



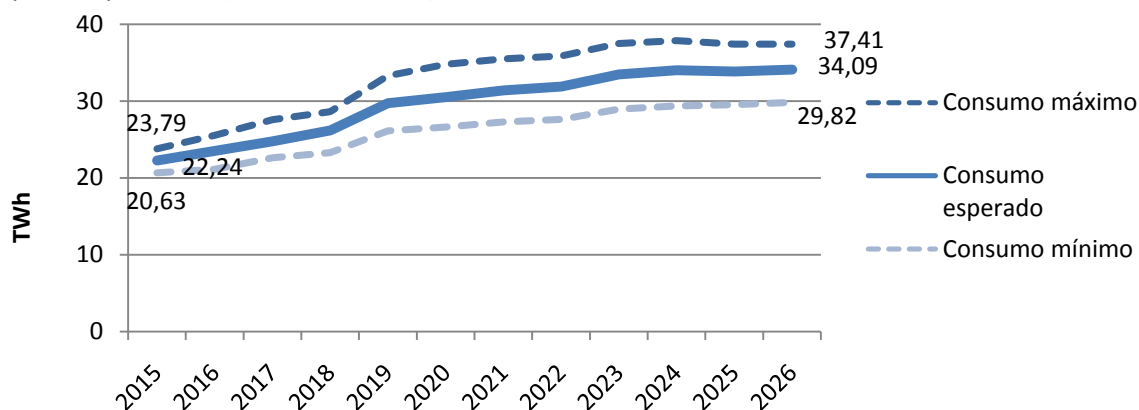
Proyección del consumo de electricidad en la minería del cobre 2015 - 2026.

DE 21 /2015

Resumen Ejecutivo

El presente informe tiene por objetivo proyectar el consumo eléctrico de la minería del cobre en el periodo 2015 – 2026. En este sentido, pretende entregar antecedentes y un análisis respecto del consumo eléctrico esperado de la minería a nivel nacional, regional y en los sistemas interconectados SING y SIC. La metodología empleada es una simulación de Montecarlo que toma en consideración una proyección de producción de cobre al año 2026 en base a: i) cartera de proyectos vigentes y operaciones mineras actuales y ii) estimación de producción futura de acuerdo a la condición y estado actual de dichos proyectos. Los resultados a nivel país se muestra en la figura 1.

Figura 1: Consumo eléctrico nacional de la minería del cobre 2015 - 2026 según los casos Máximo, Esperado y Mínimo (Tera Watts-hora)



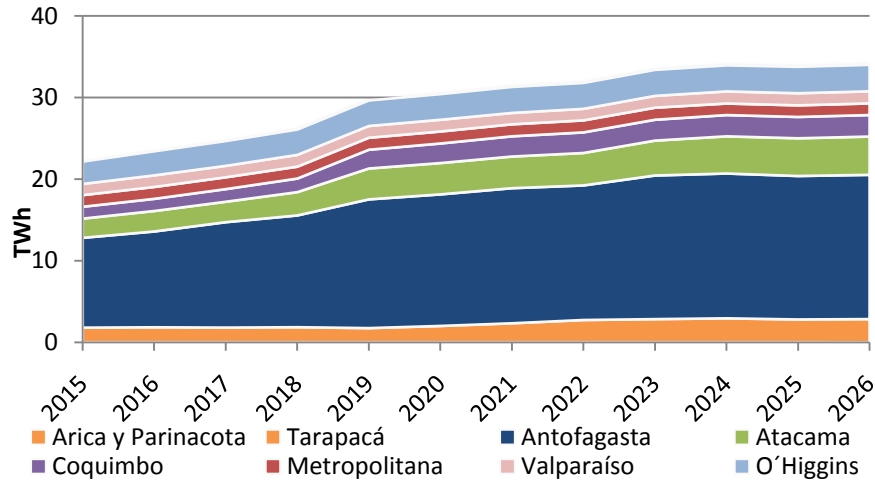
Fuente: Elaborado por Cochilco

En el caso del consumo eléctrico esperado, que considera incertidumbre en los proyectos, se proyecta crecerá de 22,2 TWh a 34,1 TWh, lo que representa un aumento de un 53,3% en el período 2015 – 2026, a una tasa de 4,0% anual. Por otro lado, para el caso del consumo máximo de electricidad, el cual considera sin retrasos la puesta en marcha de los proyectos de inversión, este tendría un incremento de un 57,2%, pasando de un consumo de 23,8 TWh en 2015 a un consumo de 37,4 TWh en 2026, con una tasa de crecimiento de 4,2% anual. Por último, en el caso del consumo eléctrico mínimo esperado, en donde hipotéticamente los proyectos de inversión no se concretasen, se proyecta un crecimiento de 3,4%, alcanzando un consumo de 29,8 TWh en 2026.

Se estima, de acuerdo al consumo esperado de electricidad, que para satisfacer la demanda esperada de la minería del cobre, se requeriría agregar una capacidad de generación eléctrica de 1700 MW en el período 2016 – 2026, de las cuales 1.100 MW se estiman para el SING y 600 MW para el SIC.

A nivel regional, las regiones de Antofagasta, Atacama y O'Higgins son y seguirán siendo las más intensivas en el uso de energía eléctrica por parte de la minería. Antofagasta hoy consume 11,0 TWh y representa el 50% del consumo nacional de energía, esta relación se mantiene al año 2026 en que consumirá 17,7 TWh, lo que representará el 52% del consumo total del país esperado ese año.

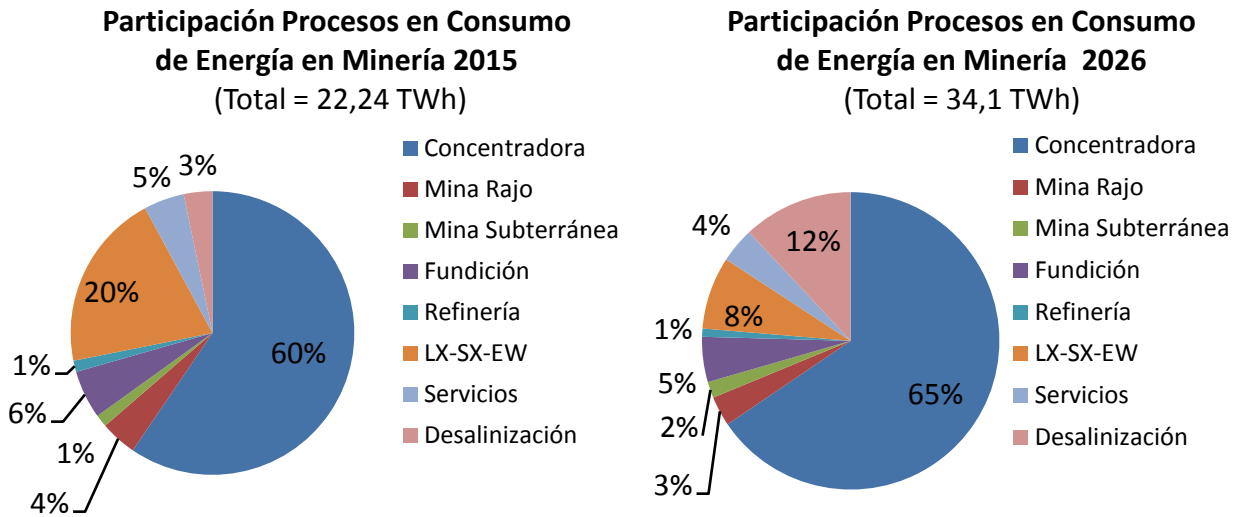
Figura 2: Consumo eléctrico esperado de la minería del cobre 2015 - 2026 por regiones (Tera Watts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco

La región de O'Higgins que hoy representa el 12,4% del consumo minero nacional de energía eléctrica, llegará a consumir 3,24 TWh el año 2026 que significará el 9,5 % del consumo nacional de ese año. La región que le sigue en intensidad de consumo de energía eléctrica es Atacama, que hoy representa el 10,7% del consumo minero nacional y que tendrá un importante aumento del 99,1% en la demanda de energía eléctrica al año 2026 llegando a consumir 4,7 TWh, lo que representará el 13,8 % del consumo nacional minero de energía eléctrica ese año.

Figura 3: Consumo eléctrico esperado de la minería del cobre por procesos a nivel nacional



Fuente: Elaborado por Cochilco

Si se mira el consumo energético por proceso minero, hoy el mayor consumo de energía eléctrica proviene de la concentradora con 13,2 TWh que representa el 60% de la energía demandada respecto de la demanda de los demás procesos mineros, esta relación se mantendrá y acentuará al año 2026 en



el que este consumo llegará a 22,34 TWh lo que representará el 65% de la demanda ese año. Esto se debe que gran parte de los proyectos de expansión y nuevos proyectos mineros son de concentrados de cobre. En tanto, se observa también una reducción en el consumo total de electricidad en el proceso de LX-SX-EW de un 40% en periodo 2015 – 2026, debido fundamentalmente por el término de la vida útil de varias operaciones hidrometalúrgicas que producen cátodos SX-EW.

Un proceso importante que emergerá como segundo lugar en el consumo eléctrico, es el de desalinización e impulsión. Ello es una consecuencia del aumento de operaciones de concentración, proceso que es intensivo en el empleo de agua, insumo ya escaso en las regiones del Norte. En consecuencia se estima que este proceso aumentará 5,6 veces su consumo en el periodo 2015 – 2026; de 0,73 TWh en 2015 a 4,1 TWh en 2026, convirtiéndose en el segundo proceso luego de la concentración que más demandará energía con el 12% del consumo esperado ese año.

Finalmente, cuando se analizan los proyectos según su condición, se determina que los proyectos probables, posibles y potenciales, podrían empezar a adquirir significación en la demanda de electricidad el año 2019, alcanzando 4,4 TWh y al año 2026 un consumo de 10,8 TWh, explicando el 31,7% del consumo esperado.



Índice

Resumen Ejecutivo	I
1. Introducción	5
2. Metodología	7
2.1. Proyectos considerados	7
2.2. Coeficientes unitarios de consumo eléctrico por procesos en el periodo 2015 - 2026	7
2.3. Cálculo del consumo esperado nacional de electricidad en minería 2015 - 2026	8
2.4. Cálculo de consumo máximo nacional de electricidad en minería	12
2.5. Cálculo del consumo mínimo nacional de electricidad en minería	13
3. Proyección del consumo anual de energía eléctrica al año 2026	14
3.1. Proyección nacional	14
3.2. Proyección por sistemas interconectados SING y SIC	15
3.3. Proyección por regiones	17
3.4. Proyección de demanda por potencia eléctrica	19
4. Análisis del consumo eléctrico esperado según la condicionalidad de los proyectos al 2026	20
4.1. Análisis a nivel país	20
4.2. Análisis comparativo del SING y SIC	22
4.3. Análisis regional	23
5. Análisis del consumo eléctrico esperado según Tipo al año 2026	26
5.1. Análisis nivel país	26
5.2. Análisis comparativo del SING y SIC	27
6. Análisis del consumo eléctrico esperado según procesos al 2026	29
6.1. Distribución del consumo eléctrico esperado a nivel país	29
6.2. Análisis comparativo del SING y SIC	31
7. Conclusiones	33
8. Anexos	35
8.1. Anexos capítulo 2: Metodología	35
8.2. Anexo con cifras de proyección de consumo esperado de electricidad 2015 – 2026 en diferentes categorías	41



1. Introducción

La energía eléctrica es un insumo estratégico para la minería del cobre, por el uso intensivo que se requiere en sus diversos procesos productivos y servicios como por la incidencia en los costos de operación, que según estimaciones COCHILCO este insumo estaría representando en el año 2014 el 8% de los costos operacionales de las empresas de la gran minería del cobre en Chile.

Hoy la minería del cobre tiene una participación del 33% en el consumo nacional de energía eléctrica, dado la magnitud de su actividad, la cual se verá incrementada debido a una mayor producción de cobre en los próximos años, en particular de concentrados de cobre, proceso que tiene un uso intensivo de energía eléctrica.

Por otro lado, la situación estructural que enfrenta la minería del cobre, es el envejecimiento de las minas, la tendencia a un incremento en la dureza del mineral, y la caída de las leyes de cobre lo cual ha significado que las empresas de tengan que extraer grandes y crecientes volúmenes de mineral para lograr mantener los niveles de producción de cobre fino año a año lo que conlleva así, a un incremento en el uso de energía en procesos como chancado y molienda. Además el restrictivo escenario de abastecimiento de agua que enfrenta la minería, ha hecho que el uso de agua de mar en sus operaciones sea una realidad y su uso se incrementará en el futuro, tanto su uso directo (si la mineralogía del mineral así lo permitiera) como desalinizada, que implica el consumo eléctrico de desalinizar y en ambos casos, el agua debe ser impulsada a las faenas mineras lo que incrementa aún más la demanda de energía eléctrica.

Por ello, la Comisión Chilena del Cobre ha desarrollado una línea de trabajo en relación a este insumo tan importante para la minería como lo es la energía, gracias a la colaboración de la compañías productoras de cobre que aportan anualmente sus datos operacionales históricos, que sirven de base para la diversidad de análisis que realiza en torno al consumo energético, tales como la determinación de coeficientes unitarios de consumo eléctrico y de combustibles, el cálculo de las emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero y para la proyección del consumo eléctrico que es el propósito del presente informe.

En este contexto, COCHILCO realiza este trabajo de proyección del consumo de energía eléctrica minera hasta el año 2026, fecha en la que podrían estar en operación gran parte de la actual cartera de proyectos.

En primer término, se entregan los criterios metodológicos que se emplean para efectuar la estimación al año 2026 del consumo eléctrico por las operaciones mineras productoras de cobre. En lo principal se emplean métodos probabilísticos (Simulación de Montecarlo) para estimar la cuantificación de la capacidad productiva esperada entre el año 2015 y 2026 compuesta por las operaciones vigentes más los proyectos actualmente en carpeta, que por su naturaleza tienen distintos grados de incertidumbre. A la capacidad esperada de producción se le aplican los respectivos coeficientes unitarios de consumo eléctrico, con lo que se obtiene el consumo eléctrico esperado, debidamente distribuido por diversas variables de interés para analizar.

Luego se muestran los resultados para el período 2015 – 2026 en capítulos destinados a:



- a) El consumo eléctrico global a nivel nacional, SING y SIC señalando: el consumo máximo, si a las operaciones vigentes se suman todos los proyectos que se ejecutarían en la forma y tiempo conocidos actualmente; el consumo mínimo, si solo se agregan los proyectos actualmente en construcción y el consumo esperado obtenido de la simulación de Montecarlo. Además, se realiza un análisis de la proyección de demanda por potencia eléctrica en base a la demanda eléctrica esperada demandará la minería del cobre.
- b) El análisis del consumo esperado a nivel país según la condición en que se encuentran los proyectos. La condición de los proyectos se analiza separadamente a nivel nacional y en los sistemas interconectado SING y SIC. Por último, se describe y analiza la demanda futura de electricidad a nivel Regional (por ubicación geográfica).
- c) Se desarrolla un análisis de la proyección de consumo eléctrico esperado según el tipo de proyecto minero: Nuevo, Expansión, Reposición u Operando. Se realiza un análisis separado a nivel país y un análisis comparado por sistemas interconectados SING y SIC.
- d) Debido que el tipo de minería que se desarrolla en Chile es determinante en el consumo eléctrico del sector minero se continúa con un análisis del consumo eléctrico en minería según procesos. El análisis se desarrolla nivel nacional, regional y a nivel de sistemas interconectados SING y SIC.

