



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

RIESGO HÍDRICO EN LA INDUSTRIA MINERA

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN
GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS

JORGE ROBERTO SEREY RODRIGUEZ

PROFESOR GUÍA:
ROBERTO FRÉRAUT CONTRERAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN
JACQUES CLERC PARADA

SANTIAGO DE CHILE
2023

RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR

AL GRADO DE: Magister en Gestión
y Dirección de Empresas

POR: Jorge Roberto Serey Rodríguez

FECHA: 2023

PROFESOR GUÍA: Roberto Frérait Contreras

El agua es un insumo crítico para el consumo humano y desarrollo del país, en particular para la industria minera de Chile. Si bien esta industria representa solo el 3.8% de la demanda total nacional, su desarrollo se enmarca en las regiones centro y norte, donde la condición de stress hídrico es preocupante. En la actualidad el consumo total de agua es $\sim 19 \text{ m}^3/\text{s}$, de los cuales el 70% m^3/s provienen de aguas continentales y el 30% de agua de mar. Al considerar la capacidad de recirculación de las plantas, el uso de agua para producir cobre se distribuye de la siguiente manera: 73% agua recirculada, 19% agua continental, 8% agua de mar. De acuerdo con las proyecciones de Cochilco, se estima que para el año 2031, el consumo total de agua en la industria minera supere los $23 \text{ m}^3/\text{s}$, casi un 25% más de lo que hoy se consume.

Los estudios de organismos internacionales como OCDE, Foro Económico Mundial, World Resources Institute, entre otros, han puesto de manifiesto que el agua será una problemática importante para el desarrollo de toda la humanidad. En Chile, los estudios de la DGA y organismos como Fundación Chile, sólo por nombrar algunos, han puesto de manifiesto la disminución de oferta y disponibilidad de agua. La DGA a través del último balance hídrico nacional, ha estimado que en el peor de los casos las reducciones de disponibilidad de agua superarían el 50% en el período 2030-2060 debido al cambio climático. Como evidencia del problema, la sequía que afecta a la zona central del país ha implicado mermas en la producción de cobre de algunas mineras, teniendo que invertir grandes sumas de dinero en planes de contingencia para mitigar estos efectos.

En la última década, la gran minería ha realizado esfuerzos notables en mejorar la eficiencia de uso del recurso agua, reduciendo el consumo unitario, aumentando la reutilización e incorporando la tecnología de desalación de agua de mar en los procesos. Sin embargo, los desafíos son mayores considerando que la situación hídrica ha venido agravándose en las últimas décadas. El desafío de la industria minera es reforzar el compromiso de disminuir fuertemente el uso de agua continental: bajar del actual 19% a 10% en 2025 y a 5% en 2040 de acuerdo con la Política Nacional Minera 2050. Para esto, se requiere materializar en forma sustentable proyectos innovadores y tecnológicos, que incrementen más aún el uso de agua desalada, incorporar nuevas fuentes de aguas (industriales) y continúen con mejoras en los procesos, entre otras medidas de largo aliento, las cuales requerirán altas inversiones, permisos ambientales y sociales.

Las estrategias de gestión hídrica que implementen las mineras deben ser innovadoras, entendiendo que son una forma de relacionarse con los territorios en los que convivimos. La industria debe transitar hacia una mirada ecosistémica de los territorios, en la que se logre el desarrollo armónico tanto de los recursos mineros como de los demás intereses presentes en el entorno, a través de iniciativas de colaboración y trabajo en alianza con los distintos grupos de interés y los ecosistemas. Chile debe seguir siendo un país líder en la minería del cobre, la cual tendrá un rol fundamental en la transición a la electro-movilidad para reducir las emisiones globales e intensidad del cambio Climático.

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

A mi esposa Camila y a mis hijos Diego, Matías y Josefina, que me apoyaron y soportaron en este proceso de estudio tan importante.

A mis papás, hermanas y sobrinos, en especial, a mi querida Marcela que nos cuida desde el cielo.

A mis compañeros del MBA con los cuales viví esta gran experiencia.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	iii
INDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	vi
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Situación hídrica en el escenario global.....	1
1.2 Situación hídrica en Chile y en la Industria Minera	2
2 EL AGUA, ELEMENTO ESTRATÉGICO PARA LA MINERÍA.....	5
3 OBJETIVOS.....	6
4 METODOLOGÍA	7
4.1 Diagnóstico de la situación hídrica nacional	7
4.2 Diagnóstico situación actual	7
4.3 Proyección demanda de agua.....	7
4.4 Análisis de riesgos	7
4.5 Propuesta estratégica.....	8
5 SITUACIÓN HÍDRICA DE LAS MACROZONAS NORTE Y CENTRO	9
5.1 Análisis del período 1950-1980 v/s 1985-2015	9
5.2 Proyección futura en el período 2030-2060.....	11
5.3 Riesgo hídrico nacional	13
6 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	15
6.1 Disponibilidad de información	15
6.2 Contexto de leyes de mineral y material procesado	15
6.3 Make up de agua	16
6.4 Recirculación y consumo total de agua	17
6.5 Eficiencia y consumo unitario	18
7 RADIOGRAFÍA AL CONSUMO DE AGUA DE MAR.....	20
7.1 Contexto.....	20
7.2 Consumo energético	22
7.3 Costos de inversión y operación	24
8 PROYECCIÓN DEMANDA DE AGUA EN MINERÍA.....	26
9 RIESGOS PARA EL SUMINISTRO DE AGUA	28
9.1 Demandas sociales y de comunidades	28
9.2 Cambios regulatorios y normativos (derechos de agua).....	29

9.3	Riesgos en el uso de agua de mar	29
9.4	Cambio climático y Brecha Hídrica.....	30
9.5	Mayor sensibilidad a impactos ambientales y aprobación de proyectos	31
10	PROPUESTA ESTRATÉGICA Y CASOS DE EJEMPLO	33
10.1	Incorporación de nuevas tecnologías	33
10.2	Integración regional y gobernanza	37
10.3	Creación de proyectos más sustentables	38
	Desafíos	39
	Oportunidades.....	39
11	CONCLUSIÓN	40
	BIBLIOGRAFÍA	43

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Plantas operativas para suministro de agua de mar	21
Tabla 2. Iniciativas de nuevos proyectos de suministro de agua de mar	21
Tabla 3. Principales herramientas para la transformación digital (Adaptado de Idrica)	36

