

ANÁLISIS ECONÓMICO DE ASPECTOS ASOCIADOS A LA DESALINIZACIÓN DEL AGUA EN LA MINERÍA

La gran minería chilena, ubicada entre las regiones de Tarapacá y O'Higgins, que concentra el 95% de la producción nacional de cobre, es intensiva en el uso de agua para el uso de la actividad minera. Según datos de la Dirección General de Aguas (DGA) en 2016 la industria consumió el 3% del agua fresca consumida ese año en el país.

De acuerdo a lo reportado en la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012 - 2025, elaborada por el MOP, en zona en la que se concentra la actividad minera existe un importante déficit hídrico. En este contexto, la extracción y uso de agua de mar por parte de las mineras ha aumentado en un 666% en el periodo 2009 a 2016, pasando del 3% al 15% del total de agua extraída en igual periodo.

Se estima que Chile se ha convertido en el país de América Latina con mayor capacidad y potencial para el desarrollo desalinización. La escasez hídrica en el norte del país ha llevado a las principales mineras a utilizar agua de mar en sus procesos y a la vez, buscar alternativas tecnológicas para su desalinización y reutilización. Al respecto, C estimó que al año 2027 el consumo de agua será de 20,1 m³/seg, y el 46% sería agua de mar.

Los costos asociados en la desalinización se diferencian en la inversión necesaria para la planta desalinizadora y los costos propios del proceso de desalinizar el agua de mar. Pese a esto, el caso chileno es particular porque pese a la

factibilidad comprobada de las plantas desalinizadoras, la realización de impulsión a las faenas mineras, alejadas y en altura implica mayores costos al ser intensivo en electricidad. Por esto, se considera que existe una estrecha relación entre el uso de agua de mar y el consumo energético.

El consumo de energía en la desalinización de agua de mar (por ósmosis inversa) representa un tercio del costo total del proceso, lo que dependiendo de la capacidad de tratamiento de la planta desaladora, tendría un costo total que oscila entre los 0,6 y 1,2 US\$/m³ (Revista Electricidad, 2014). En consideración a esto, el Consejo Minero estimó, en 2013, que en promedio las firmas chilenas pagan US\$5 por m³ de agua de mar desalada puesta en la mina, mientras que la misma unidad de agua fresca costaba US\$1,6. El costo del agua de mar desalada en Chile es mayor a los 2,3 US\$/m³ que cuesta en Estados Unidos o a los 2,8 US\$/m³ en México.

En consideración al alto costo de inversión y al propio del proceso de desalinización de agua al cual se enfrenta la minería chilena, Cochilco planteó que a escala regional, el compartir la red de tuberías e infraestructura de desalinización para el suministro de agua de mar entre las distintas empresas de minería parece una propuesta lógica para un menor consumo de energía y la disminución de los costos financieros (Cochilco, 2017)

Elaborado para la Comisión de Minería y Energía de la Cámara de Diputados, en el marco de la discusión del "Proyecto que establece la desalinización del agua de mar para su uso en procesos productivos mineros" (Boletín N° 9185-08).

Está enfocada en apoyar preferentemente el trabajo de las Comisiones Legislativas de ambas Cámaras, con especial atención al seguimiento de los proyectos de ley, contribuyendo a la certeza legislativa y a disminuir la brecha de disponibilidad de información y análisis entre Legislativo y Ejecutivo.

Contacto

E-mail: atencionparlamentarios@bcn.cl
Tel.: (56)32-226 3168 (Valpo.)

El presente documento responde a una solicitud de Comisión Legislativa de Minería y Energía del Congreso Nacional, conforme a sus orientaciones y particulares requerimientos. Por consiguiente, tanto la temática abordada como sus contenidos están determinados por los parámetros de análisis acordados y por el plazo de entrega convenido. Su objeto fundamental no es el debate académico, si bien su elaboración observó los criterios de validez, confiabilidad, neutralidad y oportunidad en la entrega.

Nicolás García Bernal

Es Administrador público (Universidad de Santiago, Chile) y Magíster en Economía mención en Políticas Públicas (Pontificia Universidad Católica, Chile). E-mail: ngarcia@bcn.cl Tel.: +56 22 270 1778
Tel.: (56) 32 226 3125

...