Finalmente se entregan las conclusiones que se desprenden de la proyección del consumo eléctrico en la minería del cobre.



2. Metodología

En este capítulo se muestra la metodología utilizada en la proyección de electricidad en minería para el periodo 2015 – 2026. El método de proyección es una simulación probabilística de Montecarlo basada en el perfil de producción de la cartera de proyectos mineros del informe *Inversión En La Minería Chilena - Cartera de Proyectos 2015 -2024* publicado por Cochilco en noviembre 2015.

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 en minería, con mayor o menor grado de certidumbre de concretarse, basados en el informe *de Inversión en la minería chilena - Catastro de proyectos 2015 -2024*. Además, la proyección de consumo eléctrico considera proyectos y operaciones mineras de oro y de hierro que tienen una coproducción de cobre significativa en el periodo 2015 – 2026, para mayor detalle ver tablas 15, 16 y 17 en anexo 8.1.

Por otro lado, la proyección de consumo eléctrico considera la desalación e impulsión de agua de mar en la minería. Este proceso es altamente intensivo en el consumo de energía y será cada vez más relevante debido al aumento en la utilización del recurso hídrico por el incremento en la producción de cobre y oro a nivel nacional. Por este motivo, para efectuar el cálculo de consumo eléctrico global de la minería se considera la operación actual y la entrada en operación de plantas de desalación e impulsión de agua de mar en el periodo 2015 – 2026, para mayor ver anexo tabla 18 en anexo 8.1.

2.2. Coeficientes unitarios de consumo eléctrico por procesos en el periodo 2015 - 2026

La proyección del consumo eléctrico se efectúa sobre la base de un perfil de producción de cobre futuro por faena y el consumo unitario de electricidad por procesos. En este sentido, Cochilco desde el año 1991 calcula los coeficientes unitarios de consumo de energía por procesos a nivel nacional.

Este informe proyecta determinísticamente los coeficientes unitarios de consumo de electricidad por procesos de la minería del cobre en el periodo 2015 - 2026. Para esto, se efectúa una extrapolación en base a un ajuste logarítmico respecto de los consumos unitarios por procesos publicados por Cochilco en el periodo 2001 – 2014. Los resultados de dicha extrapolación se muestran en la tabla 1, donde se consideran los procesos unitarios de Mina Rajo, Mina Subterránea, Concentradora, Fundición, Refinería, LX-SX-EW y Servicios.



Tabla 1: Proyección de consumos unitarios de electricidad por procesos 2015 - 2026

Proyección	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Mina Rajo kWh/ TMF Cu	189,5	191,0	192,4	193,7	194,9	196,1	197,2	198,3	199,3	200,3	201,2	202,1
Mina Subterránea kWh/ TMF Cu	625,1	633,6	641,7	649,3	656,4	663,2	669,7	675,9	681,8	687,4	692,9	698,1
Concentradora kWh/TM min. Proce.	21,7	21,8	21,9	21,9	22,0	22,1	22,1	22,2	22,2	22,3	22,4	22,4
Fundición kWh/TM conc. Proce.	337,4	337,7	338,0	338,3	338,5	338,8	339,0	339,3	339,5	339,7	339,9	340,1
Refinería kWh/ TMF Cu	363,6	364,2	364,8	365,4	365,9	366,4	366,8	367,3	367,7	368,1	368,5	368,8
LX/SX/EW kWh/ TMF Cu	3.051	3.061	3.071	3.079	3.088	3.096	3.103	3.110	3.117	3.124	3.130	3.136
Servicios kWh/ TMF Cu	190,5	192,2	193,8	195,2	196,7	198,0	199,3	200,5	201,6	202,8	203,8	204,8

Fuente: Elaborado por Cochilco

Para el caso del proceso de desalación e impulsión, el presente informe utiliza la metodología descrita en el informe *Proyección del Consumo de Agua de la Minería del Cobre en Chile al 2026*, publicado por Cochilco en 2015, para efectuar los cálculos de la potencia y energía eléctrica a consumir en plantas desaladoras y sistemas de impulsión de agua de mar. El detalle de la metodología de cálculo se encuentra en la sección 8.1.2 del anexo en el presente informe.

2.3. Cálculo del consumo esperado nacional de electricidad en minería 2015 - 2026

La proyección de consumo de electricidad en minería está sujeta a riesgo e incertidumbre. En este estudio se calculará el consumo esperado de electricidad en minería utilizando el método probabilístico de Montecarlo, considerando los consumos eléctricos por procesos en las diferentes faenas como sucesos independientes.

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. La mayor dificultad, entonces, recae en el cálculo de los rangos de los consumos de electricidad en los diferentes procesos de cada faena. Para este fin se determinan tres escenarios de consumo eléctrico:

- **Escenario de consumo eléctrico máximo:** 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 consumo eléctrico 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 consumo eléctrico mínimo:** que ajusta el escenario más probable con cifras inferiores dentro de un criterio técnico razonable. Es, entonces, un escenario pesimista.

El valor del consumo esperado de electricidad en minería para un año t se calcula como se muestra en la ecuación (2.1):

$$Cons_Elec_Esp_t = \sum_i \sum_j E[Beta(X_{ijkt}; Y_{ijkt}; Z_{ijkt})], (TWh) \quad (2.1)$$

Donde,

- i : Faena minera considerada.
- j : Proceso minero considerado.
- k : Condición/estado del proyecto minero considerado¹.
- t : Año considerado entre los años 2015 – 2026.
- $Beta$: 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.
- Z_{ijkt} : Corresponde al consumo máximo de electricidad 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 TWh.
- Y_{ijkt} : Corresponde al consumo más probable de electricidad 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 TWh.
- X_{ijkt} : Corresponde al consumo mínimo de electricidad 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 TWh.

Entonces, para calcular el consumo esperado de electricidad en un año determinado, es necesario en primera instancia, determinar las variables de entrada de la función $Beta$ para cada proceso en cada faena: X_{ijkt} , Y_{ijkt} y Z_{ijkt} . El detalle del cálculo se muestra en las secciones 2.3.1, 2.3.2 y 2.3.3.

2.3.1. Cálculo de la variable de consumo máximo de electricidad: Z_{ijkt}

Corresponde al valor máximo de consumo energético 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 2015 – 2026. Adicionalmente, se consideran los coeficientes unitarios de consumo eléctrico por procesos en un año determinado según los valores entregados 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-prefectibilidad.

De esta manera, el consumo máximo de electricidad en un proceso j , en una faena i en el tiempo t , queda determinado por la ecuación (2.2):

$$Z_{ijkt} = Producción_{Est_{ijt}} \times Pond_{Max_{ik}} \times Coef_{unit_{est_{jt}}}, (TWh) \quad (2.2)$$

Donde,

- $Producción_{Est_{ijt}}$: Corresponde a la capacidad de procesamiento estimado según diseño en el proceso j , en la faena i , 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 2.
- $Coef_{unit_{est_{jt}}}$: Corresponde al consumo unitario estimado de electricidad en el proceso j en el tiempo t . El detalle de los diferentes valores posibles adoptar se encuentra en la tabla 1.

Tabla 2: Ponderadores determinísticos de producción futura máxima².

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	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Potencial/Factibilidad	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Posible/Factibilidad	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Probable	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Base	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Fuente: Elaborado por Cochilco

2.3.2. Cálculo de la variable consumo más probable de electricidad: Y_{ijkt}

Corresponde al valor más probable de consumo de energía eléctrica que puede tomar un proceso minero en una faena específica. Este consumo 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 3. Por ejemplo, de acuerdo a la tabla 3, si un proyecto minero de cobre se encuentra en condición de posible/factibilidad en el año 2014, con una estimación de inicio de operaciones en el año 2018, entonces de acuerdo a este criterio el

² 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.

primer año de producción solo producirá un 51% de esa producción estimada. Por otro lado, se consideran los coeficientes unitarios de consumo eléctrico por procesos en un año determinado según los valores entregados en la tabla 1.

De esta manera, el consumo más probable de electricidad en un proceso j , en una faena i en el tiempo t , queda determinado por la ecuación (2.3):

$$Y_{ijkt} = Producción_Est_{ijt} \times Pond_MP_{ik} \times Coef_unit_est_{jt} , (TWh) \quad (2.3)$$

Donde,

- $Producción_Est_{ijt}$: Corresponde a la capacidad de procesamiento estimado según diseño en el proceso j , en la faena i , 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. El detalle de los posibles valores se encuentra en la tabla 3.
- $Coef_unit_est_{jt}$: Corresponde al consumo unitario de electricidad en el proceso j en el tiempo t . El detalle de los diferentes valores posibles adoptar se encuentra en la tabla 1.

Tabla 3: 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	0,38	0,50	0,61	0,68	0,77	0,80	0,84	0,88	0,88	0,90
Potencial/Factibilidad	0,38	0,50	0,61	0,68	0,77	0,80	0,84	0,88	0,88	0,90	0,91	0,91
Posible/Factibilidad	0,61	0,68	0,77	0,80	0,84	0,88	0,88	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92
Probable	0,80	0,84	0,88	0,88	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94
Base	0,84	0,88	0,88	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94

Fuente: Elaborado por Cochilco

2.3.3. Cálculo de la variable de consumo mínimo de electricidad: X_{ijkt}

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

De esta manera, se determinó un vector de ponderadores producción mínimo de los proyectos mineros según su condición en base a la información histórica de Cochilco y juicio de experto. Para esto, primero se efectuó el cálculo de los vectores correspondiente al promedio ponderado de las razones de producción real sobre la producción proyectada en faenas mineras de igual condición y estado. En segunda instancia, estos valores fueron nuevamente ponderados por valores menores a la unidad según

juicio de experto, con motivo de determinar valores mínimos realistas, de acuerdo a la condición del proyecto.

El consumo mínimo de electricidad en un proceso j , en una faena i en el tiempo t , se calcula como en (2.4):

$$X_{ijkt} = Producción_Est_{ijt} \times Pond_Min_{ik} \times Coef_unit_est_{jt} , (TWh) \quad (2.4)$$

Donde,

- $Producción_Est_{ijt}$: Corresponde a la capacidad de procesamiento estimado según diseño en el proceso j , en la faena i , 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 4.
- $Coef_unit_est_{jt}$: Corresponde al consumo unitario de electricidad en el proceso j en el tiempo t . El detalle de los diferentes valores posibles adoptar se encuentra en la tabla 1.

Tabla 4: 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	0,13	0,22	0,29	0,38	0,43	0,46	0,52	0,59	0,61	0,66	0,69	0,75
Potencial/Factibilidad	0,29	0,38	0,43	0,46	0,52	0,59	0,61	0,66	0,69	0,75	0,78	0,78
Posible/Factibilidad	0,46	0,52	0,59	0,61	0,66	0,69	0,75	0,78	0,78	0,80	0,81	0,81
Probable	0,66	0,69	0,75	0,78	0,78	0,80	0,81	0,81	0,82	0,82	0,83	0,83
Base	0,75	0,78	0,78	0,80	0,81	0,81	0,82	0,82	0,83	0,83	0,84	0,84

Fuente: Elaborado por Cochilco

2.4. Cálculo de consumo máximo nacional de electricidad en minería

Este cálculo se basa en que el 100% de los proyectos mineros considerados en la cartera de inversiones en minería, y por ende su perfil de producciones, comenzará sus operaciones en las fechas y cantidades reportados por las empresas. Adicionalmente, los proyectos de operación siguen el perfil de producción reportado por las empresas y los proyectos mineros en construcción no sufren retrasos.

De esta manera, el consumo máximo de electricidad proyectada corresponde a la sumatoria de los consumos de electricidad por procesos, por faena de acuerdo al perfil de producción considerado en los proyectos del presente informe.

$$Cons_Elec_Max_t = \sum_i \sum_j Producción_Max_{ijt} \times Coef_unit_est_{jt} , (TWh) \quad (2.5)$$

Donde,

- $Cons_Elec_Max_t$: Corresponde al consumo máximo de electricidad de la minería nacional del cobre en el periodo t . Se considera la sumatoria del consumo de electricidad en los procesos j de las faenas consideradas i que entrarían en operación hasta el año 2025.
- $Producción_Max_{ijt}$: Corresponde a la cantidad máxima de estimada de material procesado en el tiempo t , en la faena minera i , en el proceso j .
- $Coef_unit_est_{jt}$: Corresponde a la proyección determinística de consumos unitarios estimados de electricidad por procesos en el periodo t , proceso j . El detalle de los diferentes valores posibles adoptar se encuentra en la tabla 1.

2.5. Cálculo del consumo mínimo nacional de electricidad en minería

Se considera el consumo mínimo de electricidad global en minería como el valor esperado de los proyectos mineros que se encuentran en condición de proyectos base: proyectos mineros en operación y aquellos que al año 2014 se encuentran en etapa de construcción.



3. Proyección del consumo anual de energía eléctrica al año 2026

En este capítulo se muestra el resultado global de la proyección del consumo de energía eléctrica en la minería del cobre en el período 2015 – 2026, calculado mediante una estimación probabilística que recoge la condicionalidad de los proyectos mineros dada las incertidumbres propias de su desarrollo y puesta en marcha.

Dicho valor probabilístico, se acompaña con los valores determinados para los dos casos extremos para el consumo eléctrico: consumo máximo y consumo mínimo, según se explicó en la metodología.

Las proyecciones se muestran en cifras anuales a nivel país y desglosadas por cada sistema interconectado SING y SIC.

3.1. Proyección nacional

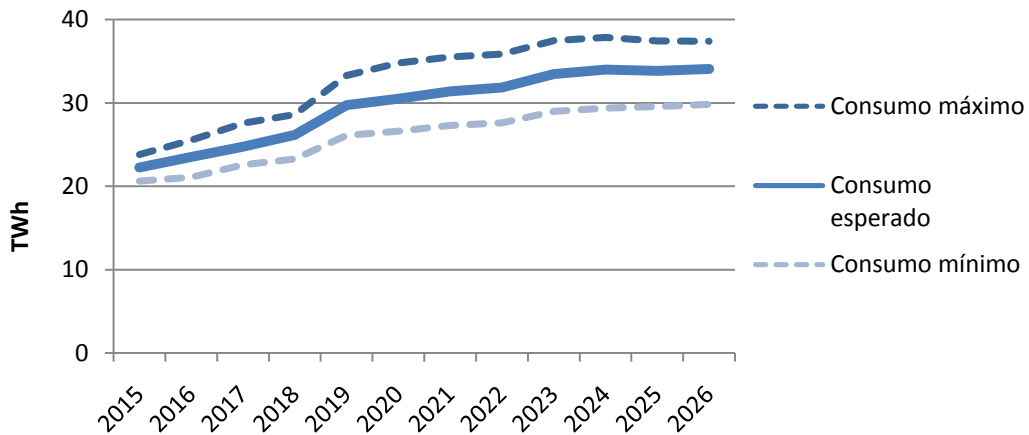
El resultado a nivel país se muestra en la tabla 5 y en la figura 4.