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Distribución de Agua en el Mundo	1
Figura 2. Distribución del consumo nacional del agua superficial y subterránea	3
Figura 3. Distribución del consumo por regiones.....	4
Figura 4. Variación de precipitaciones entre los períodos temporales (1950-1980) y (1985- 2015). (Valores negativos indican menor flujo en el periodo temporal más reciente (1985-2015) y valores positivos indican incremento).....	10
Figura 5. Tendencia de disminución de caudales en río Aconcagua en Chacabucuito.....	11
Figura 6. Tendencia de disminución de caudales en río Mapocho en Los Almendros	11
Figura 7. Estimación de la variación de precipitaciones medias anuales entre los períodos 2030-2060 y 1985-2015 – Promedio de los 4 modelos de cambio climático	12
Figura 8. Estimación de la variación de la escorrentía natural entre los períodos 2030-2060 y 1985-2015. Promedio de los 4 modelos de cambio climático	12
Figura 9. Variación porcentual promedio de la precipitación (Pp), escorrentía (Q) y evapotranspiración (ET 1985-2015 y 2030-2060).....	13
Figura 10. Brecha Hídrica en 25 cuencas analizadas	14
Figura 11. Evolución de leyes de mineral	16
Figura 12. Evolución de la producción de cobre	16
Figura 13. Consumo y distribución de agua (make up) en la minería.....	17
Figura 14. Uso de agua total y recirculada en la industria minera, distribución según los distintos orígenes.....	18
Figura 15. Aumento de eficiencia en el consumo unitario de agua continental.....	19
Figura 16. Aumento de eficiencia en el consumo total de agua para los principales procesos mineros	19
Figura 17. Proceso típico de Osmosis Inversa para desalación	20
Figura 18. Planta desaladora de Escondida 2500 l/s	22
Figura 19. Consumo total de energía minería del cobre (a) y aumento del consumo energético debido a la desalación y sistemas de impulsión	23
Figura 20. Proyección de los consumos de energía (TWh).....	24
Figura 21. Costo de agua desalinizada	25
Figura 22. Proyección Consumo y distribución de agua (make up) en la minería.....	26
Figura 23. Resultado encuesta ciudadana a la pregunta: ¿Cuáles son las dos causas que identifica u. como las principales responsables de la crisis hídrica en su región?	31
Figura 24. Resultado encuesta ciudadana a la pregunta: ¿Cuáles son las dos causas que identifica u. como las principales responsables de la crisis hídrica en su región? Por Zona Geográfica.....	31
Figura 25. Bolas flotantes para disminuir evaporación	33

Figura 26. Paneles Flotantes Solares 35

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Situación hídrica en el escenario global

El agua es un bien muy escaso, de la totalidad de agua que dispone el planeta, sólo el 2.5% corresponde a agua fresca y sólo el 0.62% está disponible para consumo humano, la agricultura y las industrias (ver Figura 1).



Figura 1. Distribución de Agua en el Mundo
(Fuente: Portal Agua.org.mx)

El riesgo hídrico es uno de los problemas fundamentales que enfrenta hoy la humanidad, lo cual se ha dicho en los foros de las principales entidades mundiales. La OCDE (2015) realiza el siguiente diagnóstico ([2]):

- El agua dulce accesible y de alta calidad es un recurso limitado y de gran variabilidad. Las proyecciones indican que el 40% de la población mundial vivirá en cuencas hidrográficas bajo estrés hídrico y la demanda del agua se incrementará en un 55% para el año 2050.
- La sobre-explotación y contaminación de los acuíferos a nivel mundial planteará retos importantes a la seguridad alimentaria, a la salud de los ecosistemas y al suministro de agua potable, y elevará el riesgo de subsidencia, entre otras repercusiones.
- Para el año 2050 se espera que 240 millones de personas sigan aún sin acceso al agua potable y que 1400 millones tampoco tendrán acceso al saneamiento básico.
- La infraestructura hidráulica en el área de la OCDE está envejeciendo, la tecnología está obsoleta y los sistemas de gobernanza a menudo no están bien equipados para atender la creciente demanda, los desafíos ambientales, el continuo proceso de urbanización, la

variabilidad climática y los desastres ocasionados por el agua. Se requiere una inversión considerable para renovar y modernizar la infraestructura de suministro de agua y saneamiento.

El World Economic Forum (WEF) plantea lo siguiente:

- Los riesgos de mayor significancia en el futuro serán la incapacidad de adaptarnos y mitigar el cambio climático, las armas de destrucción masiva y la crisis hídrica ([3]).
- Los fenómenos meteorológicos serán cada vez más frecuentes y extremos; incluyendo incendios, inundaciones y sequías. Esto podría desplazar a más de 200 millones de personas para 2050. La escasez de agua es un factor clave de la migración y los conflictos que esta puede desencadenar, por su impacto en la salud y medios de subsistencia ([4]).

El economista Luís Torras, a través del WEF pone en evidencia la crisis ([3]):

- Para cubrir la creciente demanda de alimentos, impulsada por una demografía y prosperidad crecientes a nivel mundial, se estima que el conjunto del sector agrícola tendrá que ser capaz de incrementar la producción en un 70% de aquí a 2050, lo que pone una enorme presión sobre el agua, que es el combustible de la agricultura.
- El grueso de las cuencas hídricas del planeta y fuentes de agua fresca están siendo sobreexplotadas o se encuentran al límite de su capacidad, sobre todo en el conjunto de países emergentes.

El World Resources Institute (WRI) monitorea constantemente el nivel de riesgo hídrico mundial, tomando aspectos como disponibilidad, calidad y regulatorios. Chile aparece dentro de los 30 países con mayor Riesgo Hídrico en el mundo al año 2040 ([6]).

Todos estos antecedentes nos sitúan en un contexto bastante evidente de que el agua es de suma importancia para la vida humana y la prosperidad socio económica. Por lo tanto, la minería como una de las principales actividades económicas del país y que aporta al estado de Chile ~ 12% del PIB, tiene el deber de estar continuamente velando por el buen uso del recurso, en forma eficiente y sustentable, incorporando nuevas fuentes que suplan gradualmente el consumo de agua continental e incorporando la tecnología e innovaciones.

1.2 Situación hídrica en Chile y en la Industria Minera

En vista del desafío grande que tiene el recurso hídrico para el país, se destaca la iniciativa de Escenarios Hídricos 2030 (EH-2030), la cual generó una Radiografía del Agua que contiene información muy valiosa para la gestión de los diferentes actores públicos y privados. En ella se estableció que gran parte de nuestras cuencas tienen brechas hídricas altas, es más, indica que existe un sobre otorgamiento de derechos de aprovechamiento de agua que supera más de seis veces la extracción actual del recurso a nivel nacional (EH-2030, 2018 [3]).

A su vez, EH-2030, identifica los principales problemas vinculados al recurso hídrico ([7]): el 44% obedece a fallas en la gestión del agua y su gobernanza; el 17% es provocado por el crecimiento de las actividades productivas y el sobre otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas; un 14% por la contaminación del agua, como el uso de productos químicos en la agroindustria. Las causas eminentemente naturales, como la disminución de precipitaciones de agua y nieve, y el derretimiento de nieve y retroceso de glaciares por aumento de temperaturas, aparecen recién en un cuarto lugar, con un 12%.

Mirando algunas cifras macro respecto a los mayores consumidores de agua del país, nos encontramos con que la industria minera de Chile consume poco más del 3.8% de la demanda total nacional (ver Figura 2), en comparación con el 88% que consume el sector agrícola (EH-2030, 2018 [3]).

