



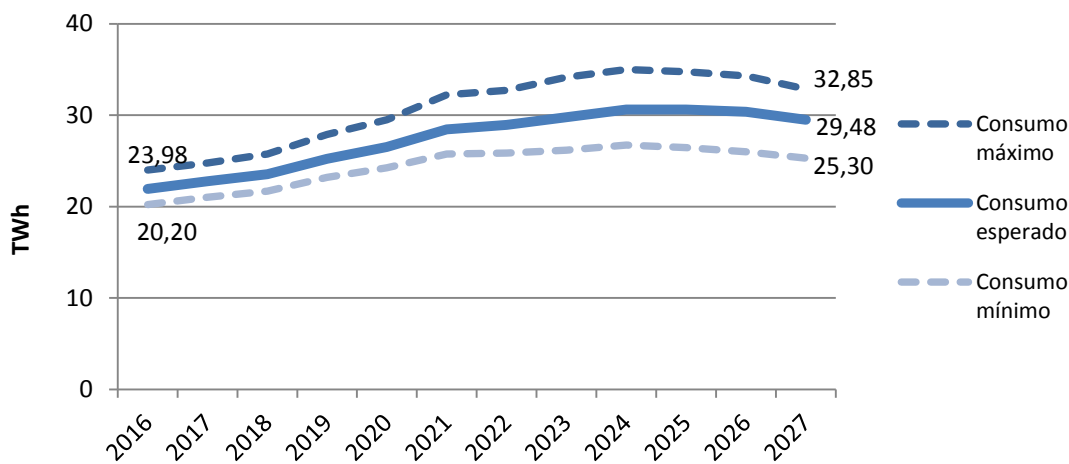
Proyección del consumo de energía eléctrica en la minería del cobre 2016-2027

DE 37/2016

Resumen Ejecutivo

El presente informe tiene por objetivo proyectar el consumo eléctrico de la minería del cobre en el periodo 2016 – 2027. 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 2027 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 2016 - 2027 según los casos Máximo, Esperado y Mínimo (Tera Watts-hora)



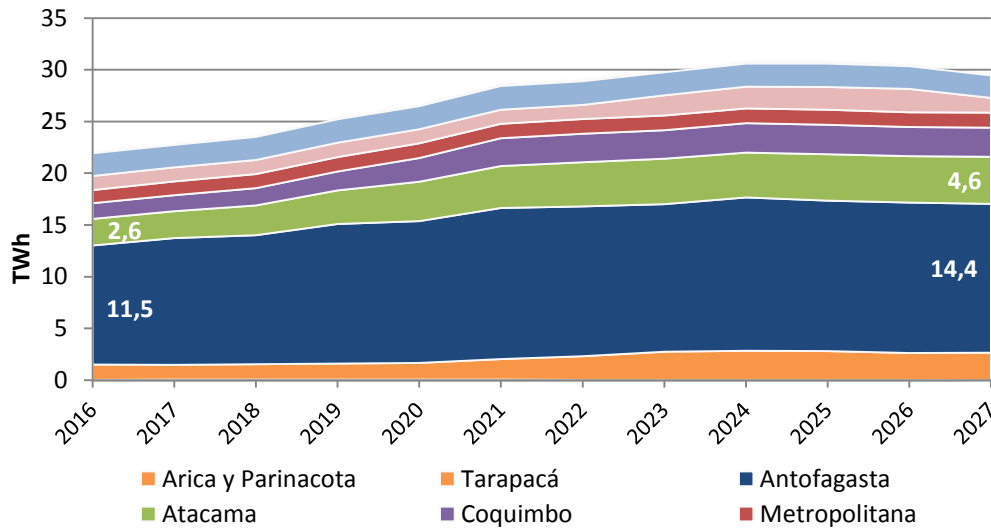
Fuente: Elaborado por Cochilco

En el caso del consumo eléctrico esperado, que considera incertidumbre en los proyectos, se proyecta crecerá de 21,9 TWh a 29,5 TWh, lo que representa un aumento de un 34,4% en el período 2016 – 2027, a una tasa de 2,7% 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 37,0%, pasando de un consumo de 24,0 TWh en 2016 a un consumo de 32,9 TWh en 2027, con una tasa de crecimiento de 2,9% 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 del 25,3% a una tasa del 2,1% anual, alcanzando un consumo de 25,3 TWh en 2027.

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 1.093 MW en el período 2017 – 2027, de las cuales 586 MW se estiman para el SING y 507 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 el 2016 consume 11,5 TWh y representa el 52% del consumo nacional de energía, esta relación prácticamente se mantiene sólo con una leve baja al año 2027 en que consumirá 14,4 TWh, lo que representará el 49% del consumo total de energía eléctrica esperado por parte de la minería en el país ese año.

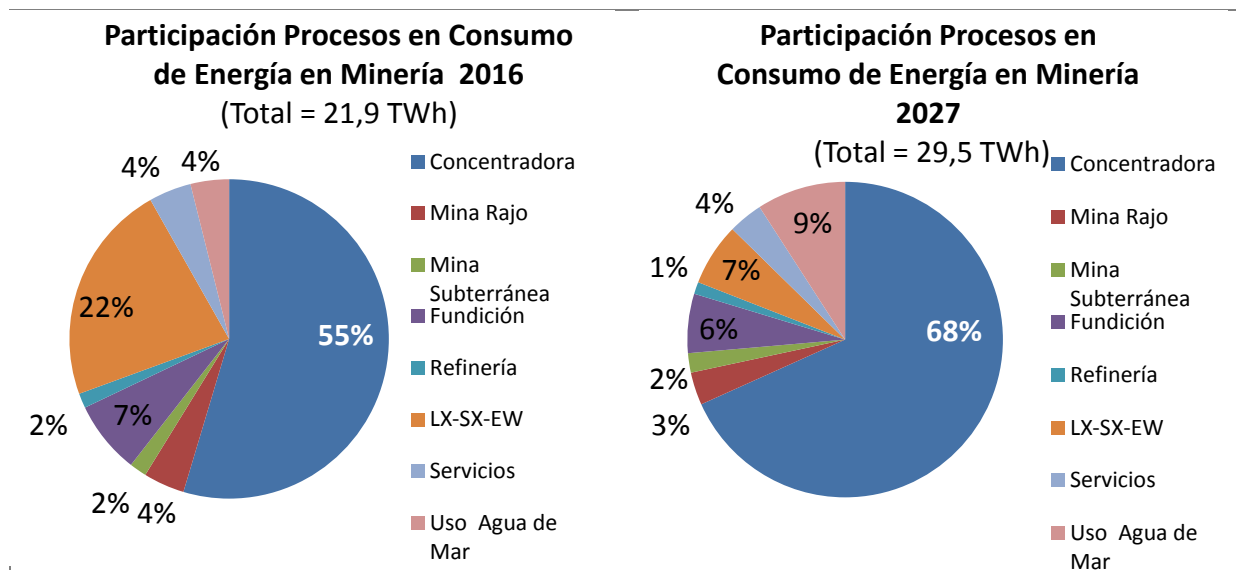
Figura 2: Consumo eléctrico esperado de la minería del cobre 2016 - 2027 por regiones (Tera Watts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco

La región de Atacama que en el 2016 representa el 12% del consumo minero nacional de energía eléctrica, tendrá un importante aumento al 2026 de un 77 % en el consumo de energía eléctrica consumiendo 4,6 TWh, que representa un 15% del consumo minero de energía eléctrica el 2027. La región que le sigue en intensidad de consumo de energía eléctrica es O'Higgins, que en el 2016 representa el 10% del consumo minero nacional con 2,2 TWh y que en el 2026 se proyecta consumirá 2,2 Twh lo que representará un 7,4% del total de energía eléctrica consumida por la minería del cobre 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 12,0 TWh que representa el 55% de la energía demandada respecto del total de los procesos mineros, esta relación se acentuará al año 2027 en el que este consumo llegará a 20,1 TWh lo que representará el 68% 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 importante reducción en el consumo total de electricidad en el proceso de LX-SX-EW de un 61% en periodo 2016 – 2027, debido fundamentalmente por el término de la vida útil de varias operaciones hidrometalúrgicas que producen cátodos SX-EW.

Al año 2027, 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 3,2 veces su consumo en el periodo 2016 – 2027; de 0,86 TWh en 2016 a 2,7 TWh en 2027, convirtiéndose en el segundo proceso luego de la concentración que más demandará energía con el 9% del consumo esperado ese año.

Finalmente, cuando se analizan los proyectos según su condición, los proyectos base en 2016 consumen 2,9 TWh lo que representa el 100% de la demanda de electricidad minera, en tanto en 2027 consumen 21,8 TWh lo que explicaría el 73,9% de la demanda de electricidad minera ese año. En tanto los proyectos probables, posibles y potenciales, podrían empezar a adquirir significación en la demanda de electricidad el año 2020, alcanzando 3,7 TWh y al año 2027 un consumo de 7,7 TWh, explicando el 26,1% 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 2016 - 2027	7
2.3. Cálculo del consumo esperado nacional de electricidad en minería 2016 - 2027	8
2.4. Cálculo de consumo máximo nacional de electricidad en minería	13
2.5. Cálculo del consumo mínimo nacional de electricidad en minería	13
3. Proyección del consumo anual de energía eléctrica al año 2027	14
3.1. Proyección nacional	14
3.2. Proyección por Sistemas Interconectados SING y SIC	16
3.3. Proyección por regiones	17
3.4. Proyección de demanda por potencia eléctrica	20
4. Análisis del consumo eléctrico esperado según condicionalidad de los proyectos al 2027	22
4.1. Análisis a nivel país	22
4.2. Análisis comparativo del SING y SIC	23
4.3. Análisis regional	24
5. Análisis del consumo eléctrico esperado según Tipo al año 2027	27
5.1. Análisis nivel país	27
5.2. Análisis comparativo del SING y SIC	28
6. Análisis del consumo eléctrico esperado según procesos al 2027	30
6.1. Distribución del consumo eléctrico esperado a nivel país	30
6.2. Análisis comparativo del SING y SIC	32
7. Conclusiones	34
8. Anexos	37
8.1. Anexos capítulo 2: Metodología	37
8.2. Anexo con cifras de proyección de consumo esperado de electricidad 2016 – 2027 en diferentes categorías	46



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 2015 el 9% de los costos operacionales de las empresas de la gran minería del cobre en Chile. En promedio en los últimos 15 años la minería del cobre ha tenido una participación del 32,4% en el consumo nacional de energía eléctrica.

La actividad minera se verá situada en un escenario en que la producción de cobre en los próximos años será dominada por la producción de concentrados de cobre (proceso que tiene un uso intensivo de energía eléctrica), por tanto, la demanda de energía eléctrica también se incrementará en los próximos años.

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 2027, 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 2027 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 2016 y 2027 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 2016 – 2027 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) Se desarrolla 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 2016 – 2027. 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 2016 -2025* publicado por Cochilco en noviembre 2016.

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 2016 -2025*. 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 2016 – 2027, 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 minera 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 2016 - 2027

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 de manera determinística los coeficientes unitarios de consumo de electricidad por procesos de la minería del cobre en el periodo 2016 - 2027. 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 – 2015. 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. Cabe señalar que en los coeficientes unitarios de energía en Servicios a partir del 2011 se ha ido incorporando el consumo de electricidad por concepto de uso de agua de mar, por tanto y a diferencia de informes anteriores, en esta ocasión la extrapolación en Servicios se realizó en base a un ajuste logarítmico sólo de período 2001 al 2010, y así no hacer doble proyección respecto a uso de agua de mar, que en este informe está como ítem aparte.

Un punto importante de destacar es que en esta proyección determinística de coeficientes unitarios de energía para cada uno de los procesos mineros, no aborda los planes de eficiencia energética que



puedan implementarse a futuro tanto en operaciones existentes y con mayor razón en proyectos nuevos e incidir en un menor consumo de electricidad. Ello se analizará en futuros trabajos de Cochilco, como poder integrar la variable de eficiencia energética al modelamiento de proyecciones de consumo de electricidad, puesto es una tema que hay que estudiar en detalle y analizar las medidas de eficiencia energéticas no tan sólo por sus ahorros energéticos sino también los horizontes de tiempo necesarios para implementarlas por ejemplo en operaciones ya existentes.