Tabla 5: Proyección del consumo eléctrico nacional de la minería del cobre según los casos Máximo, Esperado y Mínimo 2015 - 2026 (Tera Watts-hora)

PAÍS	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Consumo máximo	23,79	25,54	27,57	28,61	33,29	34,77	35,50	35,85	37,47	37,85	37,41	37,41
Consumo esperado	22,24	23,50	24,75	26,16	29,73	30,50	31,39	31,87	33,47	34,03	33,85	34,09
Consumo mínimo	20,63	21,07	22,58	23,28	26,10	26,61	27,28	27,60	28,96	29,34	29,53	29,82

Fuente: Elaborado por Cochilco

Figura 4: Consumo eléctrico nacional de la minería del cobre 2015 - 2026 según los casos Máximo, Esperado y Mínimo 2015 - 2026 (Tera Watts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco

En el caso máximo el consumo eléctrico crecería en un 57,2% en el período 2015 – 2026, a una tasa anual del 3,6%. Sin embargo en el caso esperado, que recoge las incertidumbres del desarrollo de los proyectos, el consumo crecería en un 53,3%, equivalente a una tasa del 4,0% anual.

Cabe señalar que la diferencia de consumo al año 2026 entre el caso máximo y el esperado es de 3,3 TWh, según la estimación probabilística de la no realización de proyectos en las fechas previstas, en tanto la diferencia entre el caso esperado y el caso mínimo es de 4,3 TWh. Es decir, esta es la cantidad adicional de energía que con alta probabilidad demandará la minería del cobre al año 2026. Esta diferencia corresponde al valor esperado del consumo de todos los proyectos sobre los cuales aún no se toma la decisión de construir (probables, posibles y potenciales).

3.2. Proyección por sistemas interconectados SING y SIC

Los resultados del consumo eléctrico proyectado para el SING y SIC se muestran en las tablas 6 y la tabla 7 respectivamente.

Tabla 6: Proyección del consumo eléctrico de la minería del cobre en el SING según los casos Máximo, Esperado y Mínimo 2015 – 2026 (Tera Watts-hora)

SING	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Consumo máximo	14,02	15,24	17,00	17,43	20,10	21,24	21,99	22,25	22,96	23,35	22,86	22,85
Consumo esperado	12,81	13,59	14,73	15,55	17,52	18,13	18,89	19,23	20,45	20,69	20,38	20,53
Consumo mínimo	12,33	12,52	13,83	14,21	15,80	16,15	16,70	16,89	19,04	18,02	18,03	18,21

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 7: Proyección del consumo eléctrico de la minería del cobre en el SIC según los casos Máximo, Esperado y Mínimo 2015 – 2026 (Tera Watts-hora)

SIC	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Consumo máximo	10,04	10,63	10,91	11,56	13,61	13,90	13,89	13,96	14,41	14,78	14,80	14,79
Consumo esperado	9,34	9,82	9,94	10,52	12,12	12,28	12,41	12,55	12,94	13,25	13,38	13,47
Consumo mínimo	8,58	8,83	9,03	9,38	10,64	10,77	10,90	11,01	11,39	11,55	11,71	11,81

Fuente: Elaborado por Cochilco

Comparando ambos sistemas se tiene:

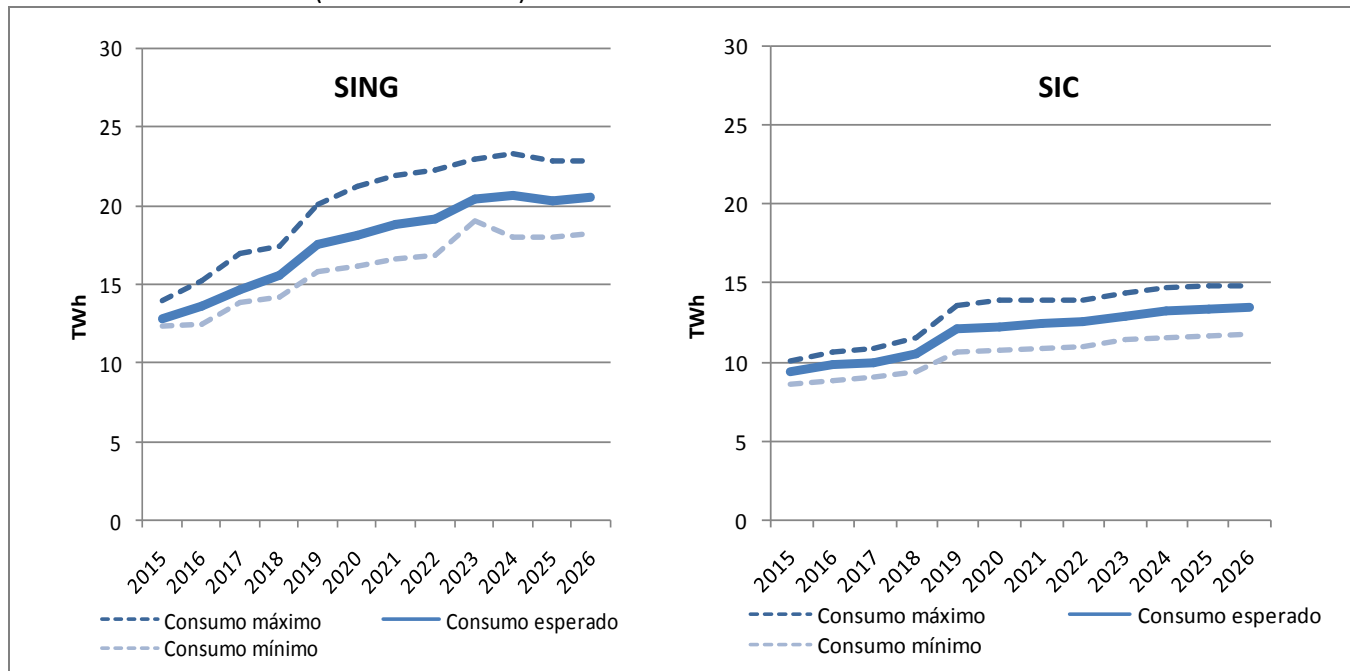
- En el año 2015 el consumo esperado en el SING es un 37,1% superior al del SIC y en el año 2026 esta relación será de un 52,3%. Al observar Tablas 6 y 7 se observa que la energía utilizada proveniente del sistema SING evidencia un mayor crecimiento al 2026 que la del sistema SIC,

teniendo el SING una tasa de crecimiento del consumo esperado de 4,4% en tanto en el SIC el consumo anual crecería al 3,4% en el mismo período.

- b) El mayor incremento del consumo en el SING se manifiesta en el mediano plazo, con una tasa de crecimiento anual del 3,2% en el período 2015 – 2020 y de 0,76% en el período 2021 – 2026.
- c) En cambio, para el SIC entre el 2015 al 2020 hay un crecimiento de 2,5 % y de un 0,75% anual en el período 2021 – 2026. En este caso puntual, si lo comparamos con las proyecciones de 2014, el incremento es leve debido a la salida de los proyectos Andina 244, de Codelco, Relincho, de Teck y el Morro de Goldcorp, ambos fusionados en el futuro proyecto Corredor³, Cerro Casale de Barrick, Ampliación IV de Los Pelambres, de propiedad de AMSA, e Inca de Oro de Pan Aust y Codelco.
- d) Seguirá un uso más intensivo de energía en el sistema SING versus al SIC, en tanto ambos sistemas muestran crecimiento sin embargo este es mayor en el sistema SING por la entrada de nuevos proyectos en ese sistema. El mayor consumo de corto plazo se explica por la entrada en operación reciente de varios proyectos que van alcanzado sus capacidades productivas de diseño.

La visión gráfica de las proyecciones para cada sistema interconectado se muestra en la figura 5.

Figura 5: Consumo eléctrico de la minería del cobre en el SING y SIC según los casos Máximo, Esperado y Mínimo 2015 - 2026 (Tera Watts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco

³No considerado en la cartera inversional 2015 por no tener estudio de prefactibilidad.

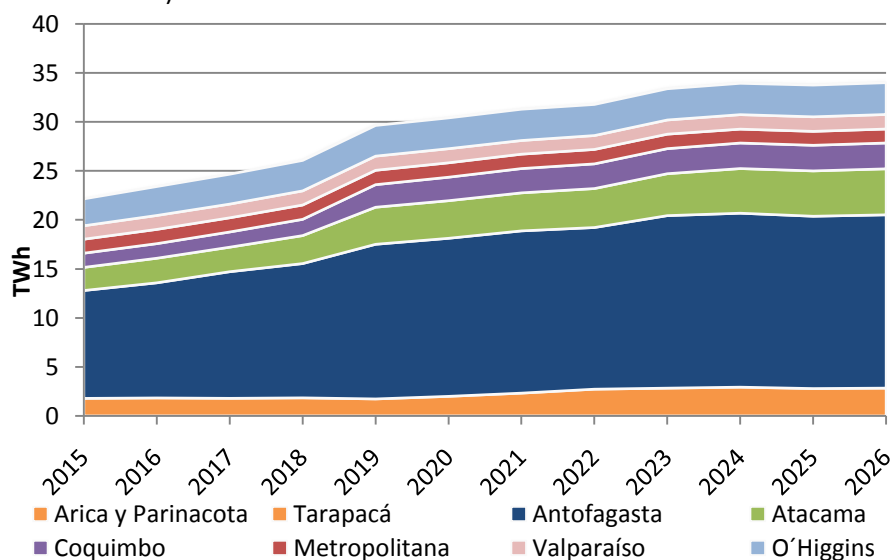


3.3. Proyección por regiones

Los resultados de la proyección del consumo eléctrico esperado por regiones para el período 2015 -2026 se muestran en Tabla 8 y Figura 6.

Las tres regiones que son más intensivas en el uso de energía eléctrica por parte de la minería son la región de Antofagasta, Atacama y O'Higgins entre el 2015 y 2026, siendo las dos primeras regiones las que tendrán un sostenido e importante crecimiento.

Figura 6: Consumo eléctrico esperado de la minería del cobre 2015 - 2026 por regiones 2015 - 2026 (Tera Watts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 8: Consumo eléctrico esperado de la minería del cobre por región 2015 – 2026 (Tera Watts-hora)

Región	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Arica y Parinacota	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Tarapacá	1,79	1,83	1,79	1,84	1,73	2,00	2,32	2,73	2,83	2,93	2,79	2,85
Antofagasta	11,00	11,74	12,91	13,69	15,77	16,12	16,55	16,49	17,60	17,74	17,58	17,67
Atacama	2,36	2,51	2,50	2,85	3,78	3,83	3,88	3,97	4,27	4,55	4,62	4,69
Coquimbo	1,45	1,49	1,55	1,66	2,30	2,40	2,48	2,52	2,56	2,61	2,61	2,64
Metropolitana	1,43	1,45	1,45	1,46	1,47	1,47	1,47	1,47	1,48	1,42	1,42	1,43
Valparaíso	1,37	1,42	1,40	1,44	1,44	1,44	1,39	1,42	1,45	1,48	1,48	1,48
O'Higgins	2,74	2,95	3,04	3,11	3,13	3,14	3,19	3,17	3,18	3,19	3,23	3,24
Total País	22,15	23,41	24,67	26,07	29,64	30,41	31,30	31,78	33,38	33,94	33,76	34,00

Fuente: Elaborado por Cochilco

Antofagasta hoy es la región que concentra la mayor parte de la producción de cobre del país y consecuentemente es la que más consume energía eléctrica. Es así como en el 2015 esta región consume 11,0 TWh lo que representa el 50% del consumo nacional de energía, esta relación se

mantiene al año 2026, en que la región muestra un sostenido crecimiento a una tasa del 4,4% anual y consumirá un 60,6% más que el consumo actual con 17,7 TWh, lo que representará el 52,0% del consumo total del país esperado ese año.

La región que le sigue en intensidad de consumo de energía eléctrica es la región de O'Higgins que hoy representa el 12,4% del consumo minero nacional de energía eléctrica, presenta un crecimiento a una tasa del 1,5% anual, llegando a 3,24 TWh el año 2026 que significará el 9,5 % del consumo nacional de electricidad minero de ese año.

En tanto, Atacama, que hoy representa el 10,7% del consumo minero nacional y que tendrá un importante aumento del 99,1% en la demanda de energía eléctrica al año 2026 respecto al año 2015 y se estima crecerá a una tasa anual del 6,5% llegando a consumir 4,7 TWh, lo que representará el 13,8% del consumo nacional de electricidad por parte de la minería el 2026.

Cabe señalar, que la otra región además de Antofagasta y Atacama que presenta un importante incremento en el consumo minero de electricidad, aunque es de menor peso relativo, es la región de Coquimbo que al año 2026 llega a 2,64 TWh lo que significará un incremento del 81,9% respecto al consumo de la región en el año 2015.

A modo de referencia, para los dos casos extremos de proyección de consumo eléctrico en la minería consumo máximo y mínimo, los resultados por región se muestran en Tablas 9 y 10 respectivamente. Se puede observar que 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, y por tanto la región de Antofagasta y Atacama liderarán la demanda de energía eléctrica.

Tabla 9: Proyección del consumo eléctrico máximo de la minería del cobre por regiones 2015 - 2026 (Tera Watts-hora)

Región	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Arica y Parinacota	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Tarapacá	1,91	1,97	2,01	2,01	1,88	2,60	3,03	3,48	3,34	3,46	3,25	3,25
Antofagasta	11,74	12,82	14,53	14,93	17,68	18,14	18,44	18,26	19,12	19,46	19,21	19,21
Atacama	2,53	2,73	2,76	3,23	4,33	4,55	4,54	4,59	4,99	5,36	5,33	5,31
Coquimbo	1,56	1,60	1,69	1,84	2,77	2,83	2,83	2,84	2,84	2,86	2,86	2,87
Metropolitana	1,54	1,56	1,57	1,57	1,57	1,58	1,58	1,58	1,58	1,52	1,52	1,52
Valparaíso	1,44	1,53	1,54	1,54	1,54	1,54	1,49	1,52	1,55	1,58	1,59	1,58
O'Higgins	2,91	3,15	3,29	3,31	3,33	3,34	3,38	3,37	3,39	3,39	3,43	3,44
Total País	23,64	25,38	27,41	28,45	33,12	34,60	35,32	35,66	36,83	37,64	37,20	37,19

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 10: Proyección del consumo eléctrico mínimo de la minería del cobre por regiones 2015 - 2026 (Tera Watts-hora)

Región	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Arica y Parinacota	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
Tarapacá	1,66	1,65	1,64	1,64	1,55	1,68	1,91	2,18	2,57	2,32	2,27	2,31
Antofagasta	10,30	10,49	11,82	12,16	13,82	14,07	14,38	14,32	16,09	15,38	15,46	15,61
Atacama	2,16	2,25	2,28	2,51	3,29	3,30	3,37	3,43	3,69	3,84	3,90	3,96
Coquimbo	1,31	1,34	1,39	1,47	1,93	2,02	2,09	2,13	2,22	2,25	2,30	2,34
Metropolitana	1,30	1,31	1,31	1,31	1,32	1,32	1,32	1,32	1,33	1,27	1,27	1,28
Valparaíso	1,28	1,28	1,29	1,30	1,30	1,29	1,25	1,27	1,30	1,33	1,33	1,33
O'Higgins	2,52	2,65	2,77	2,79	2,81	2,82	2,86	2,84	2,85	2,86	2,90	2,90
Total País	20,55	20,99	22,50	23,20	26,02	26,53	27,20	27,52	30,07	29,26	29,45	29,74

Fuente: Elaborado por Cochilco

3.4. Proyección de demanda por potencia eléctrica

A modo referencial se estima que para satisfacer el consumo eléctrico esperado de la minería del cobre, se requeriría agregar una capacidad de generación eléctrica⁴ de 1717 MW en el período 2016 – 2026, de las cuales 1.119 MW se estiman para el SING y 599 MW para el SIC.