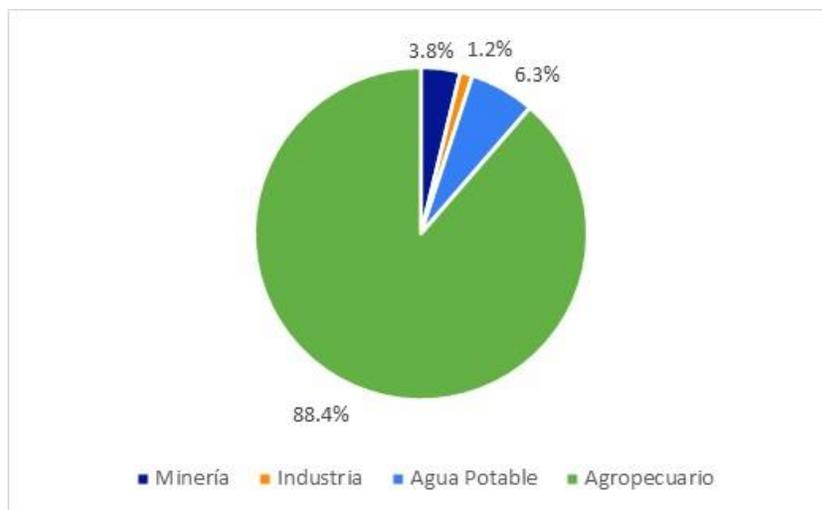


Figura 2. Distribución del consumo nacional del agua superficial y subterránea (Elaboración propia)

Sin embargo, la minería enfrenta un problema estructural ya que ésta se desarrolla en las regiones del centro y norte, donde la condición de stress hídrico es muy preocupante. La Figura 3 muestra la distribución del consumo respecto a cada región (Consejo Minero [9]):

Las regiones del norte, I, II y III la minería tiene una incidencia bastante significativa. Por otro lado, las regiones IV, V, RM y VI representan un porcentaje bastante menor, inferior al 2%.

La situación hídrica ha venido agravándose en las últimas décadas, según el Balance Hídrico Nacional la oferta de agua se podría reducir hasta en más de un 50% en el período 2030-2060 debido al cambio climático, viendo amenazada la posibilidad de suplir toda la demanda, pudiendo impactar severamente a esta u otras industrias. De hecho, en los últimos años, hay casos de mineras que han detenido temporalmente su operación por falta de agua y mantener equipos de trabajo buscando soluciones para mitigar estos impactos.

Hay una preocupación constante de esta situación, y a menudo se presentan análisis para estimar la demanda de agua en la minería basado en los consumos unitarios y los crecimientos esperados de producción en base a los proyectos que hay en carpeta, mostrando que el consumo de agua continental se mantendrá a niveles similares a los actuales y que habrá un crecimiento importante del uso de agua de mar. Al no incorporar la variable hidrológica y el concepto de oferta de agua, los resultados se interpretan como una “intención” de consumo de la industria, pero no necesariamente evalúan el riesgo. Por otro lado, factores legales, regulatorios y el crecimiento de otros sectores por el agua juegan y jugarán más fuertemente un rol importante en la competencia por este recurso.

Pese a la realidad y proyecciones de aumento de brechas entre la demanda y oferta de agua para la industria minera, se presentan oportunidades de mejora en esta materia, desde incrementar el uso

de agua de mar, continuar con las mejoras en los procesos y eficiencia, hasta buscar nuevas fuentes de agua como las aguas residuales tratadas y el trasvase desde otras cuencas con mayor disponibilidad. Sin embargo, la gran mayoría son de largo aliento y requerirán autorizaciones de las autoridades medioambientales y licencia social que son un gran desafío de obtener al corto y mediano plazo.

Considerando todo lo anterior, la industria minera presenta un riesgo latente de déficit de agua y aumento de costos por este insumo crítico en las próximas décadas.

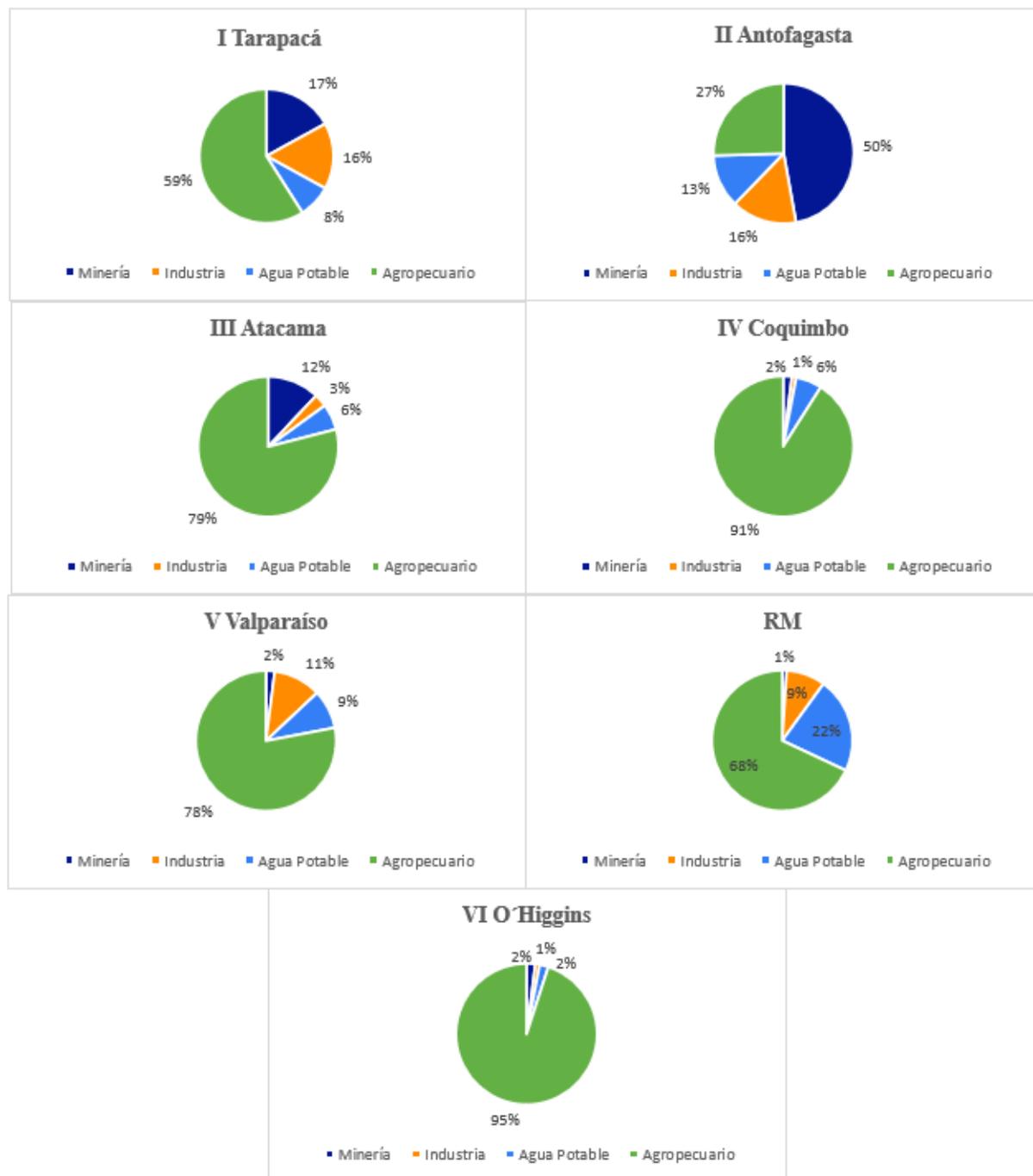


Figura 3. Distribución del consumo por regiones (Elaboración propia)

2 EL AGUA, ELEMENTO ESTRATÉGICO PARA LA MINERÍA

El agua en la industria minera es un tema estratégico fundamental, ya que es el insumo crítico que permitirá mantener y crecer en relación con los desafíos para paliar el cambio climático y transitar hacia productos con altos requerimientos de cobre, litio, cobalto y otros minerales importantes para Chile.

La competencia por este recurso es fuerte con otros sectores de la sociedad: consumo humano, agricultura e industria; y se debe tener presente que pese al bajo consumo comparativo a nivel nacional y los esfuerzos por desarrollar tecnologías en la materia, hay una percepción social generalizada en contra de la minería que puede afectar el crecimiento de la industria.