Tabla de Contenido

Introducción 2

I. Consumo de agua en la minería..... 2

ii. Desarrollo de plantas desalinizadoras en Chile..... 3

iii. Costos del proceso de desalinización..... 3

iv. Eficiencia en el uso del agua..... 5

v. Conclusiones y perspectivas en el desarrollo de plantas desalinizadoras 5

Introducción

La minería chilena, específicamente la asociada al cobre, consume agua fresca para el proceso de de concentración y hidrometalurgia. El uso de esta puede ser en forma directa o desalada. El agua de mar desalada es extraída del mar y es sometida a un proceso de desalinización mediante osmosis inversa u otro proceso, para lograr una calidad compatible con el proceso minero. El agua de mar no desalada es extraída del mar y es utilizada directamente en el proceso minero previo tratamiento primario, manteniendo su contenido salino.

Los avances tecnológico han reducido - significativamente en los últimos 30 años - los costos energéticos (y por tanto económicos) de desalar agua, lo que ha provocado su expansión en todas las zonas costeras del mundo con problemas de suministro (BBC, 2017).

Actualmente, el proceso de osmosis inversa es el más usado para llevar a cabo la desalinización del agua, existiendo 11 operaciones con empleo directo de agua de mar en sus procesos y/o de desalinización. A futuro, se prevén al menos 20.

Con el objeto de analizar las implicancias económicas de la inversión y operación de plantas desalinizadoras en Chile, el presente documento realiza un estudio y análisis que busca contextualizar económicamente el caso chileno. Para esto el informe se divide en 5 secciones: i) Consumo de agua en la minería; ii) Desarrollo de plantas

desalinizadoras en Chile; iii) Costos del proceso de desalinización; iv) Eficiencia en el uso de agua; y finalmente v) Conclusiones y perspectivas en el desarrollo de plantas desalinizadoras de agua.

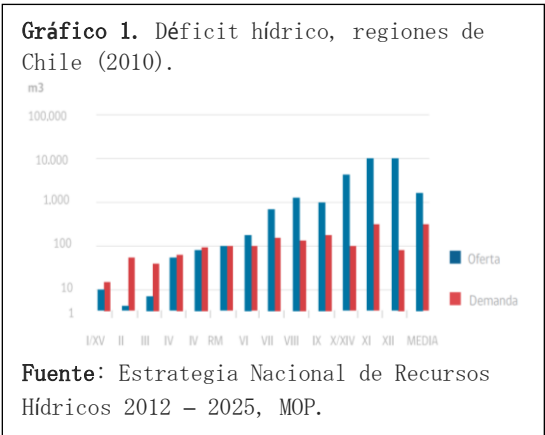
I. Consumo de agua en la minería

De acuerdo a la Dirección General de Aguas (DGA) el 2016 la minería consumió sólo el 3% del total del agua fresca consumida en el territorio nacional¹, muy por debajo al 82% del sector agropecuario, y al 7% consumido por el sector industrial. En términos absolutos, según la Comisión Chilena del Cobre (Cochilco) sólo la minería del cobre consumió aprox. 1.800 millones de m³ de agua fresca durante el 2015.

Pese a lo anterior, la actividad minera se enfrenta a un escenario restrictivo de abastecimiento de agua. El déficit hídrico se produce principalmente en el norte del país, zona que concentra la actividad minera² (gráfico 1).

¹Agua fresca se extrae de aguas superficiales (aguas lluvias, escorrentías, embalses superficiales, lagos y ríos) y aguas subterráneas (aguas alumbradas y acuíferos).

²La gran minería se ubica entre las regiones de Tarapacá y O'Higgins, concentrando el 95% de la producción nacional de cobre.



En consecuencia, el uso de agua de mar dejó de ser considerado sólo una alternativa, siendo ahora necesario para asegurar la producción. Por ello, la extracción de agua de mar creció de forma importante, al punto que durante el periodo 2009 - 2016 se pasó de extraer 0,32 a 2,45 m³/seg, equivalente a un 666% de incremento (Cochilco, 2017). Con este aumento, la extracción del agua de mar pasó del 3% del total de agua extraída por la industria minera al 15%.

El agua de mar puede ser usada en la minería en su forma desalada o no desalada. El uso de agua de mar desalada en el periodo 2009 - 2016, aumentó en un 361%, mientras la no desalada en un 746% (Véase la tabla 1).

Tabla 1. Uso de agua de mar en la minería del cobre 2009 – 2016 (m³/seg)

Año	Desalada	No desalada	Total agua de mar	% del total extracción de agua
2009	0,18	0,14	0,32	3%
2010	0,13	0,11	0,24	2%
2011	0,22	0,49	0,71	5%
2012	0,37	0,61	0,98	7%
2013	0,58	0,71	1,29	9%
2014	0,88	0,82	1,7	12%
2015	0,97	1,31	2,28	15%
2016	0,83	1,61	2,45	15%

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Cochilco (2017).