Tabla 1: Proyección de consumos unitarios de electricidad por procesos 2016 - 2027

PROCESOS	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Mina Rajo KWh/ TMF Cu	187,4	188,7	189,9	191,0	192,1	193,1	194,0	194,9	195,8	196,7	197,5	198,2
Mina Subterránea KWh/ TMF Cu	632,6	640,6	648,1	655,3	662,0	668,5	674,6	680,5	686,1	691,5	696,7	701,7
Concentradora KWh/TM min. Proce.	21,9	22,0	22,1	22,1	22,2	22,3	22,3	22,4	22,5	22,5	22,6	22,6
Fundición KWh/TM Conc. Proce.	334,0	334,1	334,3	334,4	334,6	334,7	334,8	334,9	335,0	335,1	335,2	335,3
Refinería KWh/ TMF Cu	364,1	364,7	365,2	365,8	366,2	366,7	367,1	367,6	368,0	368,3	368,7	369,1
LX/SX/EW KWh/ TMF Cu	3.094	3.104	3.114	3.124	3.133	3.141	3.149	3.157	3.165	3.172	3.179	3.185
Servicios KWh/ TMF Cu	170,7	171,5	172,2	173,0	173,6	174,3	174,9	175,5	176,0	176,6	177,1	177,6

Fuente: Elaborado por Cochilco

Para el caso del proceso Uso Agua de Mar (desalación y/o impulsión), el presente informe utiliza la metodología descrita en el informe *Proyección del Consumo de Agua de la Minería del Cobre en Chile al 2027*, publicado por Cochilco en 2016 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 2016 - 2027

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 2016 – 2027
- $Beta$: 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.

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



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 2016 – 2027. Adicionalmente, 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 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 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.



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 primer año de producción solo producirá un 61% 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.

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

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	0,72	0,80	0,82	0,84	0,85	0,86
Potencial/Factibilidad	0,38	0,50	0,61	0,68	0,72	0,80	0,82	0,84	0,85	0,86	0,88	0,90
Posible/Factibilidad	0,61	0,68	0,72	0,80	0,82	0,84	0,85	0,86	0,88	0,90	0,90	0,91
Probable	0,80	0,82	0,84	0,85	0,86	0,88	0,90	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92
Base	0,84	0,85	0,86	0,88	0,90	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92	0,92	0,92

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. Para este caso del escenario mínimo, se consideró un mayor retraso en las decisiones de inversión para los proyectos en las categorías posibles y potencial, lo que si bien no elimina los proyectos, los deja con una menor probabilidad de materialización.

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	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Potencial/Factibilidad	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Posible/Factibilidad	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
Probable	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Base	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	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 2027.
- $Producción_Max_{ijt}$: 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 2016 se encuentran en etapa de construcción.



3. Proyección del consumo anual de energía eléctrica al año 2027

En este capítulo se muestra el resultado global de la proyección del consumo de energía eléctrica en la minería del cobre en el período 2016 – 2027, 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

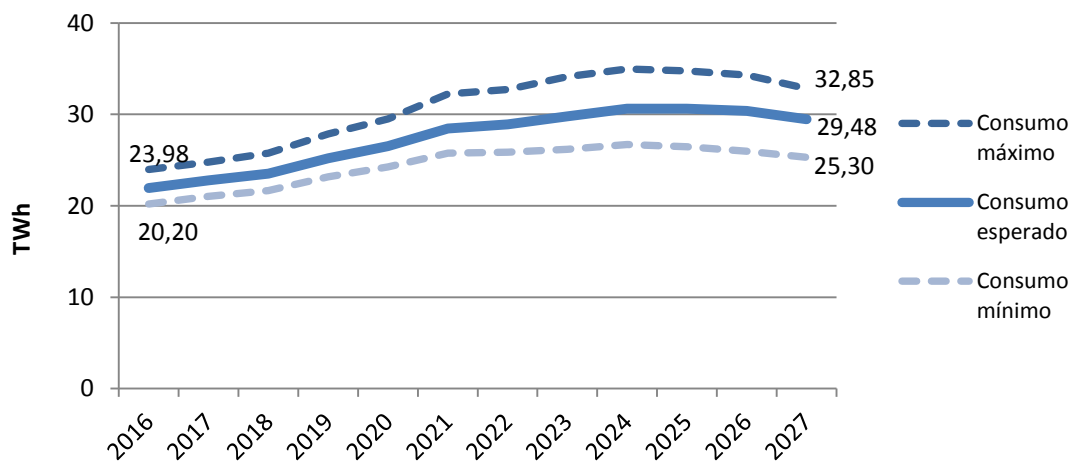
El resultado a nivel país se muestra en la tabla 5 y en la figura 4.

Tabla 5: Proyección del consumo eléctrico nacional de la minería del cobre según los casos Máximo, Esperado y Mínimo 2016 - 2027 (Tera Watts-hora)

PAÍS	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Consumo máximo	23,98	24,77	25,75	27,87	29,51	32,23	32,73	34,15	34,98	34,76	34,31	32,85
Consumo esperado	21,94	22,77	23,54	25,22	26,51	28,45	28,93	29,78	30,63	30,63	30,38	29,48
Consumo mínimo	20,20	21,02	21,67	23,17	24,24	25,76	25,87	26,18	26,72	26,46	25,98	25,30

Fuente: Elaborado por Cochilco

Figura 4: Consumo eléctrico nacional de la minería del cobre 2016 - 2027 según los casos Máximo, Esperado y Mínimo (Tera Watts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco



En el caso máximo el consumo eléctrico crecería en un 37,0% en el período 2016 – 2027, a una tasa anual del 2,9%. En tanto en el caso esperado, que recoge las incertidumbres del desarrollo de los proyectos, el consumo crecería en un 34,4%, equivalente a una tasa del 2,7% anual.

Cabe señalar que la diferencia de consumo al año 2027 entre el caso máximo y el esperado es de 3,4 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 4,2 TWh. Es decir, esta es la cantidad adicional de energía que con alta probabilidad demandará la minería del cobre al año 2027. 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).

Un punto importante a destacar es que en las proyecciones de demanda de energía del sector minero, se ha tomado en cuenta el envejecimiento de las minas pero no aborda los planes de eficiencia energética que puedan implementarse a futuro tanto en operaciones existentes y con mayor razón en proyectos nuevos e incidir en un menor consumo de electricidad.

Cabe mencionar al respecto, que dentro de las acciones legislativas que está impulsando el estado, se encuentra la Ley de Eficiencia Energética, cuyo anteproyecto está en etapa de elaboración y que dentro de los instrumentos básicos que contempla esta nueva Ley para fomentar la Eficiencia Energética, se tiene a los Sistemas de Gestión de la Energía (SGE) y las Auditorías Energéticas.

En este contexto, el Consejo Minero (CM), como representante de la gran minería, y el Ministerio de Energía, firmaron en 2015 un Convenio de colaboración orientado a impulsar un uso cada vez más eficiente de la energía en las empresas que componen esta asociación y a fomentar iniciativas que contribuyan a la innovación y la cultura en el buen uso de la energía, siguiendo las mejores prácticas internacionales en la materia. Es así como el sector minero fue el primero en firmar un acuerdo de este tipo, anticipando la implementación de las normas que se establecerán, respecto de los grandes consumidores de energía, en el proyecto de Ley de Eficiencia Energética, en el marco de la Agenda de Energía del Ministerio de Energía.

Al respecto, las auditorías energéticas a las que la industria minera (66% de mineras pertenecientes a Consejo Minero) se sometió en 2015, muestran según estimaciones del ministerio de energía, un ahorro potencial de un 5%. Se mostraron 226 oportunidades que contaban con ahorros energéticos declarados y estas oportunidades son tanto de Recambio y Mejoramiento tecnológico, como de Gestión operacional y administrativa y de Autoconsumo energético (uso ERNC y/o cogeneración). Entonces si esto se puede aplicar a operaciones existentes, es más válido aún para los nuevos proyectos que vienen.³

El punto de eficiencia energética en minería será abordado próximamente en estudios de Cochilco y se analizará como poder incorporarlos en futuros informes de proyecciones de energía eléctrica.

En todo los casos igualmente constituye un desafío para la minería del cobre poder mantener y/o reducir su consumo unitario de energía en el tiempo, por la situación estructural que enfrenta de

³ Fuente: Ministerio de Energía, 2016



envejecimiento de las minas, sin embargo, es importante que la industria minera del cobre siga incrementando la eficiencia energética en aquellas faenas que ya han comenzado en esta senda y desarrollar esta línea de trabajo en las faenas donde no se ha realizado aún.

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 2016 – 2027 (Tera Watts-hora)

SING	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Consumo máximo	14,24	14,93	15,34	16,75	17,10	18,86	18,98	19,19	19,99	19,58	19,30	19,06
Consumo esperado	13,01	13,74	14,00	15,09	15,38	16,65	16,81	17,01	17,66	17,35	17,15	17,05
Consumo mínimo	12,01	12,74	12,93	13,90	14,09	15,12	15,07	14,99	15,51	15,11	14,78	14,57

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 2016 – 2027 (Tera Watts-hora)

SIC	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Consumo máximo	9,73	9,82	10,39	11,11	12,39	13,35	13,73	14,94	14,98	15,16	14,98	13,77
Consumo esperado	8,92	9,01	9,52	10,11	11,12	11,79	12,10	12,75	12,95	13,26	13,21	12,41
Consumo mínimo	8,18	8,26	8,73	9,25	10,14	10,62	10,78	11,17	11,19	11,34	11,19	10,72

Fuente: Elaborado por Cochilco

Comparando ambos sistemas se tiene:

- En el año 2016 el consumo esperado en el SING es un 45,9% superior al del SIC y en el año 2027 esta relación disminuirá y será de un 37,3%. Al observar Tablas 6 y 7 se observa que la energía utilizada proveniente del SIC evidencia un leve mayor crecimiento al 2027 que la del SING, teniendo el SIC una tasa de crecimiento del consumo esperado de 3,1% en tanto en el SIC el consumo anual crecería al 2,5% en el mismo período.
- El mayor incremento del consumo en el SING se manifiesta en el mediano plazo, con una tasa de crecimiento anual del 2,6% en el período 2016 – 2021 y luego se mantiene prácticamente constante con una tasa de crecimiento anual de 0,04% en el período 2022 – 2027.
- En tanto, para el SIC entre el 2016 al 2021 hay un crecimiento de 2,6 % y de un 0,2% anual en el período 2022 – 2027. A su vez, se puede visualizar un máximo de consumo de energía eléctrica al año 2025 y luego una leve baja al 2027, al respecto cabe señalar, que muchos de

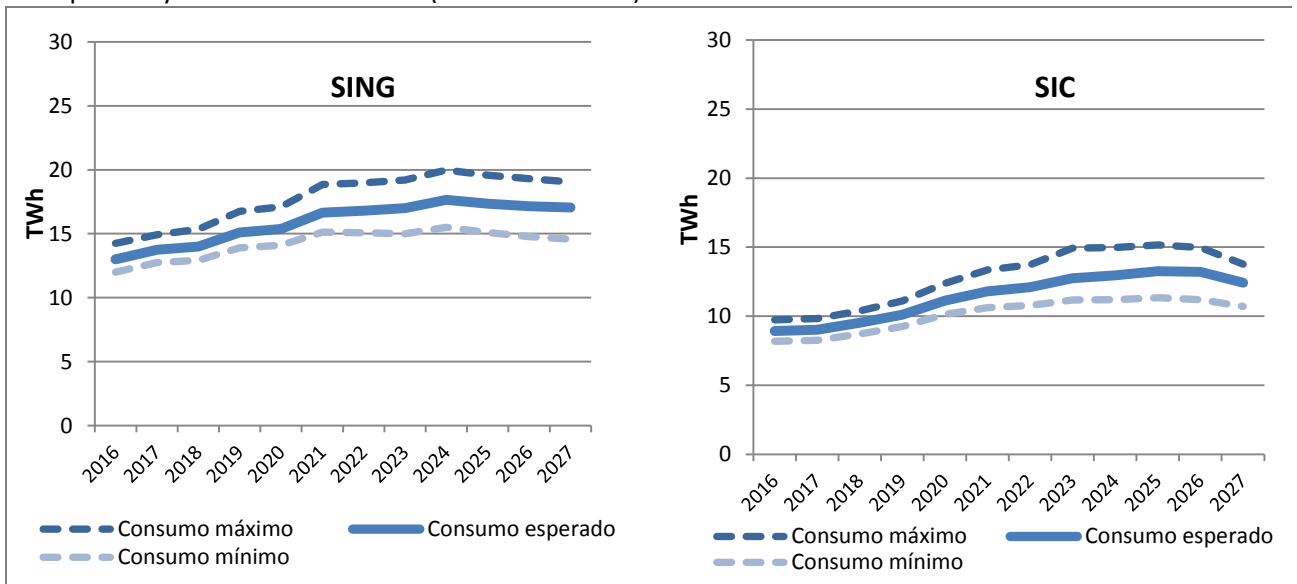


los proyectos entran con leyes altas para luego centrar sus producciones en vetas con leyes menores, por tanto las producciones son más altas en unos años y menores en otros, tendiendo a estabilizarse pasado avanzan los años. Es así como el 2025 se proyecta una mayor producción de cobre y de mayor mineral a procesa en el SIC y por tanto se estima una mayor demanda de energía.