En la tabla 11 y en la figura 7 se muestra la demanda acumulada de potencia de generación en el SING, SIC y Total nacional.

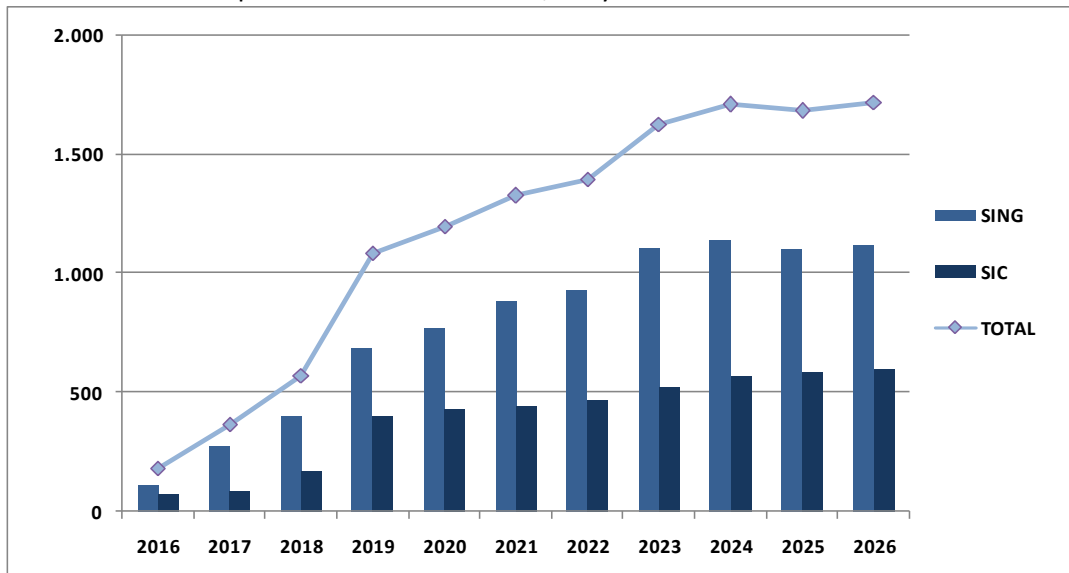
Tabla 11: Proyección de la demanda acumulada de potencia eléctrica requerida por la minería del cobre a partir del 2015 en el SING, SIC y total nacional

Mega Watts	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
SING	113	278	398	683	772	881	931	1.107	1.142	1.098	1.119
SIC	69	86	170	402	425	444	465	521	566	584	599
TOTAL	182	364	568	1.085	1.197	1.325	1.396	1.628	1.708	1.682	1.717

Fuente: Elaborado por Cochilco

⁴ Los incrementos anuales de energía eléctrica proyectada se convierte 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 mantenimiento 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.

Figura 7: Proyección de la demanda acumulada de potencia eléctrica, medida en MW, requerida por la minería del cobre a partir del 2015 en el SING, SIC y total nacional.



Fuente: Elaborado por Cochilco

4. Análisis del consumo eléctrico esperado según la condicionalidad de los proyectos al 2026

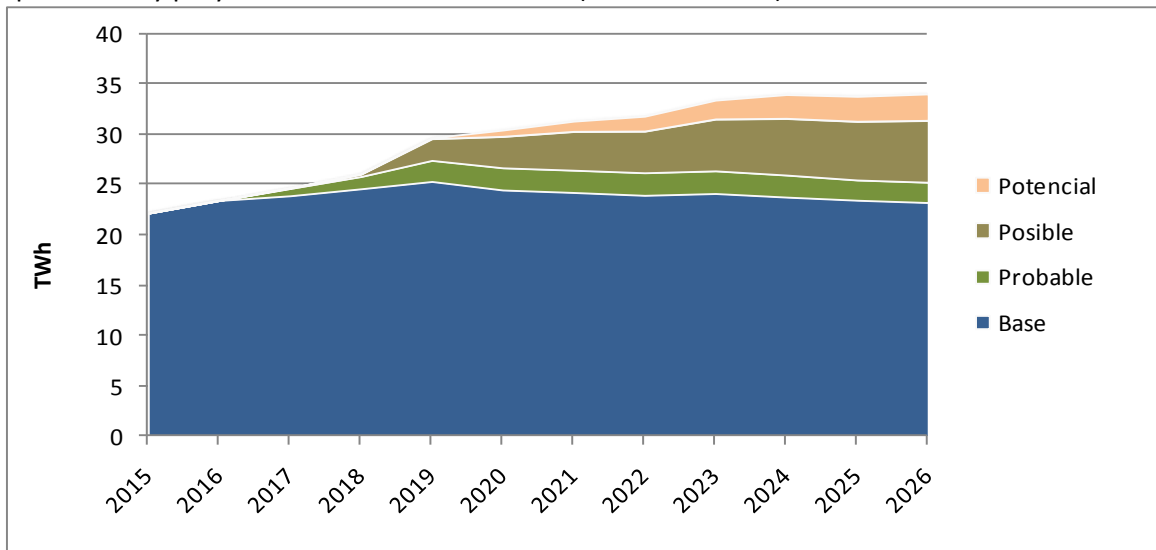
Como se ha señalado en los criterios metodológicos aplicados en este informe, el consumo eléctrico esperado tiene su base más cierta en las actuales operaciones y en los proyectos ya en construcción. En cambio, el consumo eléctrico futuro que tendrían los proyectos que aún no cuentan con la decisión de construirse es incierto, por lo que su magnitud se estima sobre la base de métodos probabilísticos que arrojan un resultado menor que el máximo potencial si todos se ejecutaran sin retraso en las fechas previstas.

Este capítulo se destina al análisis del consumo eléctrico esperado de aquellos proyectos mineros de cobre, considerando el efecto de su condicionalidad en la estimación global del consumo de electricidad proyectado.

4.1. Análisis a nivel país

La figura 9 y la tabla 12 muestran la distribución del consumo esperado anual según condición de mayor a menor certeza.

Figura 9: Proyección del consumo eléctrico nacional esperado al año 2026 según la condicionalidad de operaciones y proyectos de la minería del cobre (TeraWatts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 12: Proyección del consumo eléctrico nacional de la minería del cobre según la condicionalidad de operaciones y proyectos 2015 - 2026 (Tera Watts-hora)

Condición (TWh)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
BASE	22,23	23,48	23,95	24,64	25,36	24,52	24,27	23,99	24,17	23,82	23,51	23,28
PROBABLE	0,00	0,00	0,73	1,23	2,11	2,22	2,22	2,25	2,26	2,20	2,02	2,02
POSIBLE	0,00	0,00	0,06	0,24	2,16	3,12	3,86	4,14	5,15	5,63	5,83	6,15
POTENCIAL	0,00	0,00	0,00	0,04	0,08	0,63	1,02	1,47	1,87	2,36	2,48	2,63
Total	22,23	23,48	24,74	26,15	29,71	30,49	31,37	31,86	33,46	34,01	33,83	34,08

Fuente: Elaborado por Cochilco

El consumo eléctrico esperado de las operaciones en condición base muestra crecimiento en el periodo 2015 – 2019 y alcanza un máximo de consumo de 25,4 TWh el año 2019. A partir del año 2021 el consumo eléctrico esperado comienza a declinar hasta alcanzar un consumo esperado de 23,3 TWh el año 2026.

En relación a los proyectos (probables, posibles, potenciales) comienzan a adquirir significación desde el año 2019 cuando explica el 14,6% del consumo esperado, creciendo sostenidamente para llegar a significar el 32% del consumo esperado al año 2026.

Los proyectos probables comienzan ya con demanda por energía en el año 2017 con 0,73 TWh que representa un 3% del consumo esperado, alcanzando un consumo de 2,02 TWh en 2026, lo que representará un 5,9 % del consumo total de electricidad para dicho año.

Los proyectos posibles, actualmente en etapa de estudios y/o evaluación, se estima empezarán a demandar electricidad el año 2017 con una muy baja significación global de energía de los proyectos, iniciando un crecimiento sostenido por el resto del período a medida que se vayan poniendo en marcha hasta tener una importante participación en la demanda de energía eléctrica en el año 2026 que



consumirá 6,15 TWh lo que explica el 18% del consumo esperado total y es el más importante seguido de la demanda de las operaciones base.

Por su parte, la demanda de los proyectos en condición potencial comienzan a demandar energía el 2018 con un rápido crecimiento que alcanza en el año 2026 un consumo esperado de 2,63 TWh, correspondiente al 7,7% del consumo esperado total.

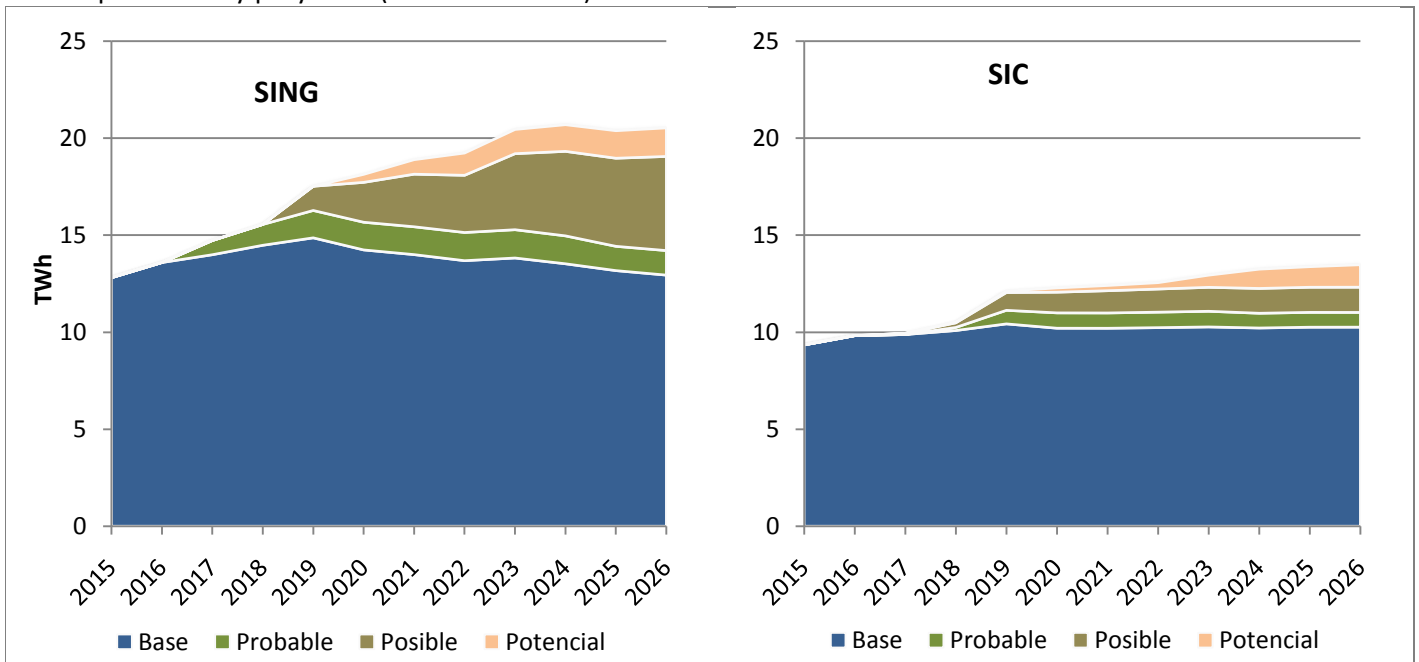
Del análisis del crecimiento cronológico de la demanda eléctrica, se desprende lo siguiente:

- a) En el corto plazo la demanda eléctrica crece por el crecimiento de las operaciones base y por la puesta en marcha reciente de proyectos y que irán alcanzando su capacidad productiva de diseño. Este mayor consumo será necesariamente atendido con la oferta actualmente disponible.
- b) En el mediano y largo plazo la demanda crece por la puesta en marcha de los proyectos (probables, posibles, potenciales) que comienzan a adquirir significación. Dado que ellos están en estudio, en el corto plazo debe quedar definida la modalidad contractual para el abastecimiento eléctrico. Para ello es fundamental la activa participación en las negociaciones de la nueva oferta que se generará por los proyectos de generación eléctrica en desarrollo, donde las ERNC jugarán un importante rol.

4.2. Análisis comparativo del SING y SIC.

El comportamiento de la demanda eléctrica en ambos sistemas interconectados en se aprecia gráficamente en la figura 10.

Figura 10: Consumo eléctrico de la minería del cobre en el SING y SIC según la condicionalidad de sus operaciones y proyectos (Tera Watts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco



Comparativamente hoy la demanda de energía minera se centra mayormente en el sistema SING con 12,81 TWh versus 9,34 TWh demandados en el sistema SIC. Esta tendencia se mantendrá al año 2026 año en el que en el Sistema SING se demandarán 20,53 TWh versus 13,47 TWh en el sistema SIC.

El consumo base en el SING muestra un incremento de 16% en la demanda de energía hasta el año 2019, el que irá declinando sostenidamente en los años siguientes a una tasa del 0,87%, para situarse en un nivel de 12,94 TWh al año 2026, solo 1,04% sobre el nivel del año 2015.

Las razón de dicha declinación se encuentra en la salida de operaciones muy significativas, principalmente en la línea hidrometalurgia (Michilla, Chuquicamata Mina Sur, Radomiro Tomic Óxidos, Quebrada Blanca, entre otras), además del rajo de Chuquicamata. Sumado a esto debemos considerar la salida de la cartera inversional a agosto de 2015 de Lomas bayas III y Collahuasi Fase III y, ahora en noviembre de 2015, El Abra Mill de Freeport, todos proyectos de sulfuros (concentrados).

A su vez, en el SIC el consumo base tiene un leve incremento al año 2026 llegando a 10,26 TWh con una tasa de crecimiento del 0,85% anual.

Como el consumo base en ambos sistemas al año 2026 sería similar al del año 2015, todo el potencial de consumo es explicado por los proyectos que se encuentran en condición probable, posible o potencial, siendo el SING el sistema proporcionalmente más demandado por los proyectos mineros. Es así como para el año 2020 los proyectos ya explicarían el 21% del consumo eléctrico esperado del SING y el 17% del SIC. Más adelante, al año 2026 esta participación se incrementaría al 37% del consumo del SING y al 24% del SIC.