En un escenario de escasez hídrica, la prioridad la tiene el consumo humano y todos los actores de la sociedad debemos hacer los esfuerzos necesarios para que las comunidades cuenten con el agua que necesitan y se puedan preservar los ecosistemas afectados. El escenario de la actual pandemia de COVID-19 ha acentuado esta necesidad desde un punto de vista sanitario, haciendo aún más críticas situaciones ya sensibles.

El enfoque de proyectos y operaciones mineras debería basarse en la sustentabilidad y ser de carácter colaborativo. Los planes de desarrollo no pueden ser de corto plazo y las acciones y hojas de rutas deben incorporar a las comunidades y respeto irrestricto al medio ambiente, sólo así el abastecimiento de este bien escaso podrá tener seguridad y resiliencia.

Sin duda el agua de mar es una realidad y una solución para una buena parte de la industria minera que se concentra en el norte del país. Que ha debido enfrentar costos de inversión y operacionales importantes en desalar y bombear por cientos de kilómetros y a gran altura hacia los puntos de consumo. Las mineras de la zona centro tendrán que seguir esta senda, pero enfrentan desafíos mayores por su nivel de exposición a zonas urbanas e interacción con la agricultura y otras industrias.

Es necesario avanzar en modelos de negocio distintos a los actuales, por ejemplo, incorporar actores como operadores de agua, que puedan integrar distintas fuentes, administrar, construir infraestructura y distribuir a distintos usuarios, entre ellos las mineras.

Las mineras deben estar a la altura de este desafío país, promoviendo centros de integración tecnológica y de innovación.

El aseguramiento del insumo de agua en la minería sin duda tiene una dimensión económica y financiera relevante, ya que las inversiones y costos de operación se verán incrementados.

Como evidencia del problema, la sequía que afecta a la zona central del país ha implicado mermas en la producción de cobre y se han tenido que invertir grandes sumas de dinero en planes de contingencia para mitigar estos efectos.

3 OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es conocer la situación actual del suministro de agua en la gran minería del cobre chilena, su evolución a la fecha, tendencias y proyecciones. Se busca conocer, entender y cuantificar los factores de riesgos que amenazan hoy a futuro la seguridad del abastecimiento seguro de este insumo crítico.

Se requiere tener una visión global, identificando las oportunidades y enfoques estratégicos que deberían tomar las empresas mineras para abordar esta problemática, agregando valor a la sustentabilidad y competitividad del negocio y su entorno.

Los objetivos específicos del trabajo son:

- Realizar un diagnóstico de la disponibilidad de agua continental y sus proyecciones, basadas en las condiciones hídricas que se presentan en las principales cuencas donde se desarrolla la actividad minera, considerando como factor clave el cambio climático.
- Realizar un diagnóstico de la situación actual de la demanda de agua en la industria, analizando como se compone la matriz hídrica minera y sus principales tendencias. En específico, se evaluará el impacto que ha tenido la incorporación de agua de mar desalada y los costos que esto implica.
- Realizar un análisis de la proyección de consumo de agua en la minería, con la finalidad de sopesar el nivel de esfuerzo que tendrá que abordar la minería chilena en los próximos años.
- Analizar los principales riesgos y el impacto que éstos pudieran tener en la industria minera nacional frente a la escases de agua en las próximas décadas, considerando los factores sociales, regulatorios, ambientales, entre otros.
- Realizar una propuesta estratégica con medidas e iniciativas mitigar los riesgos y fortalecer el compromiso de una minería aún más sustentable e integrada con el entorno donde se desarrollan las operaciones.

4 METODOLOGÍA

La siguiente metodología empleada en el presente trabajo se describe a continuación.

4.1 Diagnóstico de la situación hídrica nacional

Para aproximarnos al diagnóstico de la situación hídrica nacional, en especial de las macrozonas centro y norte, se contemplaron las siguientes actividades:

- Revisión de los últimos estudios de la Dirección General de Aguas (DGA) y sus organismos afines, basado principalmente en el último Balance Nacional del Agua, para dar a conocer la situación general de la oferta en las principales regiones del país. En particular, se revisarán las tendencias de lluvia y escorrentía de las principales cuencas de la zona central de Chile.
- Revisión de los reportes del Escenarios Hídricos 2030 (EH-2030), para evaluar el contexto general de los distintos actores consumidores de agua y evaluar el nivel de riesgos que tienen y pronostican para las principales cuencas donde se desarrolla la actividad minera.

4.2 Diagnóstico situación actual

En esta etapa de diagnóstico, se contemplaron las siguientes actividades:

- Revisión de los estudios de Cochilco y datos del Consejo Minero para establecer la matriz hídrica y el perfil de consumo de agua que poseen las principales empresas mineras y cómo esto ha ido evolucionando a la fecha. A su vez, permitir tener un marco de referencia dentro de los distintos actores que operan en el país (otras industrias y consumo humano).
- Cálculo de parámetros relevantes para aproximarnos a la evolución en la eficiencia hídrica que tiene la industria minera: consumos unitarios, tasa de recirculación, tasa de consumo de agua continental, entre otros.
- Revisión bibliográfica de estudios que muestren las estructuras de costos de inversión y operación en proyectos de agua desalada, para entender el impacto que esta tecnología e innovación significa para la industria.

4.3 Proyección demanda de agua

Para tener una mirada hacia el futuro y establecer los desafíos de suministro de agua para la industria minera se consideraron las siguientes evaluaciones:

- Revisión de los estudios de Cochilco para estimar la proyección general del crecimiento de la industria minera, con el objetivo de contextualizar la magnitud del crecimiento de los volúmenes de agua requeridos para operar y cuando ocurrirán estas necesidades. Las evaluaciones se realizan diferenciando el tipo de agua (continental o de mar) diferenciando en las distintas regiones donde se desempeña la minería.

4.4 Análisis de riesgos

El análisis de riesgo asociado a los escasos recursos hídricos y los proyectos asociados se realiza consultando material referente a proyectos de ley actuales, por ejemplo, el que busca regular el

consumo de agua desalada. En conjunto, se evalúan los principales análisis al respecto que han hecho los organismos interesados en la materia como el Consejo Minero, entre otros.

Los factores de riesgo más relevantes en la evaluación son:

- Demandas sociales y de comunidades.
- Cambios regulatorios y normativos (derechos de agua).
- Cambio climático y sus efectos sobre la disponibilidad de aguas naturales.
- Cambio normativo para el uso de agua desalada.
- Mayor sensibilidad a impactos ambientales.

4.5 Propuesta estratégica

En base a los análisis de los puntos previos, este capítulo ofrece una propuesta de ejes fundamentales que debe abordar la industria minera en su gestión hídrica, para adaptarse a los desafíos y guíe la toma de decisiones acordes a la realidad de las regiones donde se desenvuelven.

Los tópicos de análisis se refieren a:

- Incorporación de nuevas tecnologías para aumentar la eficiencia en el consumo de agua.
- Integración regional y visión colaborativa, para aportar a la seguridad hídrica de las regiones que se desenvuelven las operaciones.
- Nuevos proyectos que cumplan con los objetivos de la Política Nacional Minera 2050 (PNM 2050) en lo referente al consumo de agua.

5 SITUACIÓN HÍDRICA DE LAS MACROZONAS NORTE Y CENTRO

El presente capítulo busca poner en evidencia el efecto del cambio climático en las últimas décadas, en precipitaciones y escorrentía, de la zona centro y norte del país. Así como la proyección desfavorable que se espera en el futuro.