- d) Seguirá un uso más intensivo de energía en el SING versus al SIC, si bien ambos sistemas muestran crecimiento, el mayor consumo se da en el SING por la entrada de nuevos y más importantes proyectos en ese sistema. El mayor consumo de corto plazo se explica por la entrada en operación 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 2016 - 2027 (Tera Watts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco

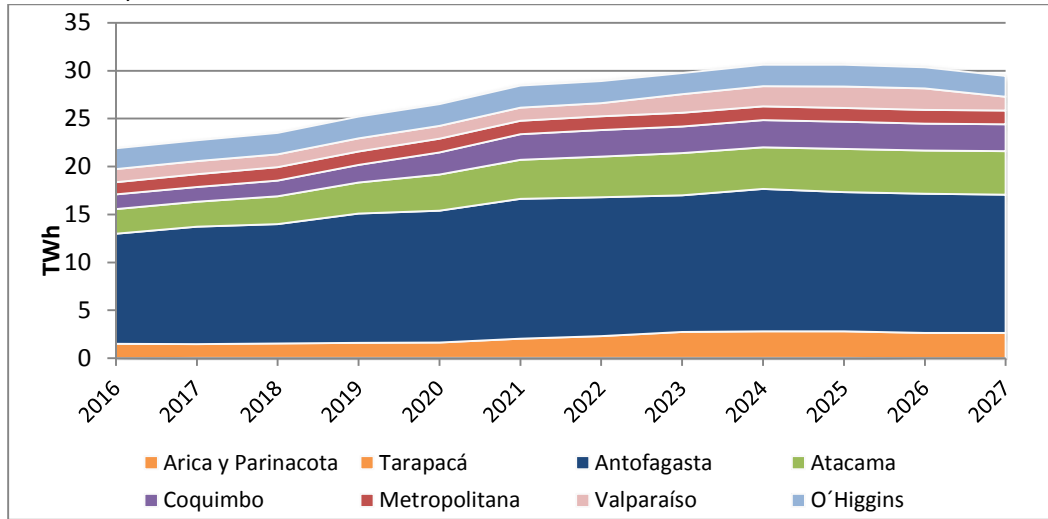
3.3. Proyección por regiones

Los resultados de la proyección del consumo eléctrico esperado por regiones para el período 2016 - 2027 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 en el 2016 son la región de Antofagasta, Atacama y O'Higgins teniendo un sostenido crecimiento al 2027. Sin embargo, ya en el año 2020 el consumo esperado minero de electricidad de Coquimbo supera a O'Higgins y desde el año 2023 Tarapacá también tiene un mayor consumo de que O'higgins, es así como en el año 2027 las tres regiones con uso más intensivo de energía eléctrica serán Antofagasta, seguida de Atacama y en tercer lugar estará Coquimbo.



Figura 6: Consumo eléctrico esperado de la minería del cobre 2016 - 2027 por regiones (Tera Watts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 8: Consumo eléctrico esperado de la minería del cobre por región 2016 – 2027 (Tera Watts-hora)

Región	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Arica y Parinacota	0,02	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,00
Tarapacá	1,49	1,43	1,50	1,58	1,61	2,01	2,27	2,72	2,79	2,77	2,62	2,64
Antofagasta	11,50	12,27	12,46	13,48	13,73	14,60	14,51	14,26	14,83	14,55	14,52	14,41
Atacama	2,57	2,60	2,90	3,24	3,79	4,06	4,25	4,38	4,34	4,50	4,51	4,55
Coquimbo	1,54	1,54	1,65	1,82	2,32	2,67	2,76	2,77	2,83	2,84	2,80	2,82
Metropolitana	1,25	1,34	1,38	1,41	1,42	1,42	1,43	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44
Valparaíso	1,39	1,35	1,36	1,38	1,36	1,36	1,37	1,93	2,12	2,21	2,26	1,42
O'Higgins	2,17	2,19	2,23	2,26	2,24	2,29	2,29	2,23	2,22	2,27	2,20	2,19
Total País	21,92	22,75	23,52	25,20	26,50	28,43	28,91	29,76	30,61	30,61	30,36	29,47

Fuente: Elaborado por Cochilco

Antofagasta en 2016 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 2016 esta región presenta un consumo de 11,5 TWh lo que representa el 52,4 % del consumo nacional de energía, esta relación prácticamente se mantiene sólo con una leve disminución al año 2027, en que la región muestra un crecimiento a una tasa del 2,1% anual y consumirá un 25,3% más que en año 2016 con 14,4 TWh, lo que representará el 48,9 % del consumo esperado total de la minería del cobre en el país el 2027.

La región que le sigue en intensidad de consumo de energía eléctrica es la región de Atacama que en el 2016 representa el 11,7% del consumo minero nacional de energía eléctrica, presenta un



importante crecimiento del 77,0% al 2027, a una tasa del 5,3% anual llegando así a 4,6 TWh lo que significará el 15,4 % del consumo nacional de electricidad minero el 2027.

La tercera región que concentra la demanda de energía eléctrica minera en el 2016 es O'Higgins, que representa el 9,9% del consumo minero nacional, sin embargo al 2027 su participación relativa irá disminuyendo llegando a 2,2 TWh lo que representará un 7,4% del consumo nacional de electricidad por parte de la minería el 2027.

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 2027 llega a 2,8 TWh lo que significará un incremento del 83,6% respecto al consumo de la región en el año 2016 y representará un 9,6% del total de demanda de electricidad minera ese año.

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 2016 - 2027 (Tera Watts-hora)

Región	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Arica y Parinacota	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,00
Tarapacá	1,62	1,57	1,65	1,73	1,76	2,55	2,91	3,46	3,46	3,36	3,12	3,12
Antofagasta	12,60	13,32	13,66	14,98	15,30	16,28	16,04	15,70	16,50	16,19	16,16	15,93
Atacama	2,80	2,83	3,16	3,62	4,25	4,74	5,01	5,11	5,01	5,12	5,09	5,12
Coquimbo	1,67	1,67	1,81	2,00	2,69	3,11	3,17	3,15	3,19	3,20	3,14	3,14
Metropolitana	1,36	1,45	1,50	1,53	1,53	1,54	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,57
Valparaíso	1,51	1,46	1,48	1,50	1,47	1,47	1,49	2,68	2,78	2,80	2,79	1,56
O'Higgins	2,38	2,40	2,44	2,46	2,44	2,49	2,50	2,43	2,43	2,47	2,40	2,39
Total País	23,97	24,75	25,73	27,86	29,49	32,21	32,71	34,13	34,96	34,74	34,29	32,82

Fuente: Elaborado por Cochilco



Tabla 10: Proyección del consumo eléctrico mínimo de la minería del cobre por regiones 2016 - 2027 (Tera Watts-hora)

Región	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Arica y Parinacota	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,00
Tarapacá	1,36	1,32	1,38	1,45	1,48	1,79	1,95	2,16	2,15	2,10	1,88	1,87
Antofagasta	10,63	11,39	11,52	12,42	12,58	13,30	13,10	12,81	13,33	12,99	12,89	12,69
Atacama	2,37	2,39	2,66	2,97	3,47	3,63	3,71	3,74	3,66	3,75	3,72	3,74
Coquimbo	1,40	1,40	1,51	1,67	2,09	2,37	2,41	2,39	2,42	2,42	2,38	2,38
Metropolitana	1,14	1,22	1,26	1,29	1,29	1,29	1,31	1,31	1,31	1,31	1,32	1,32
Valparaíso	1,27	1,23	1,24	1,26	1,24	1,24	1,25	1,69	1,76	1,77	1,76	1,28
O'Higgins	2,00	2,02	2,05	2,07	2,05	2,09	2,10	2,04	2,04	2,08	2,02	2,01
Total País	20,19	21,00	21,66	23,16	24,23	25,74	25,85	26,17	26,70	26,45	25,97	25,29

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 1093 MW en el período 2017 – 2027, de las cuales 586 MW se estiman para el SING y 507 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.

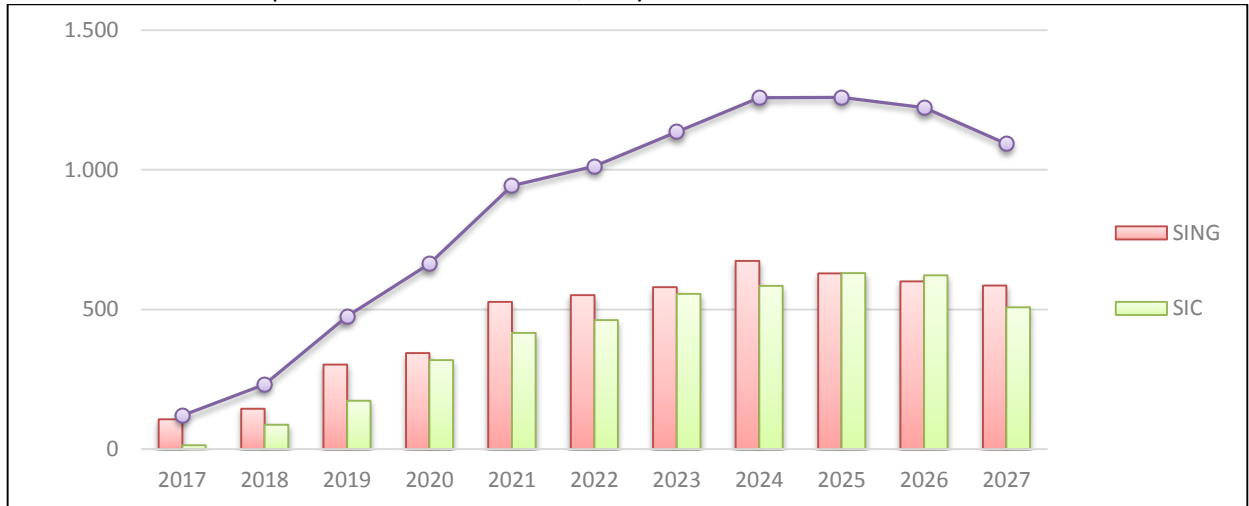
Tabla 11: Proyección de la demanda acumulada de potencia eléctrica requerida por la minería del cobre a partir del 2017 en el SING, SIC y total nacional

Mega Watts	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
SING	106	144	302	344	527	551	580	674	629	601	586
SIC	14	87	173	319	416	462	556	585	630	622	507
TOTAL	120	231	475	663	943	1.013	1.136	1.259	1.259	1.222	1.093

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 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

Figura 7: Proyección de la demanda acumulada de potencia eléctrica, medida en MW, requerida por la minería del cobre a partir del 2017 en el SING, SIC y total nacional.