Prospectivamente, el Consejo Minero estimó que el consumo de agua debiera aumentar por la disminución de las leyes del mineral, dureza y distancias involucradas en los procesos (Consejo Minero, 2016). Más específicamente, se estima que en la minería del cobre al año 2017 el consumo de agua sea

de 20,1 m³/seg, donde un 46% sería agua de mar. Territorialmente el consumo de agua de mar se concentraría en la región de Antofagasta (73%), seguido por Atacama (13%), luego Tarapacá (8%) y Coquimbo con un 6% (Cochilco, 2016a).

ii. Desarrollo de plantas desalinizadoras en Chile

Chile se ha convertido en el país de América Latina con mayor capacidad y potencial para el desarrollo de la desalinización. La escasez hídrica en el norte del país ha llevado a las principales mineras a utilizar agua de mar en sus procesos y a la vez, buscar alternativas tecnológicas para la desalinización y reutilización.

Cada vez son más las mineras que se suman a la construcción de sus propias plantas desalinizadoras. Actualmente en el sector extractivo existen once operaciones con empleo directo de agua de mar en sus procesos y/o de desalinización, destacando la mayor participación de la minería del cobre y a CAP para el caso de la minería de hierro (Cochilco, 2017). La capacidad total instalada de agua desalinizada es de 2.038 l/s y de agua de mar directa en los procesos de 3.648 l/s. A futuro, se prevén al menos 20 proyectos con uso directo de agua de mar y/o desalinización, ubicados principalmente en la zona norte del país (Minería Chilena, 2016).

iii. Costos del proceso de desalinización

Al analizar los costos, se debe diferenciar entre aquellos correspondientes a la inversión necesaria para la planta desalinizadora y los costos propios del proceso de desalinizar el agua de mar.

En general, los costos de capital y de producción del agua desalinizada son muy dependientes del

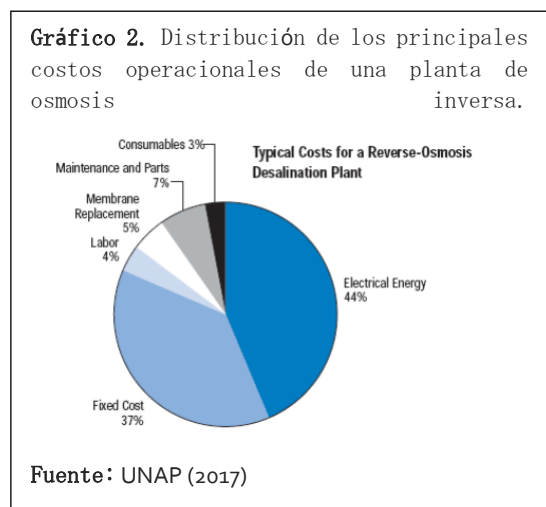
tamaño de planta y del flujo de producción³. Por ejemplo, las plantas que producen sobre 5.000 m³/día, instalan sistemas recuperadores de energía (intercambiador de presión o turbina), lo que contribuye al ahorro de costo de energía.

En el contexto chileno ocurre que pese a la factibilidad comprobada de las plantas desalinizadoras, la necesidad de impulsar el agua desalada a las faenas mineras (alejadas y en altura) hace que estos proyectos sean costosos por los altos requerimientos de electricidad⁴. Los costos de impulsión desde la zona costera hasta las propias faenas, en su mayoría ubicadas sobre los 2.000 metros sobre el nivel del mar (msnm), y a una distancia de la costa de casi 120 km, generan desafíos tanto en lo económico como en lo técnico (Minería Chilena, 2016). Por ejemplo, según la experiencia del Grupo CAP, la energía requerida para el proceso de desalinización representa el 67% del costo, mientras que para el bombeo de agua, que requiere un altísimo consumo de energía, representa el 97% del total del costo operacional del transporte (Comisión de Minería y Energía de la Cámara Diputados, 2017).

Existe una estrecha relación entre el uso de agua de mar y el consumo energético. Según Cochilco, de una manera u otra se estaría traspasando el obstáculo de escasez hídrica a un problema energético (Cochilco, 2017). Por tanto, el costo del agua se transforma ineludiblemente en costo energético. Por ejemplo, a modo de contextualización, Cochilco reportó que el año 2016 el consumo de energía en minería fue de 21,9 Tera Watts – Hora (TWh), en donde el 4% del total (0,86 TWh) se usó para obtener agua de mar a través de desalinización e impulsión. A la vez, Cochilco proyectó que para el año 2027 el consumo total de

energía sería de 29,5 TWh, y un 9% (2,69 TWh) correspondería al uso de agua de mar, pasando a ser el segundo proceso que más demandará energía (Cochilco, 2016b).