El estudio central analizado corresponde a la Aplicación de la Metodología de Actualización del Balance Hídrico Nacional en las Cuencas de las Macrozonas Norte y Centro DGA (2017, 2018 [10], [11]).

5.1 Análisis del período 1950-1980 v/s 1985-2015

En el estudio DGA (2018) se muestra un déficit importante de precipitaciones en el período 1985-2015, respecto al período 1950-1980. Esto es más significativo en las cuencas de la zona norte del país, donde en promedio el déficit tiene una mediana de -45% (cuencas 1 a 9). Mientras que en la zona central el déficit tiene una mediana de -20% (cuencas 12 al 16), ver Figura 4.

Esta información muestra el descenso significativo en precipitaciones en los últimos 30 años de análisis, lo cual se condice con la menor disponibilidad de agua en las cuencas donde se desarrolla la minería, lo cual sumado a aumentos de demanda de agua una menor disponibilidad del recurso.

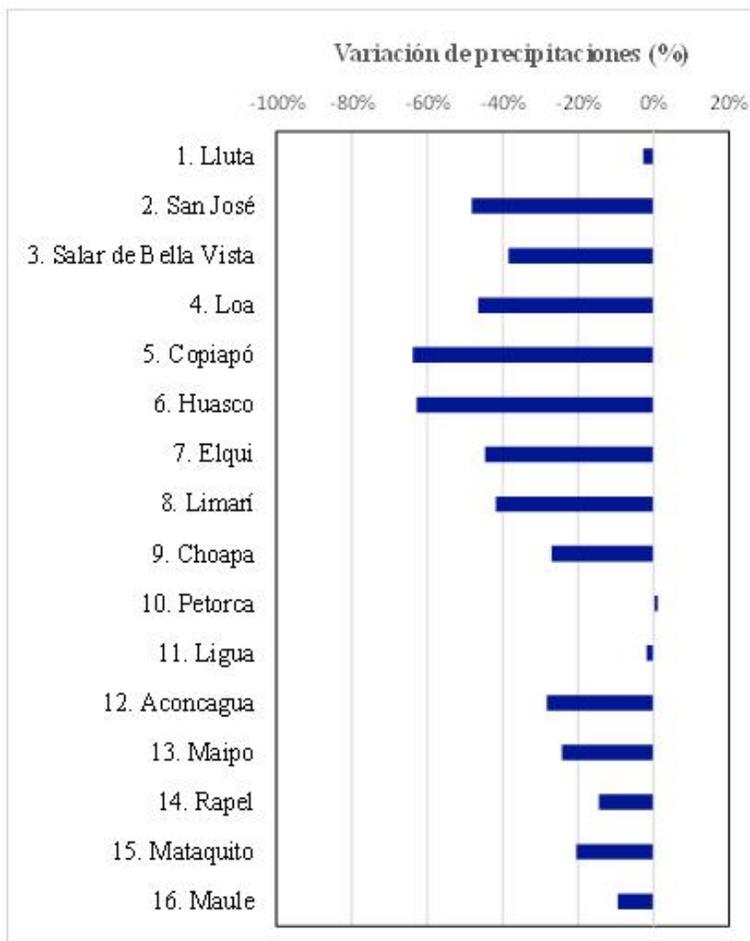


Figura 4. Variación de precipitaciones entre los períodos temporales (1950-1980) y (1985- 2015). (Valores negativos indican menor flujo en el periodo temporal más reciente (1985-2015) y valores positivos indican incremento) (Fuente: Elaboración Propia)

En conjunto con la disminución de las precipitaciones, también se ha evidenciado una disminución en la escorrentía de los principales cauces. Para ejemplificar, se analizó el período estadístico entre los años hidrológicos 1980 y 2020 de los medios anuales registrados en las estaciones DGA río Aconcagua en Chacabuquito y del registro de la estación DGA Mapocho en Los Almendros. El análisis detectó una clara tendencia a la baja de los caudales, como la que se observa en la Figura 5 y Figura 6 respectivamente.

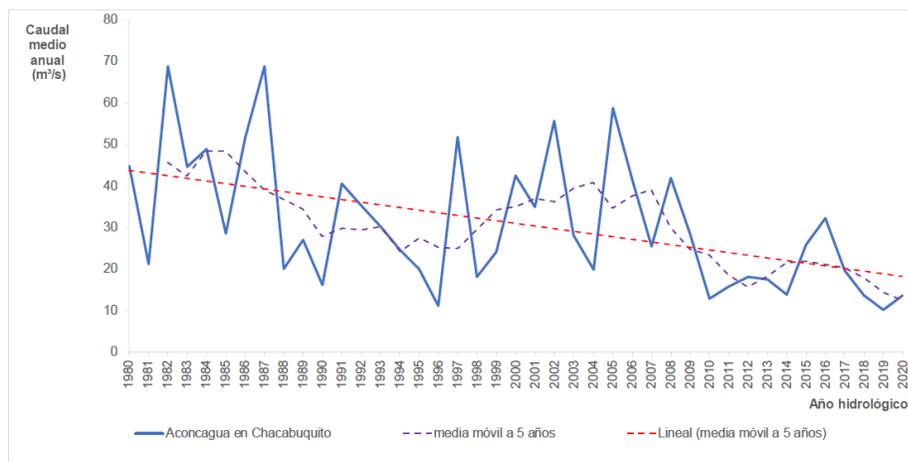


Figura 5. Tendencia de disminución de caudales en río Aconcagua en Chacabuquito

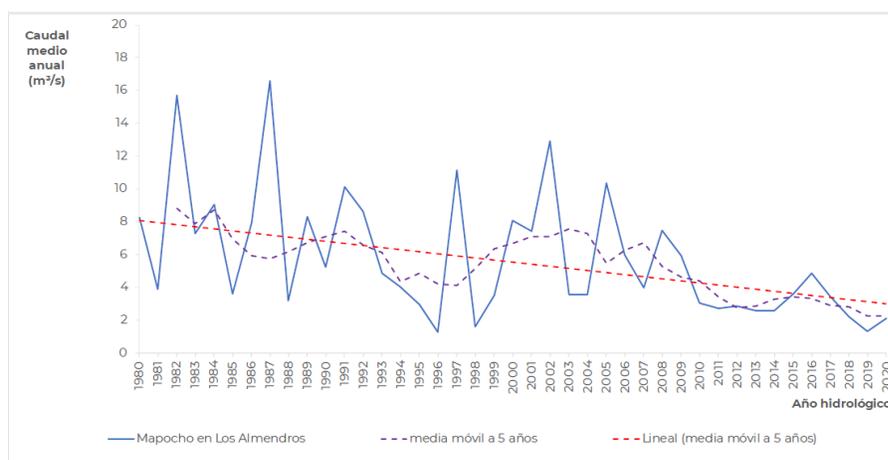


Figura 6. Tendencia de disminución de caudales en río Mapocho en Los Almendros

5.2 Proyección futura en el período 2030-2060

En el mismo estudio de la DGA (2018 [11]), se utilizaron diferentes modelos de circulación global para estimar los impactos del cambio climático.

La variación promedio de la precipitación y escorrentía natural (sin considerar riego) obtenida a base de los cuatro GCMs entre los períodos 2030-2060 y 1985-2015 se muestra en las Figura 7 y Figura 8, apreciándose que, en promedio, hay una disminución de ambas variables en toda la zona de estudio.