Fuente: Elaborado por 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, que hará posible ampliar las capacidades actuales y según estimaciones del ministerio de energía, al mediano plazo con menores precios de suministro de electricidad que lo que se había observado en los últimos años. Un primer paso ha sido la impulsión de la interconexión SING – SIC con la línea Cardones Polpaico, que se estima estará en operación a fines del 2017, también existen iniciativas que se esperan mejoren y faciliten la integración de diversos tipos de energía como las Energías Renovables No Convencionales (ERNC), como lo es la recién promulgada Ley de Transmisión, marco legal que ya mostró resultados de un fuerte incremento de adjudicación de proyectos de ERNC en la pasada licitación de julio 2016 . Sin embargo, ello plantea, un desafío país, de poder lograr que el Sistema tenga la flexibilidad suficiente para la integración y uso de estas energías ERNC.

4. Análisis del consumo eléctrico esperado según condicionalidad de los proyectos al 2027

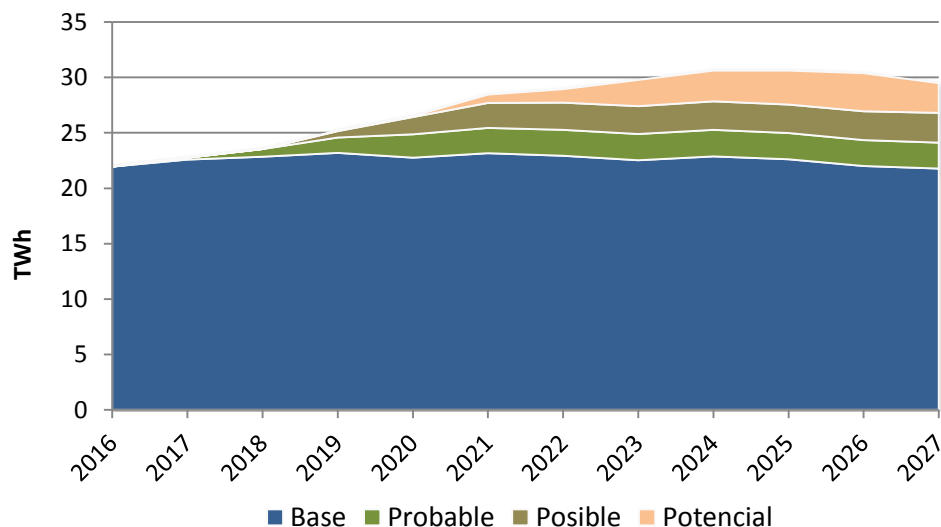
Como se ha señalado en los criterios metodológicos aplicados en este informe, el consumo eléctrico esperado tiene su base más cierta en las actuales operaciones y en los proyectos ya en construcción. En cambio, el consumo eléctrico futuro que tendrían los proyectos que aún no cuentan con la decisión 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 2027 según la condicionalidad de operaciones y proyectos de la minería del cobre (TeraWatts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco

El consumo eléctrico esperado de las operaciones en condición base muestra un leve crecimiento en el periodo 2016 – 2021 y alcanza un máximo de consumo de 23,2 TWh el año 2021. A partir del año 2022 el consumo eléctrico esperado comienza a declinar hasta alcanzar un consumo esperado de 21,8 TWh el año 2027.

En relación a los proyectos (probables, posibles, potenciales) comienzan en su conjunto a adquirir significación desde el año 2020 cuando explica el 14,1% del consumo esperado, creciendo sostenidamente para llegar a significar el 26,1% del consumo esperado al año 2027.



Tabla 12: Proyección del consumo eléctrico nacional de la minería del cobre según la condicionalidad de operaciones y proyectos 2016 - 2027 (Tera Watts-hora)

Condición	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Base	21,94	22,58	22,84	23,18	22,77	23,15	22,94	22,54	22,89	22,60	22,01	21,78
Probable	0,00	0,19	0,69	1,39	2,09	2,29	2,33	2,36	2,39	2,36	2,34	2,35
Posible	0,00	0,00	0,00	0,58	1,57	2,26	2,45	2,51	2,56	2,59	2,61	2,66
Potencial	0,00	0,00	0,00	0,06	0,08	0,75	1,20	2,37	2,79	3,06	3,43	2,69
Total	21,94	22,77	23,54	25,22	26,51	28,45	28,93	29,78	30,63	30,63	30,38	29,48

Fuente: Elaborado por Cochilco

Los proyectos probables comienzan ya con demanda por energía en el año 2017 aunque con una muy baja significación global de energía de los proyectos, con 0,2 TWh que representa un 0,8% del consumo esperado, alcanzando un consumo de 2,4 TWh en 2027, lo que representará un 8,0 % 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 2019, con 0,6 TWh iniciando un crecimiento sostenido por el resto del período a medida que se vayan poniendo en marcha hasta tener alcanzar 2,4 TWh el 2027 lo que explica el 9% del consumo esperado total.

Por su parte, la demanda de los proyectos en condición potencial comienzan a demandar energía el 2019 con un rápido crecimiento que alcanza en el año 2027 un consumo esperado de 2,7 TWh, correspondiente al 9,1% del consumo esperado total y es el más importante en demanda de energía eléctrica seguido de la demanda de las operaciones base.

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

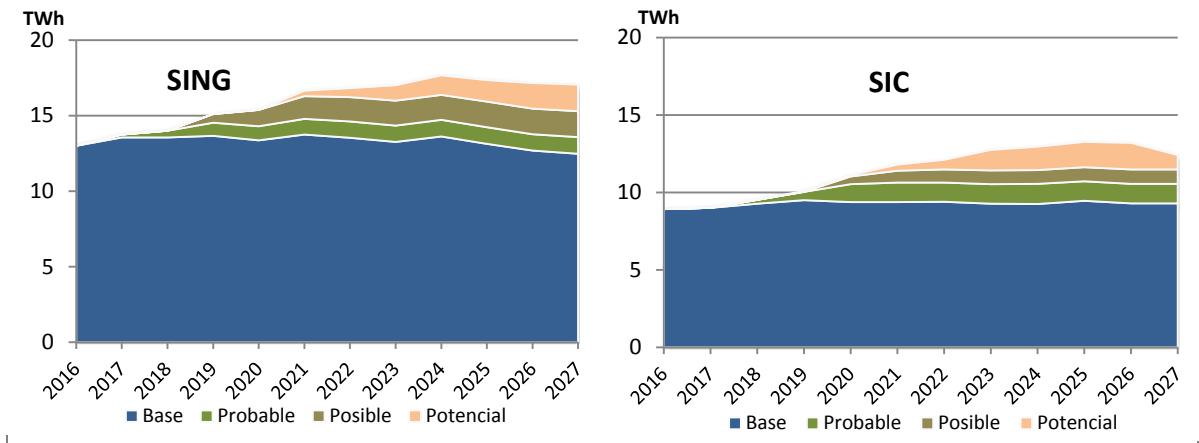
- En el corto plazo la demanda eléctrica crece por el crecimiento de las operaciones base y por la puesta en marcha reciente de proyectos y que irán alcanzando su capacidad productiva de diseño. Este mayor consumo de energía eléctrica será necesariamente atendido con la oferta actualmente disponible.
- 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 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 en 2016 la demanda de energía eléctrica se centra mayormente en el SING con 13,01 TWh versus 8,92 TWh demandados en el SIC. Esta tendencia se mantendrá al año 2027, año en el que se demandarán 17,05 TWh en el SING versus 12,41 TWh en el SIC.

El consumo base en el SING muestra un incremento de 5,0% en la demanda de energía hasta el año 2019, el que irá declinando sostenidamente en los años siguientes a una tasa del 0,62%, para situarse en un nivel de 12,48 TWh al año 2027, un 4,1% menos que en 2016.

Las razón de dicha declinación se encuentra en la salida de operaciones y/o baja en las producciones significativas, principalmente en la línea hidrometalurgia (Michilla, Chuquicamata Mina Sur, Radomiro Tomic Óxidos, Mantos blancos, Quebrada Blanca, entre otras), además del rajo de Chuquicamata en línea concentrados.

En tanto, en el SIC el consumo base tiene un leve incremento al año 2027 del 4,2% respecto al 2016, llegando a 9,29 TWh el 2027 con una tasa de crecimiento del 0,37% anual.

Como el consumo base en ambos Sistemas tiene leves variaciones, 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 13% del consumo eléctrico esperado del SING y el 16% del SIC. Más adelante, al año 2027 esta participación se incrementaría al 27% del consumo del SING y al 25% del SIC.

4.3. Análisis regional

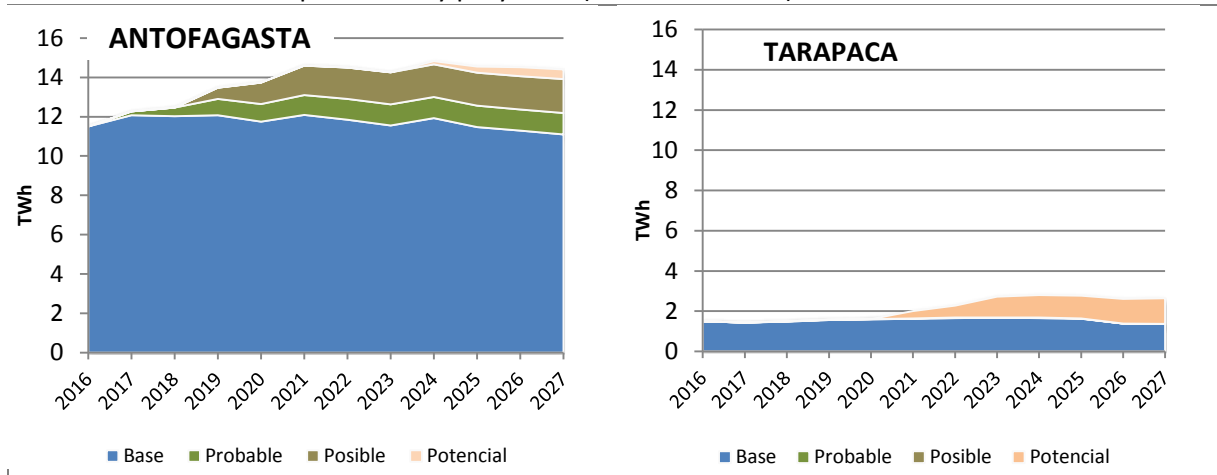
Por la importancia relativa que tendrán los proyectos en la futura demanda eléctrica, es relevante la ubicación geográfica donde se concentra la mayor demanda eléctrica minera y su condicionalidad.



4.3.1. Regiones del SING

En esta zona, naturalmente la mayor demanda se concentra en la región de Antofagasta y en menor medida en 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 significativamente más relevante en relación a la demanda de los proyectos (probables, posibles, potenciales). El consumo base se incrementa hasta el año 2019 hasta alcanzar 12,1 TWh que representa el 89,5% del consumo total de energía proyectado de ese año, para posteriormente bajar paulatinamente a 11,1 TWh el año 2027 en que representa el 77,1 % de energía total demandada ese año en la región de Antofagasta por la minería. El consumo de sus proyectos va emergiendo paulatinamente y hacia el 2027 explicaría el 22,9% del consumo en Antofagasta.

Dentro de los principales proyectos probables, posibles y potenciales estarían Extensión Los Colorados, Sierra Gorda Óxidos, Esperanza Sur, Spence Growth Option y Encuentro Sulfuros.