Entonces, más de la mitad del costo de producir agua desalada se explicaría por la electricidad. Por otra parte, el hecho de que Chile tenga los costos de electricidad más altos entre los países mineros (representan 15%–20% aprox. de los costos totales de producción⁵), explicaría que la tecnología no sea tan masiva como potencialmente pudiera serlo (Economía y Negocios, 2015). El gráfico 2 muestra como la energía es el principal costo operacional de una planta de osmosis inversa⁶.



En el ámbito de los recursos energéticos, las recientes licitaciones y futura unión del SING y el SIC permiten esperar que los precios que enfrente la minería del cobre en el futuro sean competitivos internacionalmente (del orden de los US\$ 50 -100 por Mw)

³ En Chile se han realizado inversiones de distinta envergadura, por ejemplo, en 2006 BHP Billiton invirtió US\$ 60 millones en una planta para Escondida en Antofagasta, mientras que para el 2013 inició una inversión de US\$ 3.430 millones para una planta que producirá 2.500 litros.

⁴ Según Cochilco, en 2016 la energía eléctrica representó el 9% de los costos operacionales de las empresas de la gran minería del cobre en Chile. El consumo eléctrico para la impulsión y

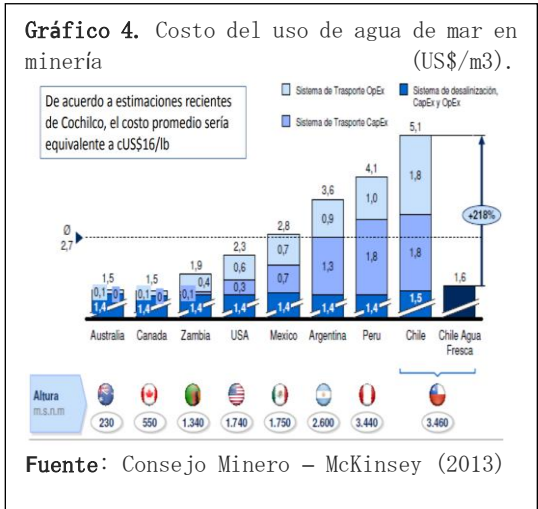
desalación de agua de mar paso de 369 Twh en 2012 a 753 Twh en 2016 (Cochilco, 2017).

⁵ Hace referencia al costo directo y considera los principales elementos de costos de las empresas mineras tales como energía eléctrica, combustibles, remuneraciones, servicios, créditos por subproductos, entre otros.

⁶ De acuerdo a especificaciones técnicas indicadas por Cochilco, se diferencia por potencia requerida en la desalación e impulsión de agua.

El consumo de energía en la desalinización de agua de mar (por ósmosis inversa) representa un tercio del costo total del proceso, lo que dependiendo de la capacidad de tratamiento de la planta desaladora, tendría un costo total que oscila entre los 0,6 y 1,2 US\$/m3 (Revista Electricidad, 2014).

Ahora bien, de acuerdo a un análisis hecho por el Consejo Minero (gráfico 4), en base a datos proporcionados por Wood Mackenzie, CRU Group y Mckinsey (2013), se indicó que en promedio las firmas pagan US\$5 por m3 de agua de mar desalada puesta en la mina, mientras que la misma unidad de agua fresca costaba US\$1,6 (Nueva Minería, 2013). Por tanto, debido al alto costo energético, el costo de la desalinización en Chile es dos veces más caro que en Estados Unidos, país en donde costaba solo US\$2,3 el m3, mientras que costo ascendía a US\$2,8/m3 en México (Mining, 2014).



Como es de esperar, el metro cúbico de agua desalada tiene un costo menor si está en la costa (US\$ 1), y sube conforme se bombea hacia el interior. En zonas de altura, donde están varias mineras, puede llegar a costar entre US\$ 8 y US\$ 10 /m3 (Economía y Negocios, 2015). En el 2016, el Consejo Minero indicó que estaría en torno a US\$ 5 por m3, lo que es más de tres veces el costo de fuentes continentales (Consejo Minero, 2016).

A futuro se prevé que los avances tecnológicos reducirán el costo del agua desalinizada en un 20% en los próximos cinco años y en un 60% en los próximos 20 años (Véase la tabla 2), convirtiéndolo en un competidor viable y rentable para la

producción de agua (International Water Association, 2017).

Tabla 2. Previsión de costos de desalinización para proyectos de tamaño mediano y grande.