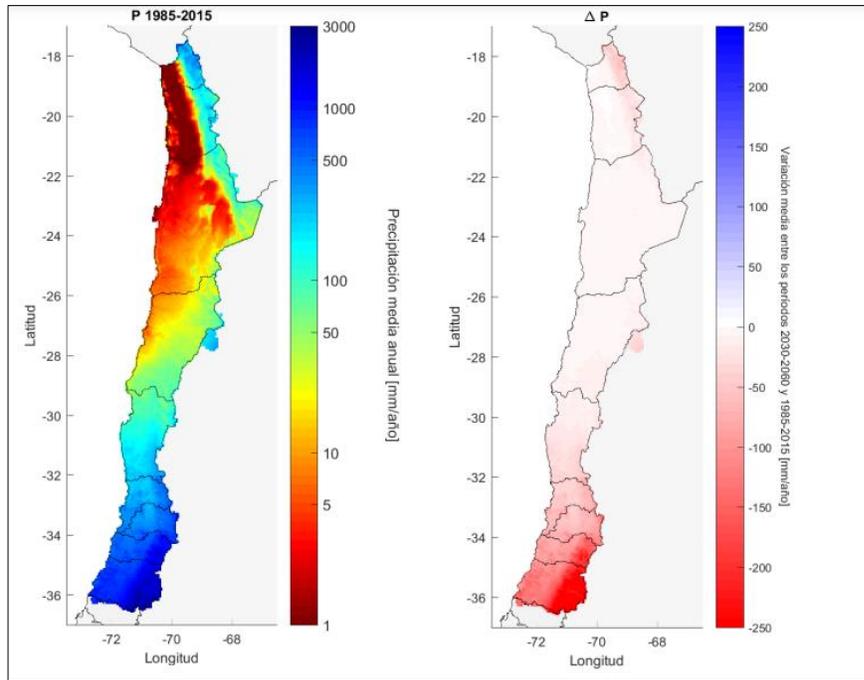


Figura 7. Estimación de la variación de precipitaciones medias anuales entre los períodos 2030-2060 y 1985-2015 – Promedio de los 4 modelos de cambio climático (Fuente DGA, 2018)

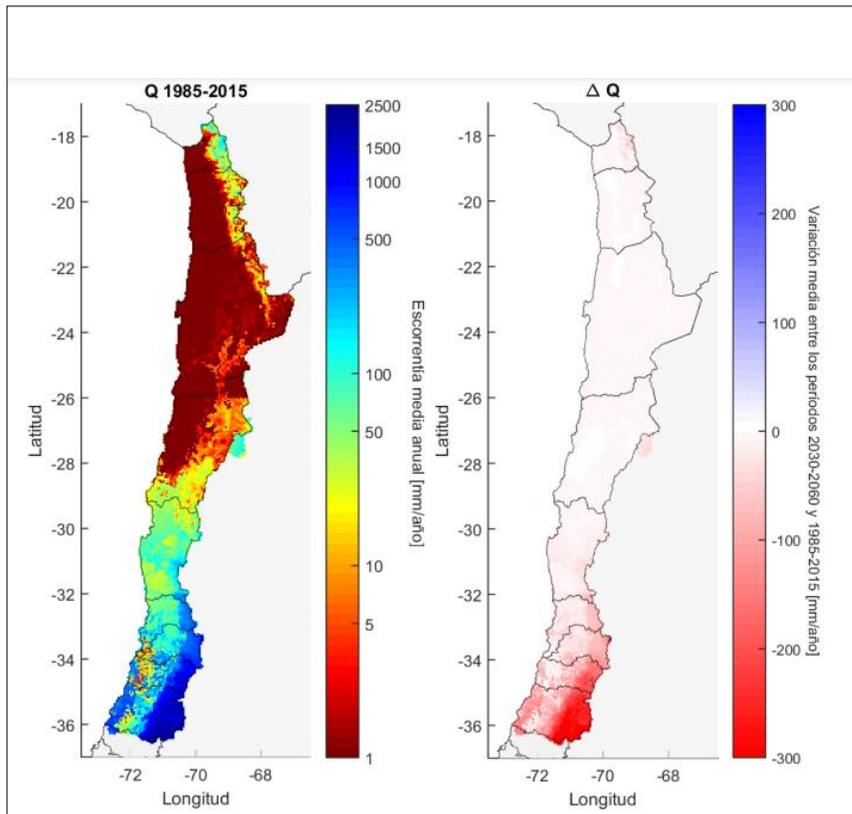


Figura 8. Estimación de la variación de la escorrentía natural entre los períodos 2030-2060 y 1985-2015. Promedio de los 4 modelos de cambio climático (Fuente DGA, 2018)

En forma porcentual, la variabilidad promedio entre los distintos modelos de cambio climático se observan en la Figura 9.

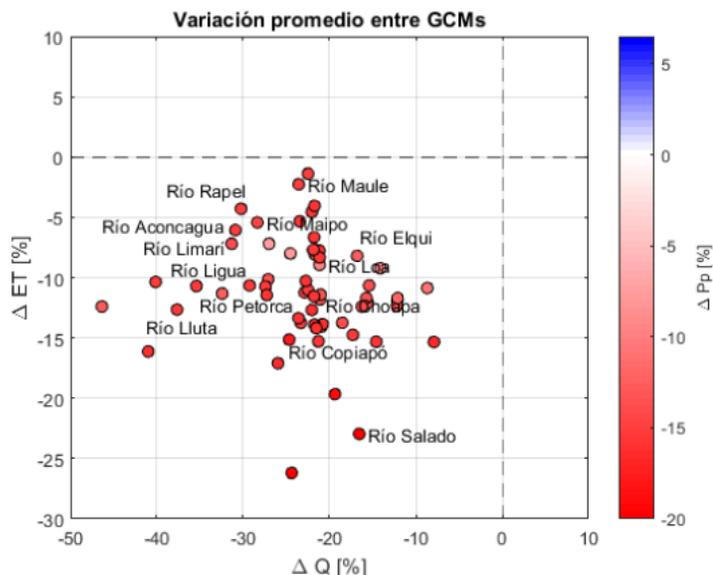


Figura 9. Variación porcentual promedio de la precipitación (Pp), escorrentía (Q) y evapotranspiración (ET) 1985-2015 y 2030-2060
Fuente (DGA, 2018)

Finalmente, las proyecciones futuras muestran cambios importantes en la escorrentía, las que se reflejan en disminuciones que pueden ser mayores al 50% ([11]). En consecuencia, en parte importante de la zona de estudio se proyecta una fuerte reducción en la disponibilidad de agua en el período 2030 a 2060 (DGA, 2018).

5.3 Riesgo hídrico nacional

EH-2030, a través de su radiografía del agua realizó un balance de oferta y demanda de agua, dando como resultado riesgos significativos en las cuencas de las macrozonas centro norte (ver Figura 10). El déficit hídrico se presenta cuando la demanda supera la oferta de agua, sin estar necesariamente relacionado a un daño actual, pero que se puede manifestar en el futuro.