La otra región importante en el consumo en SING es Tarapacá, que en el año 2016 tiene un 11,4% del consumo total SING, participación que en el año 2027 alcanzará el 15,5%. 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 2016 el 28,8% del consumo eléctrico de la minería del cobre en el SIC y alcanzaría el 36,6% de este consumo hacia el año 2027, debido al crecimiento de su demanda en un 77,0% de 2,6 TWh a 4,6 TWh en el período analizado.

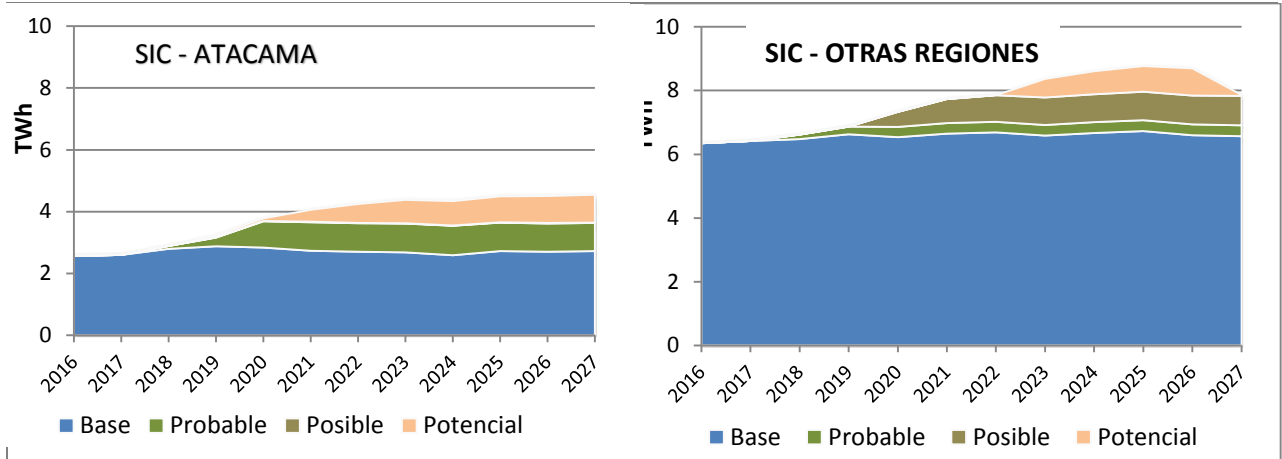
En las restantes regiones de Coquimbo a O'Higgins el consumo esperado se estima crecerá en un 24,0%, de 6,4 TWh en 2016, a 7,9 TWh del año 2027. Las operaciones base son las que explican



principalmente tanto la demanda como aumento en el período analizado de energía eléctrica y ya los proyectos bases en el año 2027 explicarían el 83,4% del consumo ese año.

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 en 2016 representan el 100% de la demanda, en tanto al año 2027 representará un 59,9% de la demanda total en la región con 2,7 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 2020 que representarían un 22,3% del consumo de energía ese año en la región, y se mantiene estable en torno a los 0,9 TWh al año 2027. En tanto los proyectos potenciales se empiezan a notar el año 2021 que representan el 9,4% para alcanzar un 19,7% la minería del cobre de la región al año 2027 con 0,9 TWh.

Al respecto cabe señalar y como ya se ha mencionado en capítulos anteriores, el funcionamiento a fines del 2017 de la Línea de Interconexión y Transmisión de Cardones - Polpaico, constituye un importante avance para dar 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, todas las iniciativas que ha impulsado el gobierno hacia otorgar 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 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.

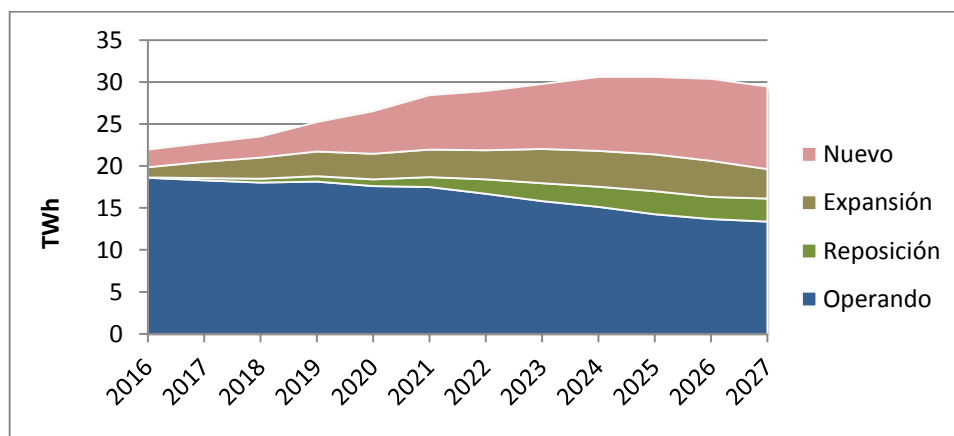
Tabla 13: Distribución nacional del consumo eléctrico esperado de la minería del cobre Según operaciones y tipos de proyectos 2015 – 2026 (Tera Watts-hora)

Tipo	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Nuevo	2,10	2,26	2,54	3,51	5,06	6,49	7,05	7,73	8,83	9,26	9,76	9,86
Expansión	1,20	1,94	2,50	2,91	3,03	3,29	3,47	4,11	4,25	4,38	4,29	3,49
Reposición	0,06	0,28	0,46	0,67	0,82	1,19	1,70	2,14	2,43	2,73	2,66	2,77
Operando	18,58	18,28	18,04	18,13	17,60	17,49	16,70	15,80	15,11	14,25	13,66	13,36
Total	21,94	22,77	23,53	25,22	26,51	28,45	28,93	29,78	30,62	30,63	30,38	29,48

Fuente: Elaborado por Cochilco

A su vez, en la figura 13 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 representan el 84,7% del consumo de energía eléctrica en el 2016, con 18,6 TWh, este consumo va decreciendo levemente a una tasa anual del 3,0% entre el 2016 y 2027 llegando a consumir 13,4 TWh el 2027, lo que representará el 45,3% del consumo de energía eléctrica minera ese año.

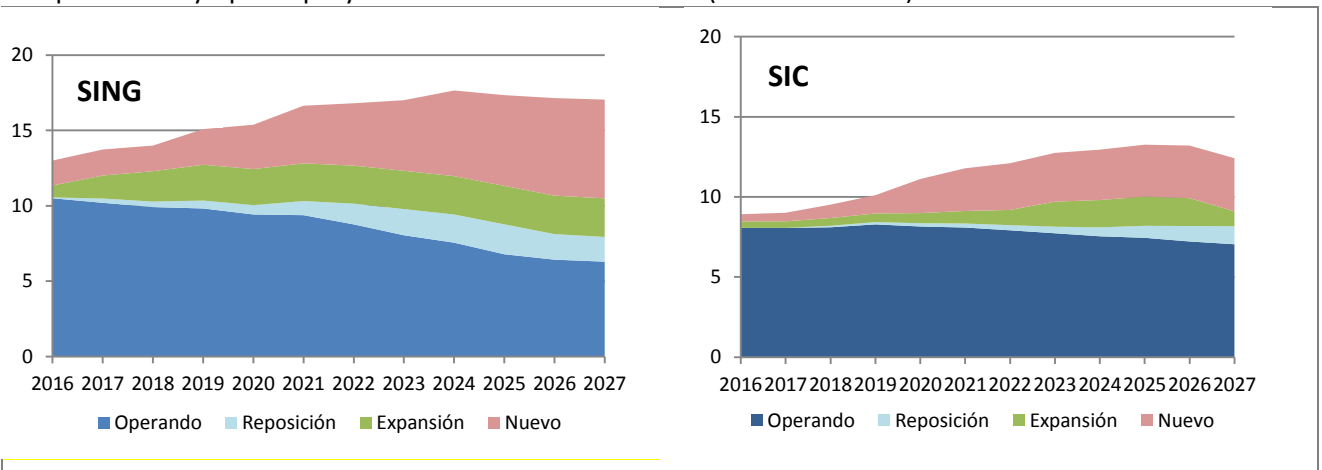
Para algunas de las actuales operaciones se contemplan proyectos de reposición o de expansión, que en su conjunto permiten esperar una demanda adicional de 6,3 TWh al 2027.

Es así como, el aumento del consumo a 29,5 TWh lo generan los proyectos nuevos que, al 2027, explicarían el 33,5% 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.

5.2. Análisis comparativo del SING y SIC

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

Figura 14: Proyección del consumo eléctrico esperado en el SING y SIC al año 2027 según operaciones y tipo de proyectos de la minería del cobre (TeraWatts-hora)



Fuente: Elaborado por Cochilco

En el SING la demanda de energía eléctrica para operaciones vigentes comienza a decaer paulatinamente de 10,5 TWh el 2016 a una tasa del 1% hasta el 2021, para luego decrecer una tasa del 3% anual hasta llegar a 6,3 TWh el año 2027, año en que representa el 36,9% del consumo total esperado ese año. Se destaca la importancia relativa de los proyectos nuevos, que muestran un gran crecimiento al año 2027 a una tasa anual del 13,3% y serán los futuros mayores demandantes de energía eléctrica. Comparativamente respecto al año 2016 tienen un aumento del 296% llegando a 6,6 TWh el 2027, lo que representaría el 38,4% en el consumo esperado del SING de ese año.

En relación al SIC las operaciones vigentes se mantienen en torno a los 8,1 TWh en el período 2016 al 2021, para luego ir decreciendo paulatinamente a una tasa del 1,1% hasta llegar a 7,0 TWh el 2027.



Al igual que en el SING, son los proyectos nuevos los que cobran gran importancia en el período, con una tasa de crecimiento anual del 20,1% al año 2027, con un crecimiento del 647% respecto al año 2016 llegando a 3,3 TWh lo que explica el 26,7% del consumo eléctrico esperado en el SIC el 2027, sin embargo, son las operaciones vigentes las que explican la mayor demanda de energía eléctrica relativa en el período.



6. Análisis del consumo eléctrico esperado según procesos al 2027

En el presente capítulo se muestran los resultados del destino del consumo eléctrico esperado por procesos en la minería del cobre al año 2027. 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 2016 – 2027, tanto a nivel país y en los Sistemas interconectados centrales.

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 envejecimiento de las minas y a menores leyes de mineral a procesar principalmente.

Los procesos considerados son: Concentradora, Mina Rajo, Mina Subterránea, Fundición, Refinería LX-SX-EW, Servicios y Uso de Agua de Mar (desalación y/o 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.