4.3. Análisis regional

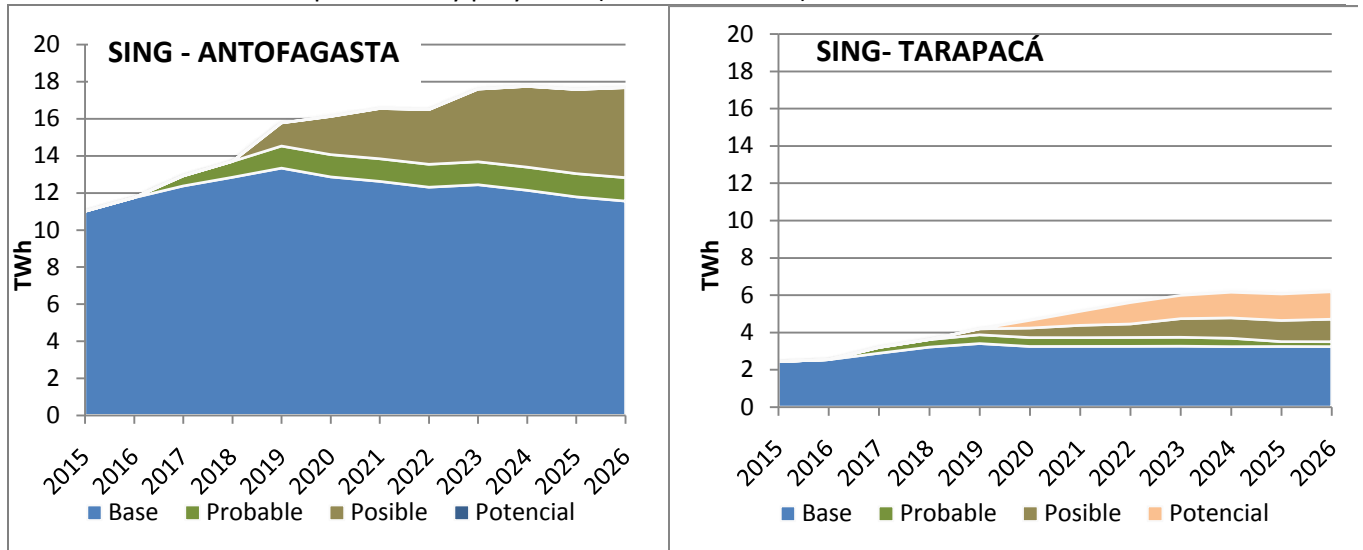
Por la importancia relativa que tendrán los proyectos en la futura demanda eléctrica, es relevante la ubicación geográfica donde se concentra la mayor demanda eléctrica minera y su condicionalidad.

4.3.1. Regiones del SING

En esta zona, naturalmente la mayor demanda se concentra en la región de Antofagasta y el resto corresponde a Tarapacá, como se aprecia en la siguiente figura 11.



Figura 11: Distribución regional del consumo eléctrico de la minería del cobre en el SING según la condicionalidad de sus operaciones y proyectos (Tera Watts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco

La demanda de energía de las operaciones base en la región de Antofagasta es la más relevante en relación a la demanda de los proyectos (probables, posibles, potenciales). El consumo base se incrementa hasta el año 2019 hasta alcanzar 13,3 TWh que representa el 85% del consumo total de energía proyectado de ese año, para posteriormente bajar paulatinamente a 11,56 TWh el año 2026 en que representa el 65 % de energía total demandada ese año por la minería. Es así como el consumo de sus proyectos emerge recién hacia el año 2018 y hacia el 2026 explicaría el 35% del consumo en Antofagasta.

Los proyectos posibles corresponden a iniciativas de CODELCO (RT Sulfuros fase II y Chuquicamata Subterránea). En cambio los proyectos potenciales corresponden a iniciativas privadas y su demanda no sería antes del año 2019 (Desarrollo Distrito Centinela, Spence Growth Option y la expansión de Sierra Gorda).

La otra región importante en el consumo SING es Tarapacá que en el año 2015 tiene un 19% del consumo total SING, participación que en el año 2026 alcanzará el 30%. Sin embargo ello depende de la materialización de Quebrada Blanca Hipógeno, que reemplazaría su actual operación hidrometalúrgica.

4.3.2. Regiones del SIC

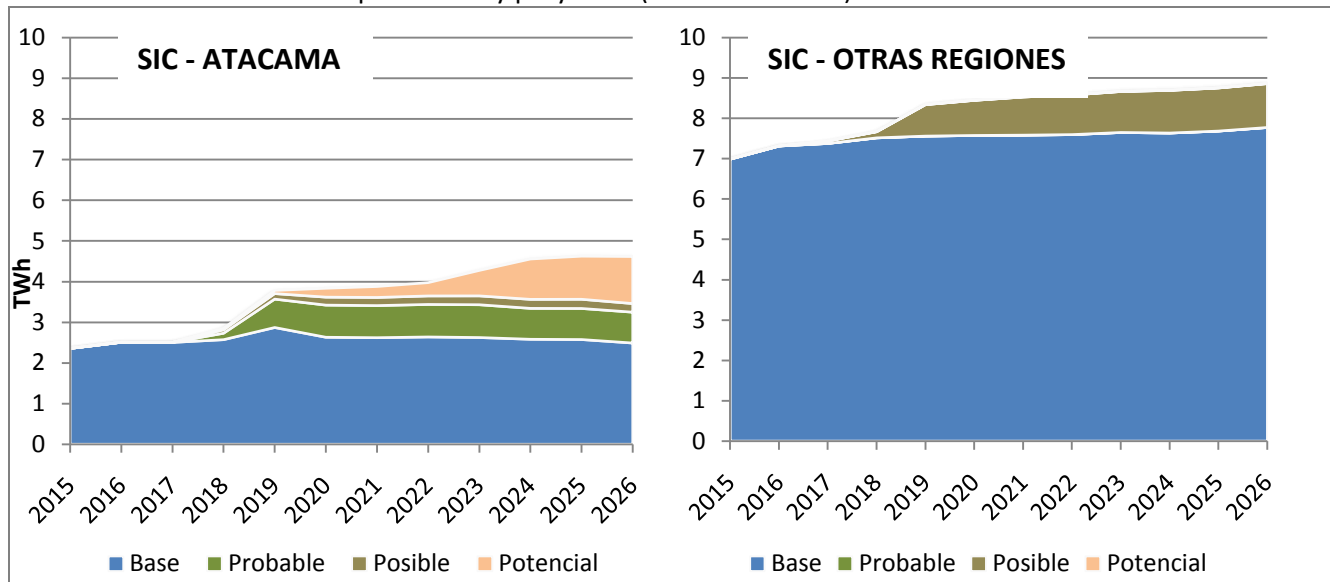
Atacama tiene en el año 2015 el 25% del consumo eléctrico de la minería del cobre en el SIC y alcanzaría el 34% de este consumo hacia el año 2026, debido al crecimiento de su demanda en un 95% de 2,36 TWh a 4,61 TWh en el período.

En las restantes regiones de Coquimbo a O'Higgins el consumo esperado se estima crecerá en un 26,8%, desde los actuales 7 TWh a 9 TWh del año 2026, donde las operaciones base explican mayormente este consumo y que en el año 2016 explicaría el 87% del consumo en esta zona al año 2026.

La evolución de ambas zonas geográficas se aprecia en la figura 12.



Figura 12: Distribución regional del consumo eléctrico de la minería del cobre en el SIC según la condicionalidad de sus operaciones y proyectos (Tera Watts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco

Las operaciones base explican el mayor consumo de energía en la Región de Atacama y que hoy representan el 100% de la demanda, en tanto al año 2026 representará un 54% de la demanda total en la región con 2,49 TWh. La demanda restante se encuentra principalmente en los proyectos de condición de probables y potenciales, es decir bajo un mayor grado de incertidumbre. Los proyectos probables muestran ya significación en el año 2019 que representarían un 19% del consumo de energía ese año en la región, y se mantiene estable en torno a los 0,75 TWh al año 2026. En tanto los proyectos potenciales se empiezan a notar el año 2020 que representan el 6% para alcanzar un 25% la minería del cobre de la región al año 2026 con 1,92 TWh.

Comparando con las proyecciones del año 2014 de la región de Atacama, su potencial crecimiento se ve mermado debido a la salida de grandes proyectos en la región (Cerro Casale, El Morro, Relincho). En tanto en las otras regiones la salida del proyecto de Ampliación de Los Pelambres en Coquimbo y Andina 244 de la región de Valparaíso también han significado un menor crecimiento de la demanda de energía del SIC respecto a lo que se esperaba el año pasado.

Las capacidades de generación local y/o de transmisión de electricidad requieren de ampliación, por mientras ello no se resuelva aún la energía eléctrica seguirá teniendo un alto costo. En este contexto, la conexión SING – SIC puede aliviar significativamente la situación al descomprimir el abastecimiento eléctrico para la zona norte del SIC, si ella no recibe incremento significativo de capacidad de generación eléctrica local.

Al respecto cabe señalar que el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) aprobó en este mes de diciembre 2015 la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) del proyecto Cardones-Polpaico, lo cual es una importante noticia en el avance de una mayor seguridad de abastecimiento al sistema lo que daría consecuentemente mayor seguridad en particular a los proyectos nuevos que deben negociar contratos

de abastecimiento eléctrico en el largo plazo antes que comiencen sus operaciones. En este sentido, un suministro de electricidad seguro y a precios competitivos es una de las variables que determina la concreción de los proyectos y permite la sustentabilidad de la industria.

Este proyecto Cardones - Polpaico, tendría una extensión de 753 kilómetros, y cruza Atacama, Coquimbo, Valparaíso, y la Región Metropolitana. La fecha estimada de término de obras está agendada para enero de 2018.

5. Análisis del consumo eléctrico esperado según Tipo al año 2026

El presente capítulo está destinado a apreciar la distribución del consumo eléctrico esperado entre las operaciones vigentes y los proyectos según su tipo, el cual se refiere al 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 prácticamente parte de cero. El análisis cubre la situación global país, junto al análisis comparativo de las zonas del SING y SIC referido a las singularidades que ellos presentan.

5.1. Análisis nivel país

La tabla 13 muestra el consumo eléctrico esperado de la minería del cobre nacional, distribuido por operaciones y tipos de proyectos.

Tabla 13: Distribución nacional del consumo eléctrico esperado de la minería del cobre Según operaciones y tipos de proyectos 2015 – 2026 (Tera Watts-hora)

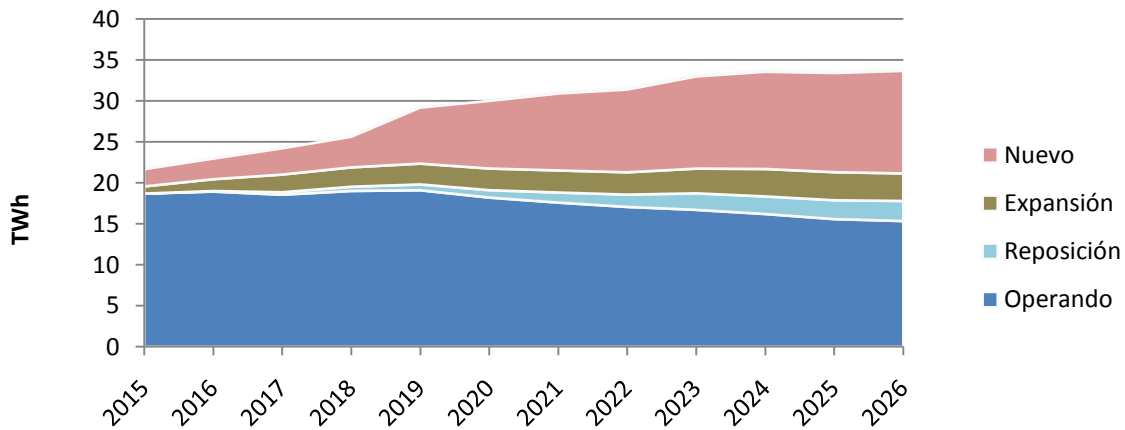
Tipo	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Nuevo	2,10	2,52	3,20	3,73	6,83	8,25	9,38	10,09	11,24	11,85	12,10	12,51
Expansión	0,88	1,44	2,16	2,36	2,54	2,64	2,69	2,73	3,02	3,35	3,42	3,36
Reposición	0,00	0,06	0,30	0,51	0,71	0,90	1,23	1,50	2,02	2,15	2,30	2,45
Operando	18,70	18,95	18,56	19,02	19,11	18,21	17,60	17,08	16,72	16,21	15,59	15,35
Total	21,68	22,97	24,22	25,63	29,19	30,01	30,91	31,39	32,99	33,56	33,41	33,67

Fuente: Elaborado por Cochilco

A su vez, en la figura 10 se puede apreciar gráficamente dicha distribución.



Figura 13: Proyección del consumo eléctrico nacional esperado al año 2026 según tipo de proyectos de la minería del cobre (TeraWatts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco

Las operaciones vigentes crecen muy levemente al año 2019 manteniéndose casi estables alrededor de 18,9 TWh y a partir del 2020 se evidencia una declinación sostenida de su consumo hasta el año 2026 a una tasa de decrecimiento del 2% anual, con una disminución del 20% respecto al consumo esperado del 2020.

Por cierto que para algunas de las actuales operaciones se contemplan proyectos de reposición o de expansión, que en su conjunto permiten esperar una demanda adicional de 5,8 TWh al 2026, con lo que las operaciones más sus proyectos relacionados, llevarían el nivel de demanda a 21,2 TWh, un 8,1% sobre el consumo actual.

Es así como, el aumento del consumo a 33,7 TWh lo generan los proyectos nuevos que, al 2026, explicarían el 37,2% del consumo esperado. Cabe entonces destacar la importancia estratégica de estos proyectos, no solo por la cuantía de sus demandas, sino porque las compañías deben enfrentar las mayores dificultades para su desarrollo, tanto en la obtención de sus permisos como en las complejidades de construcción que deben abordar al partir de cero.

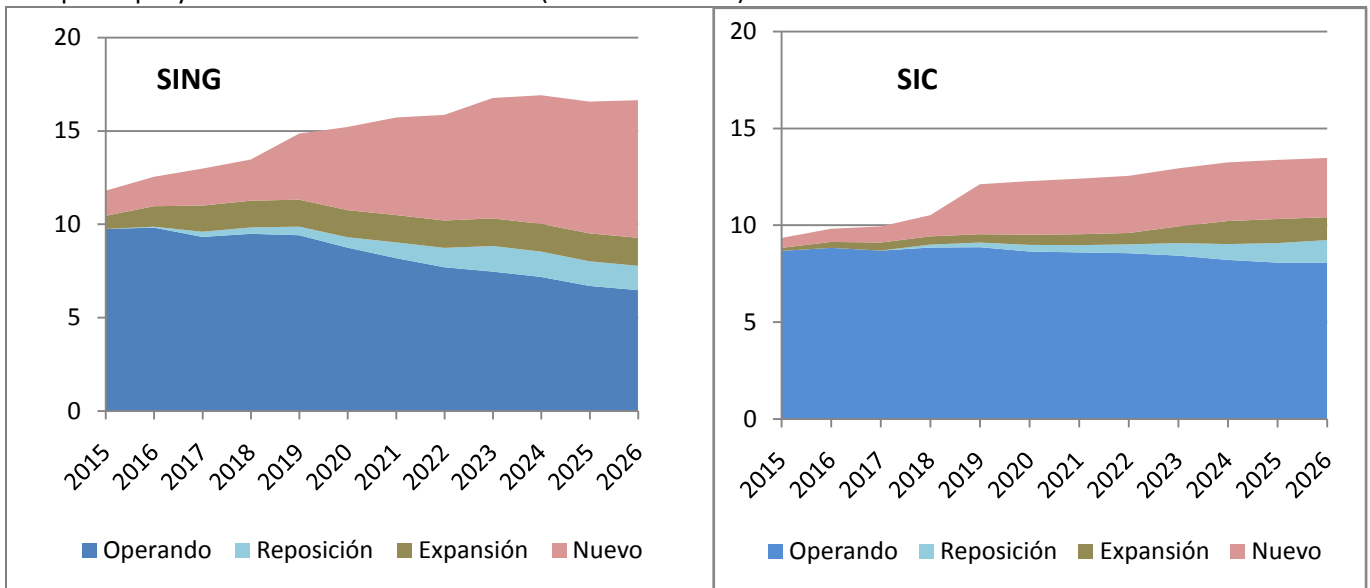
Dentro de la categoría de proyectos nuevos se encuentran aquellos que impulsan compañías mineras que por primera vez emprenden inversiones en Chile. Entre otras materias, deben estudiar y asegurar el suministro eléctrico confiable y a costos abordables, en forma previa a tomar la decisión de invertir.

