24.80	25.65	26.25	26.86	27.81	28.34	28.05	28.41	28.59	29.24

Fuente: Cochilco.

Tabla 15: Consumo esperado de electricidad (TWh) por parte de la minería del cobre según condición, SING

Condición	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Base	12.76	13.89	15.04	14.83	14.90	14.39	14.26	14.40	13.75	13.28	13.04	13.19
Posible	0.00	0.00	0.15	0.37	0.54	0.78	0.90	1.03	1.06	1.08	1.18	1.16
Potencial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.50	0.80	0.85	1.27	1.52	1.83
Probable	0.13	0.61	0.84	1.58	1.90	2.11	2.17	2.17	2.36	2.39	2.41	2.39
Total	12.89	14.50	16.03	16.78	17.34	17.58	17.83	18.41	18.02	18.02	18.14	18.57

Fuente: Cochilco.

Tabla 16: Consumo esperado de electricidad (TWh) por parte de la minería del cobre según condición, SIC.

Condición	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Base	8.23	8.35	8.64	8.50	8.38	8.13	8.24	8.00	7.78	8.01	8.05	8.09
Posible	0.00	0.00	0.00	0.11	0.18	0.33	0.38	0.41	0.45	0.49	0.49	0.51
Potencial	0.00	0.00	0.00	0.04	0.10	0.42	0.51	0.64	0.94	1.07	1.10	1.29
Probable	0.00	0.08	0.13	0.21	0.26	0.40	0.85	0.89	0.86	0.82	0.81	0.77
Total	8.23	8.43	8.77	8.86	8.91	9.28	9.98	9.93	10.03	10.39	10.44	10.67

Fuente: Cochilco.



8.2.4. Proyección de consumo de electricidad por tipo de proyecto

Tabla 17: Consumo esperado de electricidad (TWh) por parte de la minería del cobre por tipo de proyecto, país.

Tipo	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Nuevo	1.90	1.97	2.27	2.99	3.45	4.39	5.43	6.96	7.11	7.57	7.78	8.67
Expansión	0.99	2.25	2.86	3.44	3.67	4.08	4.21	4.37	4.61	4.59	4.67	4.75
Reposición	0.06	0.27	0.42	0.45	0.77	1.48	1.84	2.10	2.45	2.57	2.61	2.57
Operando	18.16	18.43	19.24	18.77	18.36	16.91	16.33	14.90	13.89	13.68	13.53	13.26
Total	21.12	22.93	24.80	25.65	26.25	26.86	27.81	28.34	28.05	28.41	28.59	29.24

Fuente: Cochilco.

Tabla 18: Consumo esperado de electricidad (TWh) por parte de la minería del cobre por tipo de proyecto, SING.

Condición	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Nuevo	1.56	1.53	1.77	2.37	2.70	3.15	3.68	5.07	5.10	5.46	5.72	6.54
Expansión	0.96	2.21	2.81	3.31	3.46	3.70	3.82	3.96	3.93	3.94	3.96	3.96
Reposición	0.06	0.21	0.31	0.34	0.65	1.35	1.51	1.60	1.74	1.62	1.51	1.38
Operando	10.31	10.57	11.15	10.81	10.51	9.38	8.88	7.85	7.33	7.09	7.07	6.82
Total SING	12.89	14.52	16.04	16.83	17.32	17.59	17.89	18.48	18.10	18.12	18.25	18.70

Fuente: Cochilco.

Tabla 19: Consumo esperado de electricidad (TWh) por parte de la minería del cobre por tipo de proyecto, SIC.

Condición	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Nuevo	0.34	0.44	0.50	0.62	0.75	1.24	1.75	1.89	2.01	2.10	2.07	2.13
Expansión	0.04	0.04	0.05	0.12	0.21	0.38	0.39	0.41	0.67	0.66	0.71	0.79
Reposición	0.00	0.07	0.11	0.11	0.13	0.13	0.33	0.50	0.71	0.94	1.09	1.19
Operando	7.86	7.86	8.09	7.96	7.85	7.53	7.44	7.06	6.56	6.59	6.46	6.43
Total SIC	8.23	8.41	8.75	8.82	8.93	9.27	9.91	9.86	9.95	10.30	10.33	10.54

Fuente: Cochilco.