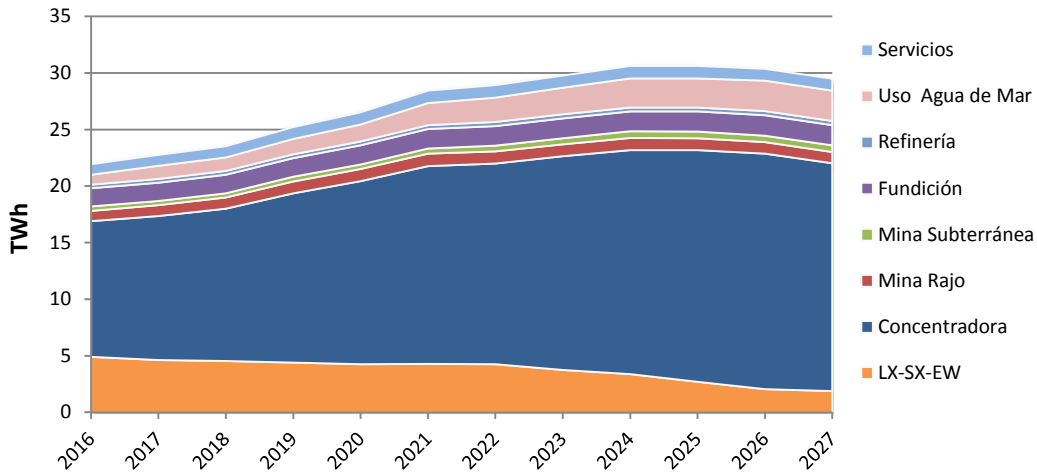
Tabla 14: Distribución nacional del consumo eléctrico esperado de la minería del cobre según procesos 2016 – 2027 (Tera Watts-hora)

PROCESOS	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Concentradora	11,98	12,73	13,48	14,97	16,20	17,48	17,74	18,89	19,82	20,47	20,83	20,13
Mina Rajo	0,92	0,95	0,99	1,04	1,07	1,09	1,07	1,05	1,07	1,05	1,00	0,99
Mina Subterránea	0,38	0,37	0,38	0,41	0,41	0,47	0,52	0,55	0,57	0,60	0,58	0,59
Fundición	1,62	1,62	1,64	1,66	1,69	1,71	1,73	1,75	1,76	1,78	1,81	1,79
Refinería	0,33	0,33	0,32	0,33	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35	0,36	0,36
LX-SX-EW	4,91	4,63	4,52	4,40	4,24	4,29	4,25	3,76	3,37	2,70	2,05	1,89
Servicios	0,94	0,97	1,01	1,05	1,08	1,11	1,11	1,09	1,12	1,10	1,05	1,04
Uso Agua de Mar	0,86	1,17	1,19	1,35	1,48	1,96	2,16	2,35	2,55	2,58	2,69	2,69
TOTAL Esperado	21,94	22,77	23,54	25,22	26,51	28,45	28,93	29,78	30,63	30,63	30,38	29,48

Fuente: Elaborado por Cochilco



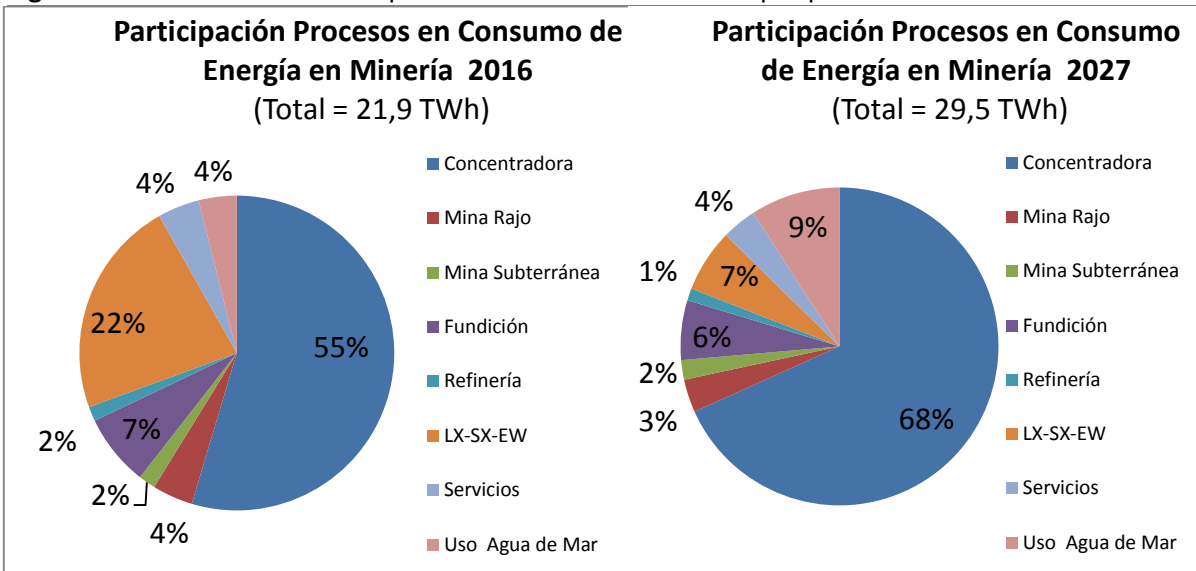
Figura 15: Consumo eléctrico esperado de la minería del cobre a nivel nacional por procesos



Fuente: Elaborado por Cochilco

Los cambios en la participación del consumo eléctrico de los procesos considerados entre el año 2016 y 2027 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

En el 2016 el mayor consumo de energía eléctrica proviene de la concentradora con 12,0 TWh que representa el 54,6% de la energía demandada respecto de la demanda de los demás procesos mineros, esta relación se mantendrá y acentuará al año 2027 en el que el consumo por proceso de concentración aumentará en un 68,0% llegando a 20,1 TWh lo que representará el 68,3% de la demanda ese año. Esto se debe a que gran parte de los proyectos de expansión y nuevos proyectos mineros son de concentrados de cobre y a que debido a las menores leyes hay mayor cantidad de mineral a procesar.



En tanto, se observa también una reducción en el consumo total de electricidad en el proceso de LX-SX-EW de un 61,5% en periodo 2016 – 2027 de 4,9 TWh en 2016 a 1,9 TWh en 2027, debido fundamentalmente al término de la vida útil de varias operaciones hidrometalúrgicas que producen cátodos SX-EW.

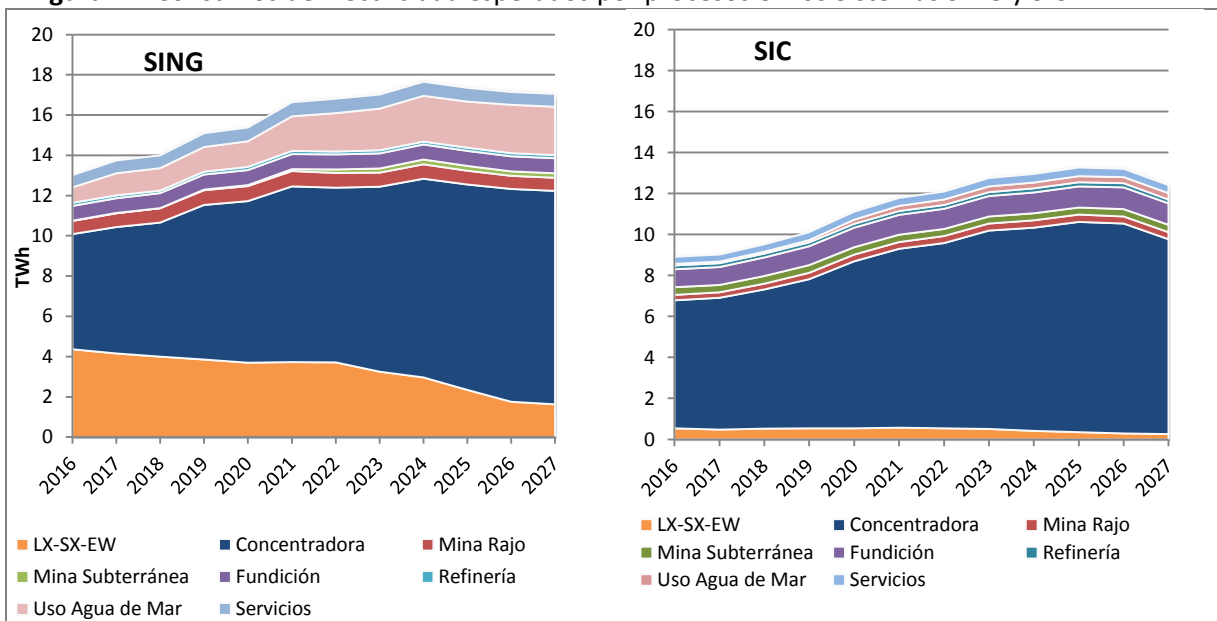
Un proceso que emergerá como segundo lugar en el consumo eléctrico es el proceso de uso de agua de mar que conlleva la desalinización y/o impulsión. Ello es una consecuencia del aumento de operaciones de concentración, proceso que es intensivo en el empleo de agua, insumo ya escaso en las regiones del norte. En consecuencia se estima que este proceso aumentará 3,2 veces su consumo en el periodo 2016 – 2027; de 0,9 TWh en 2016 a 2,7 TWh en 2027.

Por otra parte, se proyecta que los consumos en Fundiciones del país se incrementarán en un 10,5% en el período 2016-2027, de 1,6 TWh en 2016 a 1,8 TWh, basado en que la utilización de la capacidad existente de sus plantas. Los procesos de Mina Rajo, Mina Subterránea, Servicios son de bajo peso relativo en el consumo eléctrico. Sin embargo, se proyecta un aumento de 8%, 53% y 10% respectivamente en el periodo 2016 - 2027. (Ver figura 16). En tanto en las Refinerías al año 2027, el consumo de energía eléctrica se mantendrá prácticamente igual al año 2016, alrededor de 0,3 TWh.

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 explican en mayor medida el aumento del 31,1% en el consumo de electricidad en el SING entre 2016 -2027, son los procesos de Concentración y el desarrollo masivo del Uso de Agua de Mar (Desalinización y/o 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 2016 representa el 44,0% de la demanda total de energía eléctrica minera y tendrá un aumento del 85,5% al 2027, llegando a 10,6 TWh lo que representará el 62,2% de la demanda ese año. Por su lado la desalinización y/o impulsión tendrá un importante aumento del 211% al 2027 y si en el año 2016 representa un 5,9% de la demanda de energía llegará a significar el 14,0% de la demanda en el año 2027 con 2,4 TWh.
- b) En el SING, el segundo proceso que mayor demanda de energía tiene en el 2016 es el de LX-SX-EW con 4,4 TWh, un 33,6% de la demanda ese año. Sin embargo, se proyecta una disminución en el consumo energético de este proceso de un 62,7% al año 2027, debido principalmente a la salida de producción de Michilla, Chuquicamata Mina Sur, Radomiro Tomic Óxidos, Mantos blancos, 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 2016 – 2027 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 39,3% en consumo eléctrico se ve explicado principalmente el proceso de Concentración. Su aumento proyectado es de un 52,0%, de 6,3 TWh en 2016 a 9,5 en TWh en 2027, equivalente al 76,5% 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 3,9%.



7. Conclusiones

En relación a los resultados de proyección de consumo energético a nivel nacional, se estima que el consumo eléctrico esperado al año 2027 para la producción de cobre en Chile sería de 29,5 Tera Watts-hora, un 34,4% más respecto al consumo del año 2016, de los cuales 17,1 TWh se consumirían en el SING y 12,4 TWh en el SIC.

En el SING se observaría un crecimiento anual de 2,6% en el período 2016-2021, requiriendo incrementar la capacidad de generación en al menos 527 MW, para bajar posteriormente a una tasa del 0,04% anual en el período 2022-2027 demandando unas 60 MW adicionales, es decir los mayores incrementos de demanda son de corto y mediano plazo.

En tanto en el SIC, en un primer período 2016-2021 la demanda crecería al 2,6% anual, necesitándose unos 416 MW de potencia adicional. Y a contar del 2021 la demanda crecería sólo a un 0,2% anual, con un requerimiento de más generación por unos 91 MW al 2027.

El impacto sobre el consumo eléctrico de los proyectos en los cuales aún no se toma la decisión de ejecutar se empezaría a notar a contar del año 2021, 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, donde el consumo eléctrico esperado subiría a 4,6 TWh en el 2027 que es un 177,0% sobre el consumo del 2016 y las operaciones base son el mayor consumidor, en tanto el consumo de sus proyectos (probables, posibles, potenciales) va emergiendo paulatinamente y hacia el 2027 explicaría el 22,9% del consumo en Antofagasta.

Por su parte, lo más relevante del SIC se focaliza en Atacama, donde el consumo eléctrico esperado subiría a 4,6 TWh, un 177,0% sobre el consumo del 2016 y las operaciones base en 2016 representan el 100% de la demanda, en tanto al año 2027, representará un 59,9% de la demanda total en la región con 2,7 TWh. La demanda restante se encuentra principalmente en los proyectos de condición de probables y potenciales, es decir bajo un mayor grado de incertidumbre.