5.2. Análisis comparativo del SING y SIC

La estructura de la demanda eléctrica en ambos sistemas interconectados se aprecia gráficamente en la figura 14.



Figura 14: Proyección del consumo eléctrico esperado en el SING y SIC al año 2026 según operaciones y tipo de proyectos de la minería del cobre (TeraWatts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco

En el sistema SING las operaciones vigentes se mantienen estables con un consumo en torno a los 9,6 TWh hasta el año 2019, posteriormente la demanda de estas operaciones comienza a decaer a partir del año 2020 a una tasa de decrecimiento anual del 3% hasta llegar a 6,47 TWh el año 2026 que representa el 38,9% del consumo total esperado ese año.

Se destaca la importancia relativa de los proyectos nuevos, que muestran un gran crecimiento al año 2026 a una tasa anual del 16,7% y serán los futuros mayores demandantes de energía eléctrica. Comparativamente respecto al año 2015 tienen un aumento del 448% llegando a 7,4 TWh el 2026, lo que representaría el 44,3% en el consumo esperado del sistema SING de ese año.

En relación al sistema SIC las operaciones vigentes se mantienen en torno a los 8,5 TWh en el período 2015 al 2026, y al igual que en sistema SING son los proyectos nuevos los que cobran gran importancia en el período, con una tasa de crecimiento anual del 17,7% al año 2026, con un crecimiento del 499% respecto al año 2015 llegando a 3,1 TWh lo que explica el 23% del consumo eléctrico esperado en el SIC, sin embargo son las operaciones vigentes las que explican la mayor demanda de energía eléctrica relativamente en el período.



6. Análisis del consumo eléctrico esperado según procesos al 2026

En el presente capítulo se muestran los resultados del destino del consumo eléctrico esperado por procesos en la minería del cobre al año 2026. El análisis se focaliza en la importancia relativa de los procesos más intensivos en consumo eléctrico y cuál ha sido la evolución que se ha registrado en el período 2015 – 2026. La atención se pone tanto a nivel país como en el análisis comparado por procesos en los sistemas SING y SIC.

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 al deterioro del recurso geológico.

Los procesos considerados son: Concentradora, Mina Rajo, Mina Subterránea, Fundición, Refinería LX-SX-EW, Servicios y Desalinización e Impulsión.

6.1. Distribución del consumo eléctrico esperado a nivel país

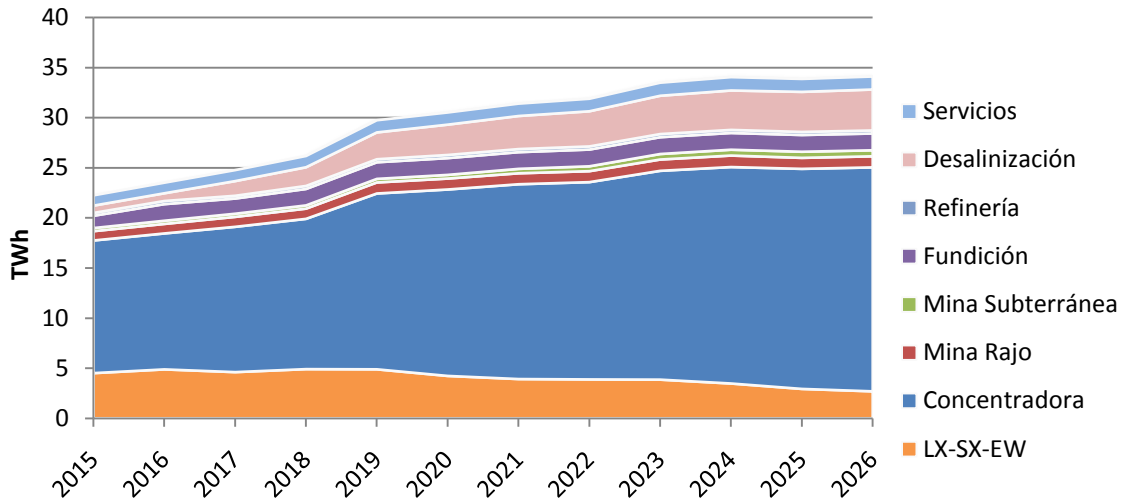
El resultado a nivel país del consumo eléctrico esperado por proceso se muestra en la en la tabla 14 y figura 15.

Tabla 14: Distribución nacional del consumo eléctrico esperado de la minería del cobre según procesos 2015 – 2026 (Tera Watts-hora)

Procesos	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Concentradora	13,23	13,56	14,49	14,99	17,54	18,59	19,43	19,68	20,83	21,59	21,95	22,34
Mina Rajo	0,93	0,95	0,99	1,02	1,10	1,09	1,09	1,09	1,13	1,15	1,10	1,11
Mina Subterránea	0,31	0,32	0,32	0,32	0,35	0,37	0,44	0,49	0,55	0,58	0,61	0,60
Fundición	1,22	1,66	1,51	1,64	1,66	1,67	1,67	1,67	1,68	1,67	1,67	1,67
Refinería	0,29	0,31	0,28	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,30
LX-SX-EW	4,51	4,88	4,61	4,91	4,89	4,23	3,92	3,88	3,85	3,47	2,93	2,69
Servicios	1,03	1,05	1,09	1,12	1,22	1,21	1,23	1,25	1,30	1,33	1,29	1,30
Desalinización e Impulsión	0,73	0,77	1,46	1,86	2,67	3,02	3,30	3,51	3,82	3,93	3,99	4,08
Total	22,24	23,50	24,75	26,16	29,73	30,50	31,39	31,87	33,47	34,03	33,85	34,09

Fuente: Elaborado por Cochilco

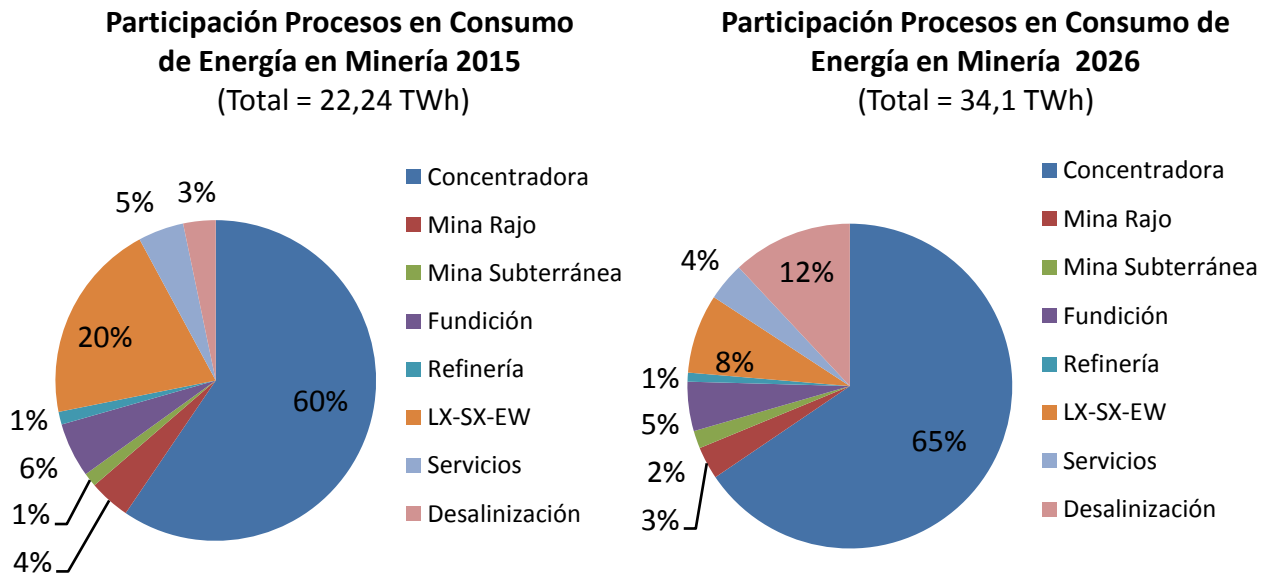
Figura 15: Consumo eléctrico esperado de la minería del cobre a nivel nacional por procesos



Fuente: Elaborado por Cochilco

Los cambios en la participación del consumo eléctrico de los procesos considerados entre el año 2015 y 2026 se aprecian gráficamente en la figura 16.

Figura 16: Consumo eléctrico esperado de la minería del cobre por procesos a nivel nacional



Fuente: Elaborado por Cochilco

Hoy el mayor consumo de energía eléctrica proviene de la concentradora con 13,2 TWh que representa el 60% de la energía demandada respecto de la demanda de los demás procesos mineros, esta relación se mantendrá y acentuará al año 2026 en el que el consumo por proceso de concentración aumentará



en un 69% llegando a 22,34 TWh lo que representará el 65% de la demanda ese año. Esto se debe que gran parte de los proyectos de expansión y nuevos proyectos mineros son de concentrados de cobre.

En tanto, se observa también una reducción en el consumo total de electricidad en el proceso de LX-SX-EW de un 40% en periodo 2015 – 2026, debido fundamentalmente por el término de la vida útil de varias operaciones hidrometalúrgicas que producen cátodos SX-EW.

Un proceso que emergerá como segundo lugar en el consumo eléctrico es el proceso de desalinización e impulsión. Ello es una consecuencia del aumento de operaciones de concentración, proceso que es intensivo en el empleo de agua, insumo ya escaso en las regiones del Norte. En consecuencia se estima que este proceso aumentará 5,6 veces su consumo en el periodo 2015 – 2026; de 0,73 TWh en 2015 a 4,1 TWh en 2026.

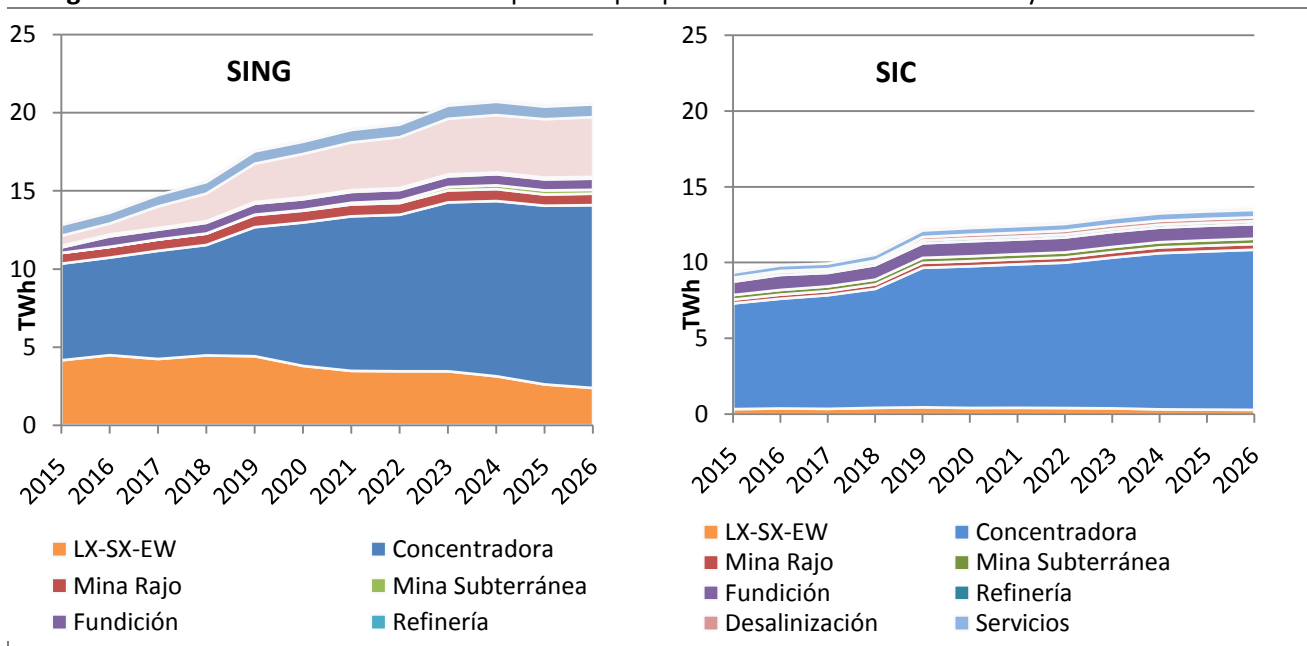
Por otra parte, se proyecta que los consumos en Fundiciones del país se mantendrán estables en torno a los 1,62 TWh en el período 2015-2026, debido que no se estima la instalación de nueva capacidad o mayores aumentos de producción. En tanto en la Refinería al año 2026, el consumo de energía eléctrica se mantendrá prácticamente igual al año 2015, alrededor de 0,3 TWh.

Los procesos de Mina Rajo, Mina Subterránea, Servicios son de bajo peso relativo en el consumo eléctrico. Sin embargo, se proyecta un aumento de 20%, 92% y 27% respectivamente en el periodo 2015 - 2026. (Ver figura 16)

6.2. Análisis comparativo del SING y SIC

Los resultados del consumo eléctrico proyectado por procesos para el SING y SIC se muestran en la Figura 17.

Figura 17: Consumos de Electricidad esperados por procesos en los sistemas SING y SIC.



Fuente: Elaborado por Cochilco



La proyección de consumo esperado de electricidad en los sistemas interconectados SING y SIC es diferente en la cantidad de energía requerida y en su utilización por procesos.

- a) Los procesos que en mayor medida explican el aumento del 60% en el consumo de electricidad en el sistema SING entre 2015 -2026, son los procesos de Concentración y el desarrollo masivo de la Desalinización e Impulsión. La Concentración es y seguirá siendo la de mayor peso relativo en la demanda de energía eléctrica en el sistema SING, que en el año 2015 representa el 48,3% de la demanda total de energía y tendrá un aumento del 89% al 2026, llegando a 11,7 TWh lo que representará el 56% de la demanda ese año. Por su lado la desalinización e impulsión tendrá un importante aumento del 503% al 2026 y si en el año 2015 representa un 4,9% de la demanda de energía llegará a significar el 18,6% de la demanda en el año 2026 con 3,82 TWh.
- b) El segundo proceso que mayor demanda de energía tiene en el 2015 es el de LX-SX-EW con 4,2 TWh que son un 32% de la demanda ese año, sin embargo se proyecta una disminución en el consumo energético de este proceso de un 43% al año 2026, debido principalmente a la salida de producción de Michilla, Chuquicamata Mina Sur, Radomiro Tomic Óxidos, Quebrada Blanca, entre otras, sin perjuicio que algunas pueden continuar a una escala muy disminuida. No se consideran nuevos proyectos o proyectos de expansión en el periodo 2015 – 2026 que consideren la explotación de minerales oxidados, lo que incide en la generación de capacidad de SXEW ociosa.
- c) Para el caso del sistema interconectado SIC, el aumento del 44% en consumo eléctrico se ve explicado principalmente el proceso de concentración. Su aumento proyectado es de un 51%, de 6,98 TWh en 2015 a 10,6 en TWh en 2026, equivalente al 78,4% del consumo minero esperado en el SIC al fin del período en análisis. Cabe señalar que la concentración tendría una tasa de crecimiento anual del 3,8%.