8.2.5. Proyección de consumo de electricidad por regiones

Tabla 20: Proyección consumo eléctrico máximo (TWh) de la minería del cobre por región 2017-2028

Región	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Arica y Parinacota	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tarapacá	2.26	2.19	2.18	2.36	2.43	3.27	3.45	3.95	3.84	3.84	3.78	3.79
Antofagasta	12.10	14.15	15.99	16.87	17.57	17.53	17.69	18.04	17.53	17.96	18.12	18.58
Atacama	2.55	2.78	2.96	3.15	3.27	4.24	4.77	4.67	4.73	4.83	4.73	4.87
Coquimbo	1.54	1.54	1.61	1.78	1.93	2.19	2.26	2.32	2.29	2.27	2.22	2.23
Valparaíso	1.44	1.47	1.57	1.47	1.39	1.41	1.59	1.58	2.01	2.28	2.12	2.29
Metropolitana	1.43	1.44	1.46	1.47	1.48	1.48	1.47	1.52	1.54	1.56	1.62	1.44
O'Higgins	2.17	2.13	2.15	2.13	2.09	1.79	1.94	1.93	1.71	1.72	1.85	2.02
Total País	23.53	25.76	27.98	29.29	30.23	31.91	33.18	34.02	33.65	34.47	34.43	35.21

Fuente: Cochilco.

Tabla 21: Proyección consumo eléctrico esperado (TWh) de la minería del cobre por región 2017-2028

Región	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Arica y Parinacota	0.04	0.05	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tarapacá	2.05	1.99	1.97	2.10	2.16	2.52	2.54	2.85	2.88	2.93	2.93	3.01
Antofagasta	10.80	12.47	14.01	14.63	15.14	15.05	15.29	15.56	15.14	15.09	15.21	15.57
Atacama	2.28	2.48	2.62	2.70	2.72	3.17	3.57	3.47	3.60	3.68	3.70	3.79
Coquimbo	1.39	1.39	1.46	1.58	1.70	1.87	1.92	1.98	1.97	1.96	1.93	1.95
Valparaíso	1.30	1.33	1.42	1.33	1.26	1.28	1.44	1.40	1.57	1.85	1.74	1.86
Metropolitana	1.29	1.30	1.32	1.33	1.34	1.34	1.34	1.38	1.39	1.42	1.47	1.31
O'Higgins	1.96	1.93	1.95	1.93	1.89	1.62	1.72	1.70	1.49	1.49	1.61	1.76
Total País	21.12	22.93	24.75	25.65	26.25	26.86	27.81	28.34	28.05	28.41	28.59	29.24

Fuente: Cochilco.

Tabla 22: Proyección del consumo eléctrico mínimo (TWh) de la minería del cobre 2017-2028

Región	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Arica y Parinacota	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tarapacá	1.62	1.57	1.56	1.68	1.73	1.97	1.90	2.04	2.01	2.01	1.99	2.00
Antofagasta	8.80	10.21	11.53	12.03	12.45	12.35	12.40	12.66	12.24	12.08	11.96	12.10
Atacama	1.83	2.00	2.12	2.18	2.17	2.47	2.78	2.64	2.63	2.63	2.59	2.58
Coquimbo	1.10	1.10	1.15	1.26	1.35	1.49	1.52	1.57	1.54	1.52	1.49	1.50
Valparaíso	1.03	1.05	1.12	1.05	1.00	1.01	1.14	1.10	1.21	1.42	1.32	1.40
Metropolitana	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.06	1.05	1.09	1.10	1.12	1.16	1.03
O'Higgins	1.55	1.52	1.54	1.52	1.50	1.28	1.39	1.38	1.23	1.23	1.32	1.45
Total País	16.98	18.52	20.10	20.81	21.30	21.63	22.19	22.47	21.96	22.00	21.81	22.05

Fuente: Cochilco.



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

Javier Hernández Meza

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Andrés González Eyzaguirre

Analista Mercado Minero

Jorge Cantallopts Araya

Director de Estudios y Políticas Públicas

Noviembre / 2017