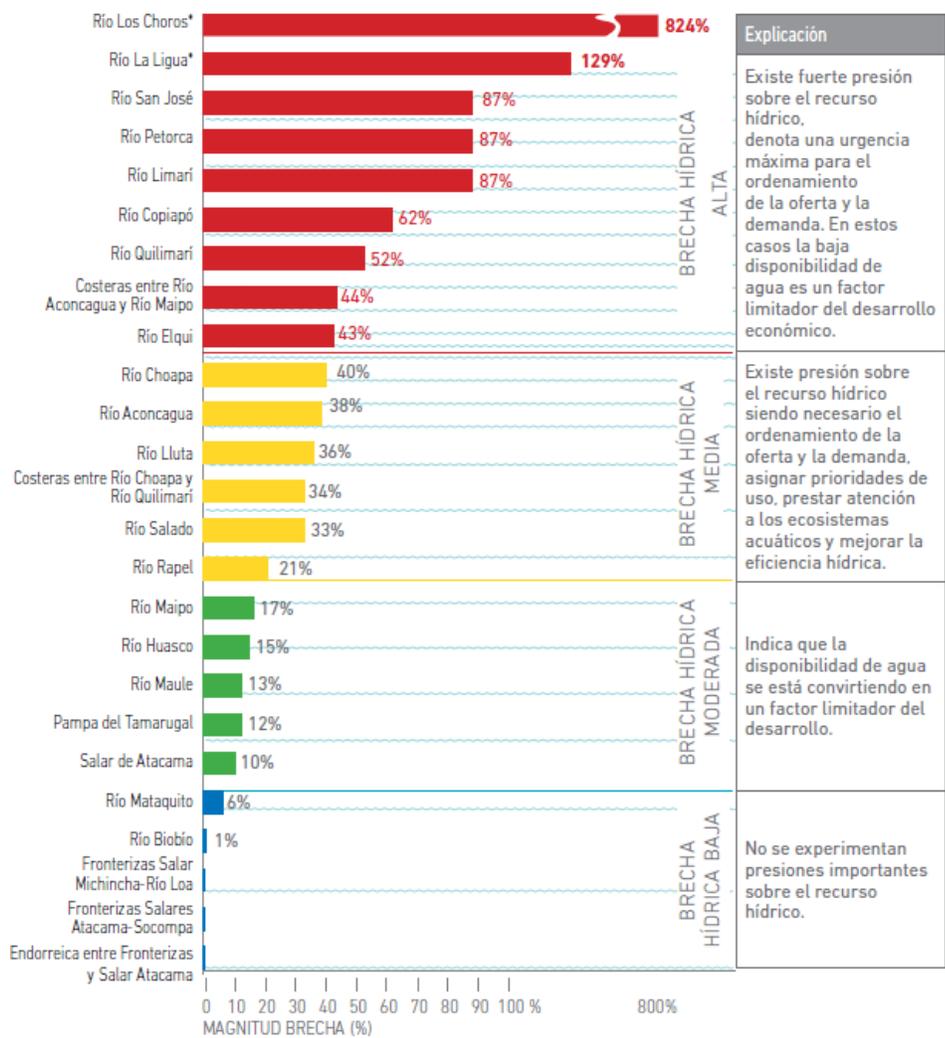


Figura 10. Brecha Hídrica en 25 cuencas analizadas (Fuente EH-2030)

6 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

6.1 Disponibilidad de información

El Consejo Minero posee una plataforma de aguas donde se transparenta y monitorean los porcentajes de consumo de agua de la industria minera en el país, región por región. Mientras que Cochilco anualmente registra en forma detalla la cantidad de agua usada por la industria según fuente.

Por otro lado, la DGA realiza el catastro de cada cuenca del país mediante el Balance Hídrico Nacional. Como se ha visto en capítulos anteriores, los últimos informes muestran un fuerte decaimiento de agua disponible en las últimas décadas, lo que va a seguir ocurriendo debido al cambio climático.

Cochilco en el año 2019 realizó un estudio que tenía por objetivo monitorear el uso de agua en los distintos procesos de la minería del cobre, aumentar la disponibilidad y transparencia de información del sector en temas críticos y servir como base para el análisis de las discusiones públicas. Este informe es una buena radiografía del escenario hace dos años y los principales esfuerzos que se habían materializado en el último tiempo.

Adicional al informe anterior, Cochilco desarrolla un informe con la estimación del potencial de consumo de agua entre los años 2019 y 2030, basado en la proyección y probabilidad de materialización de los proyectos de empresas mineras, con lo que se estima la proyección de producción, tanto en concentrados como en cátodos SxEw y en fundición y refinería. El estudio indica que en la región V, RM y VI, el consumo de agua de mar dentro de los próximos 10 años será nulo.

6.2 Contexto de leyes de mineral y material procesado

Las leyes de mineral han mostrado una caída en la última década, desde 2012 a 2020 disminuyeron en promedio un 11% (ver Figura 11).

Esta tendencia a la baja implica que se debe procesar más mineral y por lo tanto consumir más agua para mantener la producción de cobre.

Por su parte, la producción de cobre en el mismo período aumentó ~ 9% (ver Figura 12). Lo cual implica que los esfuerzos de la industria, no consumiendo más agua continental, han sido beneficiosos.

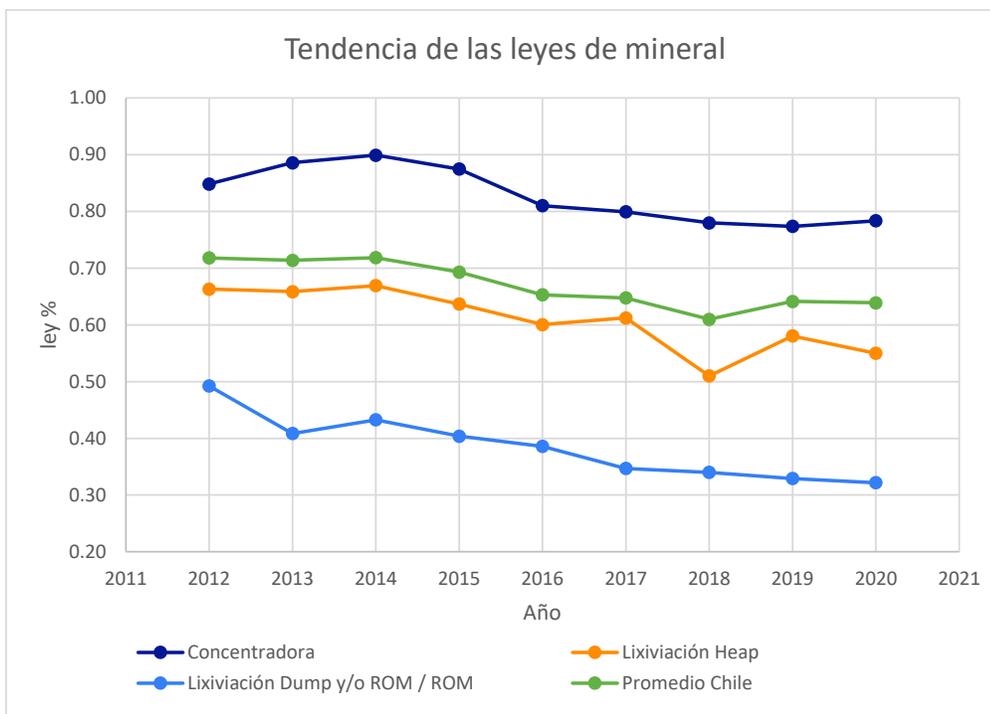


Figura 11. Evolución de leyes de mineral
(Fuente: Elaboración propia)