Si se mira el consumo energético por proceso minero, hoy el mayor consumo de energía eléctrica proviene de la concentradora con 12,0 TWh que representa el 55% de la energía demandada respecto de la demanda de los demás procesos mineros, esta relación se mantendrá y acentuará al año 2027 en el que este consumo llegará a 20,1 TWh lo que representará el 68% 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 importante reducción en el consumo total de electricidad en el proceso de LX-SX-EW de un 61% en periodo 2016 – 2027, debido fundamentalmente por el término de la vida útil de varias operaciones hidrometalúrgicas que producen cátodos SX-EW. 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.

El país está viviendo un nuevo escenario energético, con reducción de precios de la energía con mayor competencia, eficiencia y diversificación en el mercado energético. La construcción 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.

También están iniciativas como lo es la recién promulgada Ley de Transmisión que se espera mejoren y faciliten la integración en el Sistema de diversos tipos de energía, por ejemplo las Energías Renovables No Convencionales (ERNC). El nuevo marco legal dado por esta Ley ya mostró resultados, con un fuerte incremento de adjudicación de proyectos de ERNC en la pasada licitación de julio 2016. Sin embargo, ello plantea, un desafío país, de poder lograr que el Sistema tenga la flexibilidad suficiente para la integración y uso de estas energías ERNC.

Otro punto importante a destacar es el tema de eficiencia energética en las mineras. Cabe mencionar al respecto, que dentro de las acciones legislativas que está impulsando el estado, se encuentra la Ley de Eficiencia Energética, cuyo anteproyecto está en etapa de elaboración y que dentro de los instrumentos básicos que contempla esta nueva Ley para fomentar la Eficiencia Energética, se tiene a los Sistemas de Gestión de la Energía (SGE) y las Auditorías Energéticas.

En este contexto, el Consejo Minero (CM), como representante de la gran minería, y el Ministerio de Energía, firmaron en 2015 un Convenio de colaboración orientado a impulsar un uso cada vez más eficiente de la energía en las empresas que componen esta asociación y a fomentar iniciativas que contribuyan a la innovación y la cultura en el buen uso de la energía, siguiendo las mejores prácticas internacionales en la materia. Es así como el sector minero fue el primero en firmar un acuerdo de este tipo, anticipando la implementación de las normas que se establecerán, respecto de los grandes consumidores de energía, en el proyecto de Ley de Eficiencia Energética, en el marco de la Agenda de Energía del Ministerio de Energía.

Estas recientes auditorías energéticas a las que la industria minera se sometió (66% de mineras pertenecientes a Consejo Minero), muestran según estimaciones del ministerio de energía, un ahorro potencial de un 5%. Se mostraron 226 oportunidades que contaban con ahorros energéticos declarados y estas oportunidades son tanto de Recambio y Mejoramiento tecnológico, como de Gestión operacional y administrativa y de Autoconsumo energético (uso ERNC y/o cogeneración). Entonces si esto se puede aplicar a operaciones existentes, es más válido aún para los nuevos proyectos que vienen.

Es así como el punto de eficiencia energética en minería se estudiará para ser abordado próximamente en estudios de Cochilco y se analizará como poder incorporarlos en futuros informes de proyecciones de energía eléctrica.



En todo los casos igualmente constituye un desafío para la minería del cobre poder mantener y/o reducir su consumo unitario de energía en el tiempo, por la situación estructural que enfrenta de envejecimiento de las minas, sin embargo, es importante que la industria minera del cobre siga incrementando la eficiencia energética en aquellas faenas que ya han comenzado en esta senda y desarrollar esta línea de trabajo en las faenas donde no se ha realizado aún.

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.

Aquellas compañías que se encuentran trabajando en materia de eficiencia energética con una mirada de largo plazo podrán enfrentar de mejor manera cualquier incremento de precios de la energía en el futuro.

El desafío de eficiencia energética en minería, en todo caso involucra a más actores que sólo los mineros, es un desafío país, ya que se tiene que empezar por Formación de capacidades en capital humano de EE, que puedan hacer diagnósticos energéticos oportunos y eficaces, fomentar e implementar Innovación Tecnológica por ejemplo.



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	ETAPA DE DESARROLLO	CONDICIÓN	PRODUCTO	SISTEMA INTERCONEC.
MANTOS COPPER	Mantos Blancos	Antofagasta	Operación	BASE	Concentrado	SING
MANTOS COPPER	Desarrollo Mantoverde	Atacama	Factibilidad	POTENCIAL	Concentrado	SIC
ANGLO AMERICAN CHILE	El Soldado	Valparaíso	Operación	BASE	Concentrado	SIC
ANGLO AMERICAN CHILE	Los Bronces	Metropolitana	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	POSIBLE	Concentrado	SING
ANTOFAGASTA MINERALS	Encuentro Sulfuros	Antofagasta	Factibilidad	POTENCIAL	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	Proy. Hipotético	HIPOTÉTICO	Concentrado	SIC
BARRICK	Cerro Casale	Atacama	Proy. 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-CHILE	Chuqui Rajo	Antofagasta	Operación	BASE	Concentrado	SING
CODELCO-CHILE	Chuqui Subte	Antofagasta	En Ejecución	BASE	Concentrado	SING

CODELCO-CHILE	RT Sulfuros Fase I	Antofagasta	Operación	BASE	Concentrado	SING
CODELCO-CHILE	RT Sulfuros Fase II	Antofagasta	En Ejecución	BASE	Concentrado	SING
CODELCO-CHILE	Ministro Hales	Antofagasta	Operación	BASE	Concentrado	SING
CODELCO-CHILE	Ministro Hales Subte	Antofagasta	Proy. Hipotético	HIPOTÉTICO	Concentrado	SING
CODELCO-CHILE	Salvador	Atacama	Operación	BASE	Concentrado	SIC
CODELCO-CHILE	Rajo Inca	Atacama	Pre-Factibilidad	POTENCIAL	Concentrado	SIC
CODELCO-CHILE	Andina	Valparaíso	Operación	BASE	Concentrado	SIC
CODELCO-CHILE	Andina Exp. Fase II	Valparaíso	Pre-Factibilidad	POTENCIAL	Concentrado	SIC
CODELCO-CHILE	El Teniente	O'Higgins	Operación	BASE	Concentrado	SIC
CODELCO-CHILE	Nuevo Nivel Mina y Otros Proy	O'Higgins	En Ejecución	BASE	Concentrado	SIC
DOÑA INÉS DE COLLAHUASI	Collahuasi	Tarapacá	Operación	BASE	Concentrado	SING
GLENCORE-XSTRATA	Altos de Punitaqui	Coquimbo	Operación	BASE	Concentrado	SIC
KGHM INT.	Sierra Gorda Concentrados	Antofagasta	Operación	BASE	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
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	Operación	BASE	Concentrado	SIC
AMERIGO RES.	Valle Central Expansión (Cauquenes)	O'Higgins	Operación	BASE	Concentrado	SIC
CEM SAN ANDRES	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
DON ALBERTO	Planta Las Vacas	Coquimbo	Cerrada	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-Factibilidad	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
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 determinada	Operación	BASE	Concentrado	No determinado
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	Metropolitana	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	Cerro Colorado Cont. Operacional	Tarapacá	En Ejecución	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-CHILE	Mina Sur Chuqui y Otros	Antofagasta	Operación	BASE	SXEW	SING
CODELCO-CHILE	R.Tomic Óxidos	Antofagasta	Operación	BASE	SXEW	SING
CODELCO-CHILE	Ministro Hales	Antofagasta	Operación	BASE	SXEW	SING
CODELCO-CHILE	Salvador	Atacama	Operación	BASE	SXEW	SIC
CODELCO-CHILE	TTE. Recuperación Cu	O'Higgins	Operación	BASE	SXEW	SIC
CODELCO-CHILE	Gabriela Mistral	Antofagasta	Operación	BASE	SXEW	SING
DOÑA INÉS DE COLLAHUASI	Collahuasi SxEw	Tarapacá	Operación	BASE	SXEW	SING
FREEPOR T 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
CEMIN	Dos Amigos	Atacama	Operación	BASE	SXEW	SIC
CEMIN	Catemu	Valparaíso	Operación	BASE	SXEW	SIC
CERRO DOMINADOR	Callejas Zamora	Antofagasta	Operación	BASE	SXEW	SING
CERRO DOMINADOR	Santa Margarita	Antofagasta	Operación	BASE	SXEW	SING
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
MILPO	Iván	Antofagasta	Cerrada	BASE	SXEW	SING
PUCOBRE	Pucobre	Atacama	Operación	BASE	SXEW	SIC
PUCOBRE	El Espino Oxidos	Coquimbo	Factibilidad	PROBABLE	SXEW	SIC
SIERRA MIRANDA	Sierra Miranda	Antofagasta	Operación	BASE	SXEW	SING
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 2016 -2027, Cochilco, 2016



Tabla 16: Operaciones y proyectos considerados con Uso de Agua de Mar, total o parcialmente

COMPAÑÍA	MINA	REGIÓN	ETAPA 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
BHP BILLITON	Spence	Antofagasta	Operación	BASE	SING
BHP BILLITON	Escondida Óxidos	Antofagasta	Operación	BASE	SING
BHP BILLITON	Escondida Biolix.	Antofagasta	Operación	BASE	SING
CAPSTONE Mining	Santo Domingo	Atacama	Factibilidad	PROBABLE	SIC
CODELCO-CHILE	Chuqui Subte	Antofagasta	En Ejecución	BASE	SING
CODELCO-CHILE	RT Sulfuros Fase I	Antofagasta	Operación	BASE	SING
CODELCO-CHILE	RT Sulfuros Fase II	Antofagasta	En Ejecución	BASE	SING
CODELCO-CHILE	Ministro Hales	Antofagasta	Operación	BASE	SING
KGHM INT.	Sierra Gorda Concentrados	Antofagasta	Operación	BASE	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
ANDES IRON SpA	Dominga	Coquimbo	Factibilidad	POSIBLE	SIC
COPEC	Diego de Almagro Sulf.	Atacama	Factibilidad	PROBABLE	SIC
MANTOS COPPER	Mantoverde	Atacama	Operación	BASE	SIC
ANTOFAGASTA MINERALS	Encuentro Óxidos	Antofagasta	En Ejecución	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
PAMPA CAMARONES	Pampa Camarones	Arica y Parinacota	Operación	BASE	SING

Fuente: Cochilco, 2016



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 17: 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 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 2016– 2027 en diferentes categorías

8.2.1. Proyección global

Tabla 18: Consumo máximo, mínimo y esperado de la minería del Cobre 2016 - 2027, país.

Global TWh	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Consumo máximo	23,98	24,77	25,75	27,87	29,51	32,23	32,73	34,15	34,98	34,76	34,31	32,85
Consumo esperado	21,94	22,77	23,54	25,22	26,51	28,45	28,93	29,78	30,63	30,63	30,38	29,48
Consumo mínimo	20,20	21,02	21,67	23,17	24,24	25,76	25,87	26,18	26,72	26,46	25,98	25,30

Fuente: Cochilco, 2016

Tabla 19: Consumo máximo, mínimo y esperado de la minería del Cobre 2016 - 2027, SING.

Global TWh	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Consumo máximo	14,24	14,93	15,34	16,75	17,10	18,86	18,98	19,19	19,99	19,58	19,30	19,06
Consumo esperado	13,01	13,74	14,00	15,09	15,38	16,65	16,81	17,01	17,66	17,35	17,15	17,05
Consumo mínimo	12,01	12,74	12,93	13,90	14,09	15,12	15,07	14,99	15,51	15,11	14,78	14,57

Fuente: Cochilco, 2016

Tabla 20: Consumo máximo, mínimo y esperado de la minería del Cobre 2016 - 2027, SIC.