7. Conclusiones

En relación a los resultados de proyección de consumo energético a nivel nacional, se estima la proyección del consumo eléctrico esperado al año 2026 para la producción de cobre en Chile sería de 34,1 Tera Watts-hora, un 53,3% más respecto al consumo del año 2015, de los cuales 20,5 TWh se consumirían en el SING y 13,5 TWh en el SIC.

En el SING se observaría un crecimiento anual del 3,2% en el período 2015-2020, requiriendo incrementar la capacidad de generación en al menos 770 MW, para bajar posteriormente a una tasa del 0,8% anual en el período 2021-2026 demandando unas 350 MW adicionales, es decir los mayores incrementos de demanda son de corto y mediano plazo.

En tanto en el SIC, en un primer período 2015-2020 la demanda crecería al 2,5% anual, necesitándose unos 400 MW de potencia adicional. Y a contar del 2021 la demanda crecería sólo a un 0,8% anual, con un requerimiento de más generación por unos 200 MW al 2026.

El impacto de los proyectos sobre los cuales aún no se toma la decisión de ejecutar sobre el consumo eléctrico se empezaría a notar a contar del año 2019, fecha para la cual muchas de las soluciones por el lado de la oferta eléctrica debieran estar claramente trazadas para no afectar la toma de decisiones de los inversionistas que respaldan a los proyectos mineros.

Analizando a nivel regional, por cierto que en el SING la demanda se concentra en Antofagasta, principalmente en el corto y mediano plazo, mientras que en Tarapacá los incrementos de demanda se deben a dos grandes proyectos aún en condición potencial.

Por su parte, lo más relevante del SIC se focaliza en Atacama, donde su consumo eléctrico esperado subiría a unos 7,1 TWh, un 197% sobre el consumo del 2014. Ello se debe al importante número de proyectos los que se encuentran en condiciones de posibles o potenciales, es decir sujetos a incertidumbres no resueltas aún. Una de ellas el abastecimiento eléctrico.

La aprobación de la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) del proyecto Cardones-Polpaico, es un importante avance en la interconexión eléctrica y da una mayor seguridad de abastecimiento al sistema lo que daría consecuentemente mayor seguridad en particular a los proyectos nuevos que deben negociar contratos de abastecimiento eléctrico en el largo plazo antes que comiencen sus operaciones. En este sentido, un suministro de electricidad seguro y a precios competitivos es una de las variables que determina la concreción de los proyectos y permite la sustentabilidad de la industria.

Cabe señalar además, que la desalinización e impulsión emergerá como un proceso importante en el consumo de energía eléctrica al año 2026, aumentando 5,6 veces su consumo al día de hoy, convirtiéndose así en el segundo proceso luego de la concentración que más demandará energía eléctrica. Ello es una consecuencia del aumento de operaciones de concentración, proceso que es intensivo en el empleo de agua, insumo ya escaso en las regiones del norte.

Es así que nos encontramos en el punto en que podemos considerar a la demanda de energía eléctrica que generará la minería, como un incentivo para fortalecer las políticas nacionales de energía, en



términos de diversificar la matriz energética, fortalecer la penetración de las ERNC e incrementar la eficiencia energética.



8. Anexos

8.1. Anexos capítulo 2: Metodología

8.1.1. Proyectos mineros considerados en la proyección de energía

Tabla 15: Operaciones vigentes de cobre

Compañía	Mina	Región	Etapas de Desarrollo	Condición	Sistema Intero.
AMERIGO RES.	Valle Central - Relaves frescos	O'Higgins	Operación	BASE	SIC
AMERIGO RES.	Valle Central - Colihues	O'Higgins	Operación	BASE	SIC
ANGLO AMERICAN CHILE	Mantos Blancos	Antofagasta	Operación	BASE	SING
ANGLO AMERICAN CHILE	Los Bronces	Metropolitana	Operación	BASE	SIC
ANGLO AMERICAN CHILE	Mantos Blancos	Antofagasta	Operación	BASE	SING
ANGLO AMERICAN CHILE	Mantoverde	Antofagasta	Operación	BASE	SING
ANGLO AMERICAN CHILE	El Soldado	Valparaíso	Operación	BASE	SIC
ANGLO AMERICAN CHILE	Los Bronces	Metropolitana	Operación	BASE	SIC
ANGLO AMERICAN CHILE	El Soldado	Valparaíso	Operación	BASE	SIC
ANTOFAGASTA MINERALS	Esperanza	Antofagasta	Operación	BASE	SING
ANTOFAGASTA MINERALS	Los Pelambres	Coquimbo	Operación	BASE	SIC
ANTOFAGASTA MINERALS	Michilla	Antofagasta	Operación	BASE	SING
ANTOFAGASTA MINERALS	Tesoro	Antofagasta	Operación	BASE	SING
BARRICK GOLD	Zaldivar	Antofagasta	Operación	BASE	SING
BHP BILLITON	Escondida	Antofagasta	Operación	BASE	SING
BHP BILLITON	Cerro Colorado	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
CEMIN	Dos Amigos	Atacama	Operación	BASE	SIC
CEMIN	Catemu	Atacama	Operación	BASE	SIC
CERRO DOMINADOR	Callejas Zamora	Atacama	Operación	BASE	SIC
CERRO DOMINADOR	Santa Margarita	Antofagasta	Operación	BASE	SING
CERRO DOMINADOR	Faride	Antofagasta	Operación	BASE	SING
CODELCO-CHILE	Chuqui Rajo	Antofagasta	Operación	BASE	SING
CODELCO-CHILE	RT Sulfuros Fase I	Antofagasta	Operación	BASE	SING
CODELCO-CHILE	Ministro Hales	Antofagasta	Operación	BASE	SING
CODELCO-CHILE	Salvador	Atacama	Operación	BASE	SIC
CODELCO-CHILE	Andina	Valparaíso	Operación	BASE	SIC
CODELCO-CHILE	Mina Sur Chuqui y Otros	Antofagasta	Operación	BASE	SING
CODELCO-CHILE	R.Tomic Óxidos	Antofagasta	Operación	BASE	SING
CODELCO-CHILE	Ministro Hales	Antofagasta	Operación	BASE	SING
CODELCO-CHILE	Salvador	Atacama	Operación	BASE	SIC

CODELCO-CHILE	TTE. Recuperación Cu	O'Higgins	Operación	BASE	SIC
CODELCO-CHILE	Gabriela Mistral	Antofagasta	Operación	BASE	SING
CODELCO-CHILE	El Teniente	O'Higgins	Operación	BASE	SIC
DOÑA INÉS DE COLLAHUASI	Collahuasi	Tarapacá	Operación	BASE	SING
DOÑA INÉS DE COLLAHUASI	Collahuasi SxEw	Tarapacá	Operación	BASE	SING
ENAMI	Matta	Atacama	Operación	BASE	SIC
ENAMI	Vallenar	Atacama	Operación	BASE	SIC
ENAMI	Delta	Coquimbo	Operación	BASE	SIC
ENAMI	Planta Matta	Atacama	Operación	BASE	SIC
ENAMI	Planta Vallenar	Atacama	Operación	BASE	SIC
ENAMI	Planta El Salado	Atacama	Operación	BASE	SIC
ENAMI	Planta J.A. Moreno (Taltal)	Atacama	Operación	BASE	SING
ENAMI	Plantas varias	No determinada	Operación	BASE	No determinada
ENAMI	Delta	Coquimbo	Operación	BASE	SIC
FREEPORT McMoRan	El Abra	Antofagasta	Operación	BASE	SING
GLENCORE-XSTRATA	Lomas Bayas HEAP	Antofagasta	Operación	BASE	SING
HALDEMAN	Sagasca	Tarapacá	Operación	BASE	SING
KGHM INTERNATIONAL	Sierra Gorda	Antofagasta	Operación	BASE	SING
KGHM INTERNATIONAL	Franke	Antofagasta	Operación	BASE	SING
LAS CENIZAS	Cabildo	Valparaíso	Operación	BASE	SIC
LAS CENIZAS	Taltal	Antofagasta	Operación	BASE	SING
LAS CENIZAS	Taltal Óxidos	Antofagasta	Operación	BASE	SING
LUNDING MINING	Ojos del Salado	Atacama	Operación	BASE	SIC
LUNDING MINING	Candelaria	Atacama	Operación	BASE	SIC
MANTOS DE LA LUNA	Mantos de Luna	Antofagasta	Operación	BASE	SING
NITTETSU Mining	Atacama Kozan	Atacama	Operación	BASE	SIC
PAN PACIFIC Copper	Caserones Concentrados	Atacama	Operación	BASE	SIC
PAN PACIFIC Copper	Caserones	Atacama	Operación	BASE	SIC
PUCOBRE	San José	Atacama	Operación	BASE	SIC
PUCOBRE	El Espino Oxidos	Coquimbo	Operación	BASE	SIC
PUCOBRE	Pucobre	Atacama	Operación	BASE	SIC
SIERRA MIRANDA	Sierra Miranda	Antofagasta	Operación	BASE	SING
TECK	Andacollo Hipógeno	Atacama	Operación	BASE	SIC
TECK	Quebrada Blanca	Tarapacá	Operación	BASE	SING
VECCHIOLA	Tres Valles	Atacama	Operación	BASE	SIC
VARIOS	Plantas Conc. varias	No determinada	Operación	BASE	No determinada
VARIOS	Plantas SxEw varias	No determinada	Operación	BASE	No determinada

Fuente: Inversión en la Minería Chilena - Cartera de Proyectos 2015 -2024, Cochilco, 2015



Tabla 16: Proyectos de inversión en minería de cobre

Compañía	Mina	Región	Etapas de Desarrollo	Condición	Sistema Intero.
AMERIGO RES.	Valle Central Expansión (Cauquenes)	O'Higgins	Factibilidad	PROBABLE	SIC
ANTOFAGASTA MINERALS	Esperanza Sur	Antofagasta	Factibilidad	POSIBLE	SING
ANTOFAGASTA MINERALS	Encuentro Sulfuros	Antofagasta	Factibilidad	POTENCIAL	SING
ANTOFAGASTA MINERALS	Los Pelambres Ampliación Marginal	Coquimbo	Factibilidad	POSIBLE	SIC
ANTOFAGASTA MINERALS	Encuentro Óxidos	Antofagasta	Factibilidad	BASE	SING
ANTOFAGASTA MINERALS	Antucoya	Antofagasta	En Ejecución	BASE	SING
BHP BILLITON	Escondida OGP I	Antofagasta	En Ejecución	BASE	SING
BHP BILLITON	Spence Growth Option	Antofagasta	Factibilidad	POSIBLE	SING
BHP BILLITON	Cerro Colorado Cont. Operacional	Tarapacá	Factibilidad	PROBABLE	SING
CAPSTONE Mining	Santo Domingo	Atacama	Factibilidad	POSIBLE	SIC
CODELCO-CHILE	Chuqui Subte	Antofagasta	En Ejecución	BASE	SING
CODELCO-CHILE	RT Sulfuros Fase II	Antofagasta	Factibilidad	POSIBLE	SING
CODELCO-CHILE	Rajo Inca	Atacama	Pre-Factibilidad	POTENCIAL	SIC
CODELCO-CHILE	Nuevo Nivel Mina y Otros Proy	O'Higgins	En Ejecución	BASE	SIC
COPEC	Diego de Almagro Sulf.	Atacama	Factibilidad	POSIBLE	SIC
COPEC	Diego de Almagro Óxidos	Atacama	Factibilidad	POSIBLE	SIC
HOT CHILI	Productora	Atacama	Pre-Factibilidad	POTENCIAL	SIC
KGHM INT.	Sierra Gorda Fase II	Antofagasta	Factibilidad	PROBABLE	SING
KGHM INT.	Sierra Gorda Óxidos	Antofagasta	Factibilidad	PROBABLE	SING
LUNDING MINING	Candelaria 2030	Atacama	Factibilidad	PROBABLE	SIC
PAMPA CAMARONES	Pampa Camarones	Arica y Parinacota	En Ejecución	BASE	SING
PAMPA CAMARONES	Pampa Camarones Exp	Arica y Parinacota	En Ejecución	BASE	SING
PUCOBRE	El Espino Conc	Coquimbo	Factibilidad	POSIBLE	SIC
PUCOBRE	Tovaku	Antofagasta	Pre-Factibilidad	POTENCIAL	SIC
TECK	Quebrada Blanca Hipógeno	Tarapacá	Factibilidad	POTENCIAL	SING
TECK	Relincho	Atacama	Factibilidad	POTENCIAL	SIC

Fuente: Inversión en la Minería Chilena - Cartera de Proyectos 2015 -2024, Cochilco, 2015

Tabla 17: Proyectos de inversión en minería del oro y del hierro con coproducción de cobre

Compañía	Mina	Región	Etapas de Desarrollo	Condición	Sistema Interco.
BARRICK	Cerro Casale	Atacama	Proyecto Hipotético	POTENCIAL	SIC
EXETER Resources	Caspiche Sulfuros Subte	Atacama	Proyecto Hipotético	POTENCIAL	SIC
GOLD CORP	El Morro	Atacama	Proyecto Hipotético	POTENCIAL	SIC
ANDES IRON SpA	Dominga	Coquimbo	Factibilidad	POSIBLE	SIC

Fuente: Inversión en la Minería Chilena - Cartera de Proyectos 2015 -2024, Cochilco, 2015

Tabla 18: Operaciones y proyectos de desalinización e impulsión

Compañía	Mina	Región	Etapas de Desarrollo	Condición	Sistema Interconectado
ANGLO AMERICAN CHILE	Mantoverde	Antofagasta	Operación	BASE	SING
ANTOFAGASTA MINERALS	Esperanza	Antofagasta	Operación	BASE	SING
ANTOFAGASTA MINERALS	Michilla	Antofagasta	Operación	BASE	SING
BHP BILLITON	Escondida	Antofagasta	Operación	BASE	SING
LUNDIN	Candelaria	Atacama	Operación	BASE	SIC
MANTOS DE LA LUNA	Mantos de Luna	Antofagasta	Operación	BASE	SING
BHP BILLITON	Escondida OGP I	Antofagasta	En Ejecución	BASE	SING
BHP BILLITON	Spence Growth Option	Antofagasta	Factibilidad	Posible	SING
ANTOFAGASTA MINERALS	Encuentro	Antofagasta	Factibilidad	BASE	SING
CAPSTONE Mining	Santo Domingo	Atacama	Factibilidad	POSIBLE	SIC
CODELCO-CHILE	RT Sulfuros Fase II	Antofagasta	Factibilidad	POSIBLE	SING
LUNDIN	Candelaria 2030	Atacama	Factibilidad	PROBABLE	SIC
KGHM INT.	Sierra Gorda Concentrados	Antofagasta	En Ejecución	BASE	SING
TECK	Quebrada Blanca Hipógeno	Tarapacá	Factibilidad	POTENCIAL	SING
COPEC	Diego de Almagro Sulf.	Atacama	Factibilidad	POSIBLE	SIC
ANTOFAGASTA MINERALS	Antucoya	Antofagasta	En Ejecución	BASE	SING
PAMPA CAMARONES	Pampa Camarones	Arica y Parinacota	En Ejecución	BASE	SING
ANDES IRON SpA	Dominga	Coquimbo	Nuevo	POSIBLE	SIC

Fuente: Cochilco, 2015

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 19: 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, 2013

Donde:

- g : Aceleración de gravedad, la cual es igual a $9,8 \text{ (m/s}^2 \text{)}$.
- ρ : Densidad del agua, la cual es igual a $1000 \text{ (kg/m}^3 \text{)}$.
- H : Altura (msnm).
- Q : Caudal en metros cúbicos por segundo (m^3/s).
- η_b : Rendimiento de bombas (%).
- η_m : Rendimiento del motor (%).