Parámetro para la mejor clase de plantas de desalinización	Año 2016	Dentro de 5 años	Dentro de 20 años
Costo del agua (US\$/m3)	0,8-1,2	0,6-1,0	0,3-0,5
Costo de construcción (US\$/MLD)	1,2-2,2	1,0-1,8	0,5-0,9
Uso de energía eléctrica (kWh/m3)	3,5-4,0	2,8-3,2	2,1-2,4
Productividad de la membrana (m3/membrana)	28-47	35-55	95-120

Fuente: Elaborado a partir de cifras publicadas por International Water Association (2016)

iv. Eficiencia en el uso del agua

En los últimos años ha existido una mejora considerable en la eficiencia en la gestión del agua por proceso minero, lo que ha contribuido en la reducción de costos. Por ejemplo, según información provista por Cochilco, en 2015 los coeficientes unitarios en concentración e hidrometalurgia disminuyeron en un 2,4% y 6,7% respecto al año 2009. En la misma línea, se redujo el porcentaje de reutilización de las aguas, tanto en la faena completa como en la planta concentradora, que para el año 2016 fueron de 74,3% y 71%, respectivamente (Cochilco, 2017).

v. Conclusiones y perspectivas en el desarrollo de plantas desalinizadoras

De acuerdo al estudio de Proyección del consumo de energía eléctrica en la minería del cobre 2016 – 2027 elaborado por Cochilco, se espera que la producción de cobre los próximos años sea dominada por la producción de concentrados de cobre, proceso que es intensivo de energía eléctrica (Cochilco, 2016b). Por tanto, al estar el consumo de agua de mar íntimamente ligado al consumo de energía, se espera que aumente la demanda de ambos, por lo que para asegurar la viabilidad minera se debe mejorar la disponibilidad de ambos recursos.

En esta misma línea, Cochilco plantea que a escala regional, el compartir la red de tuberías e infraestructura de desalinización para el suministro de agua de mar entre las distintas empresas de minería aparece como una propuesta lógica para un menor consumo de energía y la disminución de los costos financieros (Cochilco, 2017). Por ejemplo, por ejemplo, según lo reportado por el grupo CAP en la Comisión de Minería y Energía en la Cámara de Diputados, el CAPEX de un proyecto

de desalinización es altamente dependiente de la economía de escala, siendo rentable si supera los 500 l/s de producción, disminuyendo el costo unitario de inversión y producción.

Referencias

- BBC (2017, Marzo). "¿Puede la desalinización ser la solución para la crisis mundial del agua?". Disponible en: <http://bcn.cl/21u5k> (Agosto, 2017)
- Comisión Chilena del Cobre (2016a). Proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2016 – 2027. Santiago, Chile. Disponible en: <http://bcn.cl/21u4x>
- Comisión Chilena del Cobre (2016b). Proyección del consumo de energía eléctrica en la minería del cobre 2016 – 2027. Santiago, Chile. Disponible en: <http://bcn.cl/21u56>
- Comisión Chilena del Cobre (2017). Consumo de agua en la minería del cobre al 2016. Santiago, Chile. Disponible en: <http://bcn.cl/21u4z>
- Consejo Minero (2016). Minería y uso sustentable del agua. Santiago, Chile. Disponible en: <http://bcn.cl/21u5g>
- Dirección General de Aguas (2015). Atlas del Agua 2016. Santiago, Chile. Disponible en: <http://bcn.cl/21u4q>
- Economía y Negocios (2015, Agosto). "Aumentan plantas desaladoras en Chile y se proyectan cerca de 20 en cinco años". Santiago, Chile. Disponible en: <http://bcn.cl/21u5i> (Agosto, 2017)
- International Water Association (2017, Agosto). "Desalination – Past, Present and Future". Disponible en: <http://bcn.cl/21u5n>
- Mining (2014, Enero). "Chile set to make mining desalination mandatory". Disponible en: <http://bcn.cl/21u5q> (Agosto, 2017)
- Ministerio de Obras Públicas (2012). Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012 – 2025. Santiago Chile. Disponible en: <http://bcn.cl/1zem9>
- Nueva Minería (2017, Julio). "Grandes Mineras aseguran que desalar agua en Chile cuesta el doble que en EEUU". Disponible en: <http://bcn.cl/21u5t> (Agosto, 2017)
- Revista Electricidad (2014, Septiembre). Proceso, costo y proyectos: Desalinización en la industria minera. Disponible en: <http://bcn.cl/21u58> (Agosto, 2017)

- Revista Minería Chilena (2016). "Agua de Mar y desalinización: Una solución más amigable, pero a mayores costos". Disponible en: <http://bcn.cl/21u5a> (Agosto, 2017)
- UNAP (2017). Presentación Cristian Wedeles, "Desalinización: El mar como fuente de agua para el norte de Chile". Disponible en: <http://bcn.cl/21u6h>