Global TWh	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Consumo máximo	9,73	9,82	10,39	11,11	12,39	13,35	13,73	14,94	14,98	15,16	14,98	13,77
Consumo esperado	8,92	9,01	9,52	10,11	11,12	11,79	12,10	12,75	12,95	13,26	13,21	12,41
Consumo mínimo	8,18	8,26	8,73	9,25	10,14	10,62	10,78	11,17	11,19	11,34	11,19	10,72

Fuente: Cochilco, 2016



8.2.2. Proyección de consumo de electricidad según procesos

Tabla 21: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por procesos, país

Procesos (TWh)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Concentradora	11,98	12,73	13,48	14,97	16,20	17,48	17,74	18,89	19,82	20,47	20,83	20,13
Mina Rajo	0,92	0,95	0,99	1,04	1,07	1,09	1,07	1,05	1,07	1,05	1,00	0,99
Mina Subterránea	0,38	0,37	0,38	0,41	0,41	0,47	0,52	0,55	0,57	0,60	0,58	0,59
Fundición	1,62	1,62	1,64	1,66	1,69	1,71	1,73	1,75	1,76	1,78	1,81	1,79
Refinería	0,33	0,33	0,32	0,33	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35	0,36	0,36
LX-SX-EW	4,91	4,63	4,52	4,40	4,24	4,29	4,25	3,76	3,37	2,70	2,05	1,89
Servicios	0,94	0,97	1,01	1,05	1,08	1,11	1,11	1,09	1,12	1,10	1,05	1,04
Uso Agua de Mar	0,86	1,17	1,19	1,35	1,48	1,96	2,16	2,35	2,55	2,58	2,69	2,69
TOTAL Esperado	21,94	22,77	23,54	25,22	26,51	28,45	28,93	29,78	30,63	30,63	30,38	29,48

Tabla 22: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por procesos, SING.

Procesos (TWh)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Concentradora	5,72	6,28	6,66	7,68	8,03	8,73	8,68	9,18	9,88	10,20	10,57	10,61
Mina Rajo	0,66	0,69	0,71	0,74	0,74	0,75	0,73	0,71	0,72	0,68	0,65	0,65
Mina Subterránea	0,01	0,01	0,01	0,03	0,05	0,11	0,17	0,21	0,23	0,25	0,23	0,23
Fundición	0,74	0,74	0,74	0,74	0,75	0,74	0,75	0,75	0,75	0,75	0,74	0,74
Refinería	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16
LX-SX-EW	4,37	4,16	4,00	3,85	3,70	3,73	3,72	3,25	2,96	2,34	1,75	1,63
Servicios	0,60	0,62	0,65	0,67	0,69	0,71	0,70	0,69	0,70	0,68	0,64	0,64
Uso Agua de Mar	0,77	1,10	1,10	1,24	1,28	1,72	1,91	2,07	2,26	2,29	2,40	2,39
TOTAL Esperado SING	13,01	13,74	14,00	15,09	15,38	16,65	16,81	17,01	17,66	17,35	17,15	17,05

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

Procesos (TWh)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Concentradora	6,25	6,44	6,80	7,28	8,15	8,74	9,04	9,69	9,92	10,25	10,24	9,50
Mina Rajo	0,26	0,26	0,28	0,30	0,32	0,33	0,34	0,34	0,35	0,36	0,35	0,34
Mina Subterránea	0,37	0,36	0,37	0,38	0,36	0,36	0,35	0,34	0,35	0,35	0,35	0,36
Fundición	0,88	0,88	0,91	0,92	0,95	0,97	0,99	1,00	1,01	1,03	1,07	1,05
Refinería	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20
LX-SX-EW	0,54	0,47	0,52	0,55	0,55	0,56	0,54	0,51	0,42	0,36	0,30	0,26
Servicios	0,34	0,34	0,36	0,38	0,39	0,40	0,40	0,40	0,41	0,42	0,41	0,40
Uso Agua de Mar	0,09	0,07	0,09	0,11	0,20	0,24	0,25	0,28	0,29	0,29	0,30	0,30
TOTAL Esperado SIC	8,92	9,01	9,52	10,11	11,12	11,79	12,10	12,75	12,95	13,26	13,21	12,41

8.2.3. Proyección de consumo de electricidad según condición

Tabla 24: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre según condición, país.

Condición (TWh)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Base	21,94	22,58	22,84	23,18	22,77	23,15	22,94	22,54	22,89	22,60	22,01	21,78
Probable	0,00	0,19	0,69	1,39	2,09	2,29	2,33	2,36	2,39	2,36	2,34	2,35
Posible	0,00	0,00	0,00	0,58	1,57	2,26	2,45	2,51	2,56	2,59	2,61	2,66
Potencial	0,00	0,00	0,00	0,06	0,08	0,75	1,20	2,37	2,79	3,06	3,43	2,69
Total	21,94	22,77	23,54	25,22	26,51	28,45	28,93	29,78	30,63	30,63	30,38	29,48

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 25: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre según condición, SING

Condición (TWh)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Base	13,01	13,55	13,55	13,66	13,37	13,75	13,54	13,25	13,61	13,13	12,69	12,48
Probable	0,00	0,19	0,45	0,86	0,93	1,03	1,08	1,09	1,10	1,11	1,08	1,09
Posible	0,00	0,00	0,00	0,57	1,08	1,50	1,60	1,64	1,66	1,69	1,69	1,73
Potencial	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	0,59	1,03	1,29	1,43	1,69	1,76
Total SING	13,01	13,74	14,00	15,09	15,38	16,65	16,81	17,01	17,66	17,35	17,15	17,05

Fuente: Elaborado por Cochilco

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

Condición (TWh)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Base	8,92	9,01	9,28	9,51	9,38	9,38	9,39	9,27	9,26	9,46	9,30	9,29
Probable	0,00	0,00	0,24	0,53	1,16	1,25	1,25	1,27	1,29	1,26	1,26	1,26
Posible	0,00	0,00	0,00	0,01	0,49	0,77	0,85	0,88	0,90	0,91	0,92	0,94
Potencial	0,00	0,00	0,00	0,06	0,08	0,38	0,61	1,33	1,50	1,63	1,73	0,93
Total SIC	8,92	9,01	9,52	10,11	11,12	11,79	12,10	12,75	12,95	13,26	13,21	12,41

Fuente: Elaborado por Cochilco



8.2.4. Proyección de consumo de electricidad por tipo de proyecto

Tabla 27: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por tipo de proyecto, país.

Condición (TWh)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Nuevo	2,10	2,26	2,54	3,51	5,06	6,49	7,05	7,73	8,83	9,26	9,76	9,86
Expansión	1,20	1,94	2,50	2,91	3,03	3,29	3,47	4,11	4,25	4,38	4,29	3,49
Reposición	0,06	0,28	0,46	0,67	0,82	1,19	1,70	2,14	2,43	2,73	2,66	2,77
Operando	18,58	18,28	18,04	18,13	17,60	17,49	16,70	15,80	15,11	14,25	13,66	13,36
Total	21,94	22,77	23,53	25,22	26,51	28,45	28,93	29,78	30,62	30,63	30,38	29,48

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 28: Consumo esperado de electricidad por parte de la minería del cobre por tipo de proyecto, SING.

Condición (TWh)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Nuevo	1,65	1,73	1,70	2,37	2,94	3,82	4,14	4,68	5,69	6,02	6,47	6,55
Expansión	0,79	1,53	2,02	2,37	2,39	2,51	2,52	2,54	2,55	2,55	2,55	2,56
Reposición	0,06	0,28	0,36	0,52	0,62	0,94	1,38	1,73	1,87	1,99	1,69	1,64
Operando	10,50	10,20	9,92	9,83	9,43	9,38	8,77	8,05	7,56	6,79	6,43	6,30
Total SING	13,01	13,74	14,00	15,09	15,38	16,65	16,81	17,01	17,66	17,35	17,15	17,05

Fuente: Elaborado por Cochilco

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

Condición (TWh)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Nuevo	0,44	0,54	0,83	1,14	2,12	2,67	2,91	3,05	3,14	3,24	3,29	3,31
Expansión	0,41	0,41	0,48	0,54	0,63	0,78	0,95	1,56	1,71	1,82	1,74	0,93
Reposición	0,00	0,00	0,09	0,14	0,20	0,25	0,32	0,41	0,56	0,75	0,97	1,12
Operando	8,07	8,06	8,10	8,29	8,15	8,09	7,92	7,73	7,54	7,45	7,22	7,04
Total SIC	8,92	9,01	9,52	10,11	11,12	11,79	12,10	12,75	12,95	13,26	13,21	12,41

Fuente: Elaborado por Cochilco

8.2.5. Proyección de consumo de electricidad por regiones**Tabla 30:** Proyección consumo eléctrico máximo de la minería del cobre por región 2016 - 2027

Región (TWh)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Arica y Parinacota	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,00
Tarapacá	1,62	1,57	1,65	1,73	1,76	2,55	2,91	3,46	3,46	3,36	3,12	3,12
Antofagasta	12,60	13,32	13,66	14,98	15,30	16,28	16,04	15,70	16,50	16,19	16,16	15,93
Atacama	2,80	2,83	3,16	3,62	4,25	4,74	5,01	5,11	5,01	5,12	5,09	5,12
Coquimbo	1,67	1,67	1,81	2,00	2,69	3,11	3,17	3,15	3,19	3,20	3,14	3,14
Metropolitana	1,36	1,45	1,50	1,53	1,53	1,54	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,57
Valparaíso	1,51	1,46	1,48	1,50	1,47	1,47	1,49	2,68	2,78	2,80	2,79	1,56
O'Higgins	2,38	2,40	2,44	2,46	2,44	2,49	2,50	2,43	2,43	2,47	2,40	2,39
Total País	23,97	24,75	25,73	27,86	29,49	32,21	32,71	34,13	34,96	34,74	34,29	32,82

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 31: Proyección consumo eléctrico esperado de la minería del cobre por región 2016 – 2027

Región (TWh)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Arica y Parinacota	0,02	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,00
Tarapacá	1,49	1,43	1,50	1,58	1,61	2,01	2,27	2,72	2,79	2,77	2,62	2,64
Antofagasta	11,50	12,27	12,46	13,48	13,73	14,60	14,51	14,26	14,83	14,55	14,52	14,41
Atacama	2,57	2,60	2,90	3,24	3,79	4,06	4,25	4,38	4,34	4,50	4,51	4,55
Coquimbo	1,54	1,54	1,65	1,82	2,32	2,67	2,76	2,77	2,83	2,84	2,80	2,82
Metropolitana	1,25	1,34	1,38	1,41	1,42	1,42	1,43	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44
Valparaíso	1,39	1,35	1,36	1,38	1,36	1,36	1,37	1,93	2,12	2,21	2,26	1,42
O'Higgins	2,17	2,19	2,23	2,26	2,24	2,29	2,29	2,23	2,22	2,27	2,20	2,19
Total País	21,92	22,75	23,52	25,20	26,50	28,43	28,91	29,76	30,61	30,61	30,36	29,47

Fuente: Elaborado por Cochilco

Tabla 32: Proyección del consumo eléctrico mínimo de la minería del cobre 2016 - 2027

Región (TWh)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Arica y Parinacota	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,00
Tarapacá	1,36	1,32	1,38	1,45	1,48	1,79	1,95	2,16	2,15	2,10	1,88	1,87
Antofagasta	10,63	11,39	11,52	12,42	12,58	13,30	13,10	12,81	13,33	12,99	12,89	12,69
Atacama	2,37	2,39	2,66	2,97	3,47	3,63	3,71	3,74	3,66	3,75	3,72	3,74
Coquimbo	1,40	1,40	1,51	1,67	2,09	2,37	2,41	2,39	2,42	2,42	2,38	2,38
Metropolitana	1,14	1,22	1,26	1,29	1,29	1,29	1,31	1,31	1,31	1,31	1,32	1,32
Valparaíso	1,27	1,23	1,24	1,26	1,24	1,24	1,25	1,69	1,76	1,77	1,76	1,28
O'Higgins	2,00	2,02	2,05	2,07	2,05	2,09	2,10	2,04	2,04	2,08	2,02	2,01
Total País	20,19	21,00	21,66	23,16	24,23	25,74	25,85	26,17	26,70	26,45	25,97	25,29

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 / 2016