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

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

Donde:

- *Potencia*: está expresada en MW, la cual se calcula con las fórmulas de la tabla 1.
- *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 (tabla 15), aplicándoles los mismos ponderadores de los proyectos mineros (tablas 2, 3 y 4) 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 desaladoras 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 2015 – 2026 en diferentes categorías

8.2.1. Proyección global

Tabla 20: Consumo máximo, mínimo y esperado de la minería del Cobre 2015 - 2026, país.

Global (TWh)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Consumo máximo	23,79	25,54	27,57	28,61	33,29	34,77	35,50	35,85	37,47	37,85	37,41	37,41
Consumo esperado	22,24	23,50	24,75	26,16	29,73	30,50	31,39	31,87	33,47	34,03	33,85	34,09
Consumo mínimo	20,63	21,07	22,58	23,28	26,10	26,61	27,28	27,60	28,96	29,34	29,53	29,82

Fuente: Cochilco, 2015

Tabla 21: Consumo máximo, mínimo y esperado de la minería del Cobre 2015 - 2026, SING.

Global (TWh)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Consumo máximo	14,02	15,24	17,00	17,43	20,10	21,24	21,99	22,25	22,96	23,35	22,86	22,85
Consumo esperado	12,81	13,59	14,73	15,55	17,52	18,13	18,89	19,23	20,45	20,69	20,38	20,53
Consumo mínimo	12,33	12,52	13,83	14,21	15,80	16,15	16,70	16,89	19,04	18,02	18,03	18,21

Fuente: Cochilco, 2015

Tabla 22: Consumo máximo, mínimo y esperado de la minería del Cobre 2015 - 2026, SIC.

Global (TWh)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Consumo máximo	10,04	10,63	10,91	11,56	13,61	13,90	13,89	13,96	14,41	14,78	14,80	14,79
Consumo esperado	9,34	9,82	9,94	10,52	12,12	12,28	12,41	12,55	12,94	13,25	13,38	13,47
Consumo mínimo	8,58	8,83	9,03	9,38	10,64	10,77	10,90	11,01	11,39	11,55	11,71	11,81

Fuente: Cochilco, 2015

8.2.2. Proyección de consumo de electricidad según procesos

Tabla 23: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por procesos, país

Procesos (TWh)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Concentradora	13,23	13,56	14,49	14,99	17,54	18,59	19,43	19,68	20,83	21,59	21,95	22,34
Mina Rajo	0,93	0,95	0,99	1,02	1,10	1,09	1,09	1,09	1,13	1,15	1,10	1,11
Mina Subterránea	0,31	0,32	0,32	0,32	0,35	0,37	0,44	0,49	0,55	0,58	0,61	0,60
Fundición	1,22	1,66	1,51	1,64	1,66	1,67	1,67	1,67	1,68	1,67	1,67	1,67
Refinería	0,29	0,31	0,28	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,30
LX-SX-EW	4,51	4,88	4,61	4,90	4,89	4,23	3,92	3,88	3,86	3,47	2,93	2,69
Servicios	1,03	1,05	1,09	1,12	1,22	1,21	1,23	1,25	1,30	1,33	1,29	1,30
Desalinización	0,73	0,77	1,46	1,86	2,67	3,02	3,30	3,51	3,82	3,93	3,99	4,08
TOTAL Esperado	22,24	23,50	24,75	26,16	29,73	30,50	31,39	31,87	33,47	34,03	33,85	34,09

Tabla 24: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por procesos, SING.

Consumo esperado SING	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Concentradora	6,18	6,24	6,92	7,06	8,26	9,17	9,89	10,01	10,81	11,21	11,43	11,70
Mina Rajo	0,68	0,68	0,72	0,73	0,77	0,76	0,76	0,75	0,77	0,77	0,72	0,73
Mina Subterránea	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,11	0,16	0,21	0,24	0,26	0,25
Fundición	0,35	0,67	0,62	0,68	0,70	0,69	0,69	0,68	0,68	0,71	0,71	0,71
Refinería	0,12	0,13	0,10	0,11	0,11	0,13	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12	0,11
LX-SX-EW	4,15	4,48	4,24	4,47	4,41	3,80	3,48	3,45	3,45	3,13	2,61	2,38
Servicios	0,69	0,69	0,73	0,73	0,79	0,78	0,80	0,80	0,84	0,85	0,80	0,81
Desalinización	0,63	0,69	1,38	1,76	2,45	2,77	3,05	3,25	3,56	3,67	3,73	3,82
TOTAL Esperado SING	12,81	13,59	14,73	15,55	17,52	18,13	18,89	19,23	20,45	20,69	20,38	20,53

Tabla 25: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por procesos, SIC.

Consumo esperado SIC	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Concentradora	6,98	7,24	7,50	7,85	9,21	9,35	9,47	9,59	9,95	10,30	10,44	10,56
Mina Rajo	0,25	0,27	0,27	0,29	0,33	0,33	0,33	0,34	0,36	0,38	0,38	0,38
Mina Subterránea	0,31	0,31	0,31	0,32	0,33	0,32	0,33	0,33	0,34	0,34	0,35	0,35
Fundición	0,88	0,99	0,89	0,96	0,96	0,99	0,97	0,99	0,99	0,96	0,96	0,96
Refinería	0,17	0,19	0,17	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
LX-SX-EW	0,34	0,38	0,35	0,42	0,46	0,41	0,42	0,41	0,39	0,32	0,30	0,29
Servicios	0,34	0,37	0,37	0,39	0,43	0,43	0,43	0,45	0,46	0,49	0,49	0,48
Desalinización	0,09	0,08	0,08	0,11	0,23	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
TOTAL Esperado SIC	9,34	9,82	9,94	10,52	12,12	12,28	12,41	12,55	12,94	13,25	13,38	13,47

8.2.3. Proyección de consumo de electricidad según condición

Tabla 26: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre según condición, país.

Condición (TWh)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Base	22,23	23,48	23,95	24,64	25,36	24,52	24,27	23,99	24,17	23,82	23,51	23,28
Probable	0,00	0,00	0,73	1,23	2,11	2,22	2,22	2,25	2,26	2,20	2,02	2,02
Posible	0,00	0,00	0,06	0,24	2,16	3,12	3,86	4,14	5,15	5,63	5,83	6,15
Potencial	0,00	0,00	0,00	0,04	0,08	0,63	1,02	1,47	1,87	2,36	2,48	2,63
Total	22,23	23,48	24,74	26,15	29,71	30,49	31,37	31,86	33,46	34,01	33,83	34,08

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 27: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre según condición, SING

Condición (TWh)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Base	12,81	13,59	13,99	14,48	14,86	14,24	14,00	13,69	13,82	13,53	13,17	12,94
Probable	0,00	0,00	0,73	1,08	1,41	1,43	1,43	1,45	1,46	1,44	1,25	1,26
Posible	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	2,06	2,71	2,95	3,92	4,36	4,54	4,85
Potencial	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,75	1,15	1,25	1,37	1,42	1,47
Total SING	12,81	13,59	14,73	15,55	17,52	18,13	18,89	19,23	20,45	20,69	20,38	20,53

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 28: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre según condición, SIC.

Condición (TWh)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Base	9,34	9,82	9,88	10,09	10,43	10,21	10,20	10,23	10,27	10,22	10,26	10,26
Probable	0,00	0,00	0,00	0,16	0,70	0,79	0,79	0,80	0,81	0,76	0,76	0,76
Posible	0,00	0,00	0,06	0,24	0,92	1,07	1,15	1,19	1,23	1,28	1,29	1,30
Potencial	0,00	0,00	0,00	0,04	0,08	0,22	0,27	0,33	0,63	0,99	1,06	1,16
Total SIC	9,34	9,82	9,94	10,52	12,12	12,28	12,41	12,55	12,94	13,25	13,38	13,47

Fuente: Elaborado por Cochilco

8.2.4. Proyección de consumo de electricidad por tipo de proyecto

Tabla 29: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por tipo de proyecto, país.

Condición (TWh)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Nuevo	2,10	2,52	3,20	3,73	6,83	8,25	9,38	10,09	11,24	11,85	12,10	12,51
Expansión	0,88	1,44	2,16	2,36	2,54	2,64	2,69	2,73	3,02	3,35	3,42	3,36
Reposición	0,00	0,06	0,30	0,51	0,71	0,90	1,23	1,50	2,02	2,15	2,30	2,45
Operando	18,70	18,95	18,56	19,02	19,11	18,21	17,60	17,08	16,72	16,21	15,59	15,35
Total	21,68	22,97	24,22	25,63	29,19	30,01	30,91	31,39	32,99	33,56	33,41	33,67

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 30: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por tipo de proyecto, SING.

Condición (TWh)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Nuevo	1,34	1,58	1,98	2,20	3,54	4,45	5,22	5,65	6,45	6,89	7,06	7,37
Expansión	0,70	1,10	1,40	1,43	1,44	1,45	1,46	1,47	1,48	1,48	1,50	1,50
Reposición	0,00	0,05	0,28	0,34	0,46	0,56	0,85	1,04	1,37	1,36	1,32	1,30
Operando	9,75	9,81	9,32	9,48	9,41	8,74	8,18	7,69	7,46	7,17	6,69	6,47
Total SING	11,79	12,54	12,97	13,46	14,85	15,20	15,71	15,85	16,75	16,90	16,56	16,64

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 31: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por tipo de proyecto, SIC.

Condición (TWh)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Nuevo	0,51	0,68	0,83	1,09	2,58	2,77	2,87	2,95	3,00	3,03	3,05	3,06
Expansión	0,15	0,31	0,42	0,43	0,43	0,53	0,56	0,59	0,86	1,19	1,24	1,18
Reposición	0,00	0,00	0,00	0,15	0,24	0,34	0,38	0,46	0,65	0,82	1,01	1,18
Operando	8,68	8,83	8,69	8,85	8,87	8,65	8,60	8,56	8,43	8,21	8,07	8,06
Total SIC	9,34	9,82	9,94	10,52	12,12	12,28	12,41	12,55	12,94	13,25	13,38	13,47

Fuente: Elaborado por Cochilco

8.2.5. Proyección de consumo de electricidad por regiones

Tabla 32: Proyección consumo eléctrico máximo de la minería del cobre por región 2015 - 2026 (Tera Watts-hora)

Región	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Arica y Parinacota	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Tarapacá	1,91	1,97	2,01	2,01	1,88	2,60	3,03	3,48	3,34	3,46	3,25	3,25
Antofagasta	11,74	12,82	14,53	14,93	17,68	18,14	18,44	18,26	19,12	19,46	19,21	19,21
Atacama	2,53	2,73	2,76	3,23	4,33	4,55	4,54	4,59	4,99	5,36	5,33	5,31
Coquimbo	1,56	1,60	1,69	1,84	2,77	2,83	2,83	2,84	2,84	2,86	2,86	2,87
Metropolitana	1,54	1,56	1,57	1,57	1,57	1,58	1,58	1,58	1,58	1,52	1,52	1,52
Valparaíso	1,44	1,53	1,54	1,54	1,54	1,54	1,49	1,52	1,55	1,58	1,59	1,58
O'Higgins	2,91	3,15	3,29	3,31	3,33	3,34	3,38	3,37	3,39	3,39	3,43	3,44
Total País	23,64	25,38	27,41	28,45	33,12	34,60	35,32	35,66	36,83	37,64	37,20	37,19

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 33: Proyección consumo eléctrico esperado de la minería del cobre por región 2015 – 2026 (Tera Watts-hora)

Región	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Arica y Parinacota	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Tarapacá	1,79	1,83	1,79	1,84	1,73	2,00	2,32	2,73	2,83	2,93	2,79	2,85
Antofagasta	11,00	11,74	12,91	13,69	15,77	16,12	16,55	16,49	17,60	17,74	17,58	17,67
Atacama	2,36	2,51	2,50	2,85	3,78	3,83	3,88	3,97	4,27	4,55	4,62	4,69
Coquimbo	1,45	1,49	1,55	1,66	2,30	2,40	2,48	2,52	2,56	2,61	2,61	2,64
Metropolitana	1,43	1,45	1,45	1,46	1,47	1,47	1,47	1,47	1,48	1,42	1,42	1,43
Valparaíso	1,37	1,42	1,40	1,44	1,44	1,44	1,39	1,42	1,45	1,48	1,48	1,48
O'Higgins	2,74	2,95	3,04	3,11	3,13	3,14	3,19	3,17	3,18	3,19	3,23	3,24
Total País	22,15	23,41	24,67	26,07	29,64	30,41	31,30	31,78	33,38	33,94	33,76	34,00

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 34: Proyección del consumo eléctrico mínimo de la minería del cobre 2015 - 2026 (Tera Watts-hora)

Región	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Arica y Parinacota	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
Tarapacá	1,66	1,65	1,64	1,64	1,55	1,68	1,91	2,18	2,57	2,32	2,27	2,31
Antofagasta	10,30	10,49	11,82	12,16	13,82	14,07	14,38	14,32	16,09	15,38	15,46	15,61
Atacama	2,16	2,25	2,28	2,51	3,29	3,30	3,37	3,43	3,69	3,84	3,90	3,96
Coquimbo	1,31	1,34	1,39	1,47	1,93	2,02	2,09	2,13	2,22	2,25	2,30	2,34
Metropolitana	1,30	1,31	1,31	1,31	1,32	1,32	1,32	1,32	1,33	1,27	1,27	1,28
Valparaíso	1,28	1,28	1,29	1,30	1,30	1,29	1,25	1,27	1,30	1,33	1,33	1,33
O'Higgins	2,52	2,65	2,77	2,79	2,81	2,82	2,86	2,84	2,85	2,86	2,90	2,90
Total País	20,55	20,99	22,50	23,20	26,02	26,53	27,20	27,52	30,07	29,26	29,45	29,74

Fuente: Elaborado por Cochilco

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

Rosana Brantes Abarca

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

Jorge Cantallopts Araya

Director de Estudios y Políticas Públicas

Diciembre / 2015