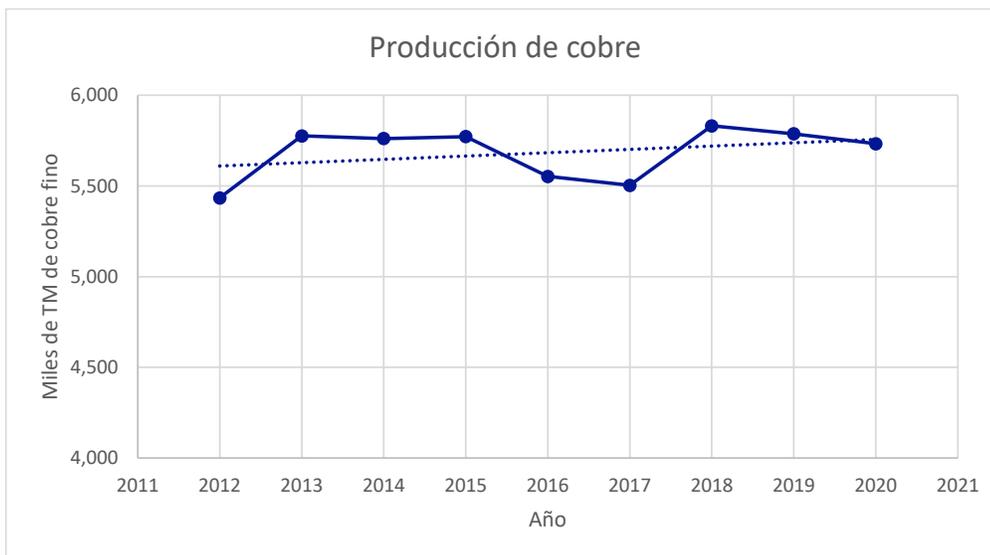


Figura 12. Evolución de la producción de cobre
(Fuente: Elaboración propia)

6.3 Make up de agua

La Figura 13 muestra una radiografía del consumo de agua de make up de la minería (Cochilco, 2020). De ella se desprende lo siguiente:

- El make up total de agua es de $\sim 18 \text{ m}^3/\text{s}$ (cifra al año 2020). Desde el 2012 a la fecha esta cantidad aumentó un 30%. Principalmente debido a la mayor cantidad de tonelaje a procesar para mantener la producción de cobre (ver Figura 13a).

- Al año 2020, ~ 70% proviene de agua continental y ~ 30% de agua de mar (ver Figura 13b)
- El consumo de agua continental no ha variado notoriamente desde 2012 a la fecha (ver Figura Xc), aunque desde el año 2018 viene con una leve baja (ver Figura 13c). Al año 2020 se consumían ~ 12 m³/s. El desafío de la industria es comenzar a disminuir gradualmente esta cantidad.
- El consumo de agua de mar ha presentado un aumento muy elevado, pasando de 1 a poco más de 5 m³/s en el año 2020 (ver Figura 13d).

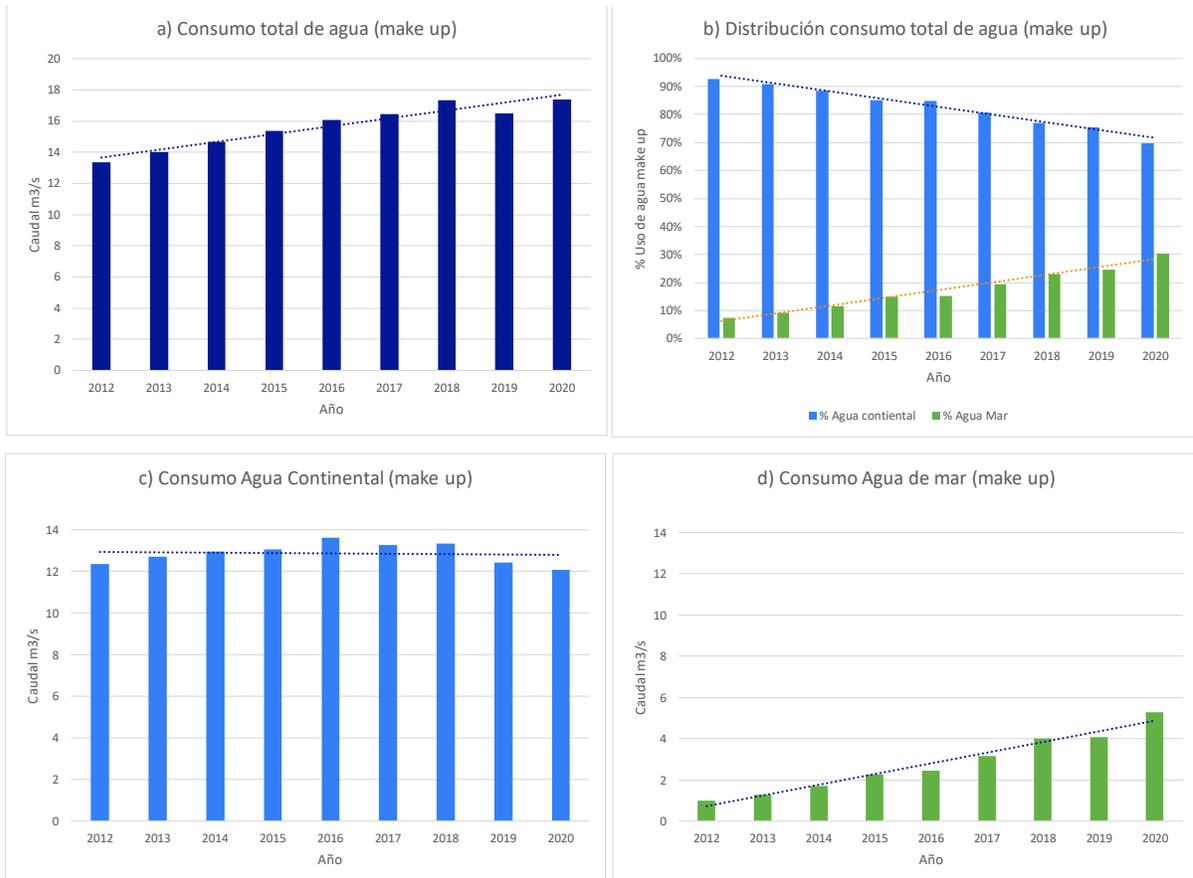


Figura 13. Consumo y distribución de agua (make up) en la minería
(Fuente: Elaboración propia)

6.4 Recirculación y consumo total de agua

Los procesos mineros cuentan con la capacidad de reciclar una buena cantidad del agua que ocupan en los procesos. La Figura 14 muestra una radiografía de la capacidad de recirculación, el consumo total de agua usada en el proceso y la distribución porcentual dependiendo del origen (Cochilco, 2020). De ella se desprende lo siguiente:

- El uso total de agua de la minería es ~ 65 m³/s (cifra al año 2020). Desde el 2012 a la fecha esta cantidad aumentó un 35%. Principalmente debido a la mayor cantidad de tonelaje a procesar para mantener la producción de cobre (ver Figura 14b). Para tener una idea, esto representa aproximadamente el triple del caudal que portea el río Aconcagua.

- La cantidad de agua recirculada es $\sim 47 \text{ m}^3/\text{s}$ (cifra 2020). Desde el 2012 a la fecha esta cantidad aumentó un 37% (ver Figura 14a).
- Al año 2020, del total de agua usada por la minería, $\sim 73\%$ corresponde a agua recirculada, proviene de agua continental y $\sim 19\%$ de agua continental y $\sim 8\%$ de agua de mar (ver Figura 14c).

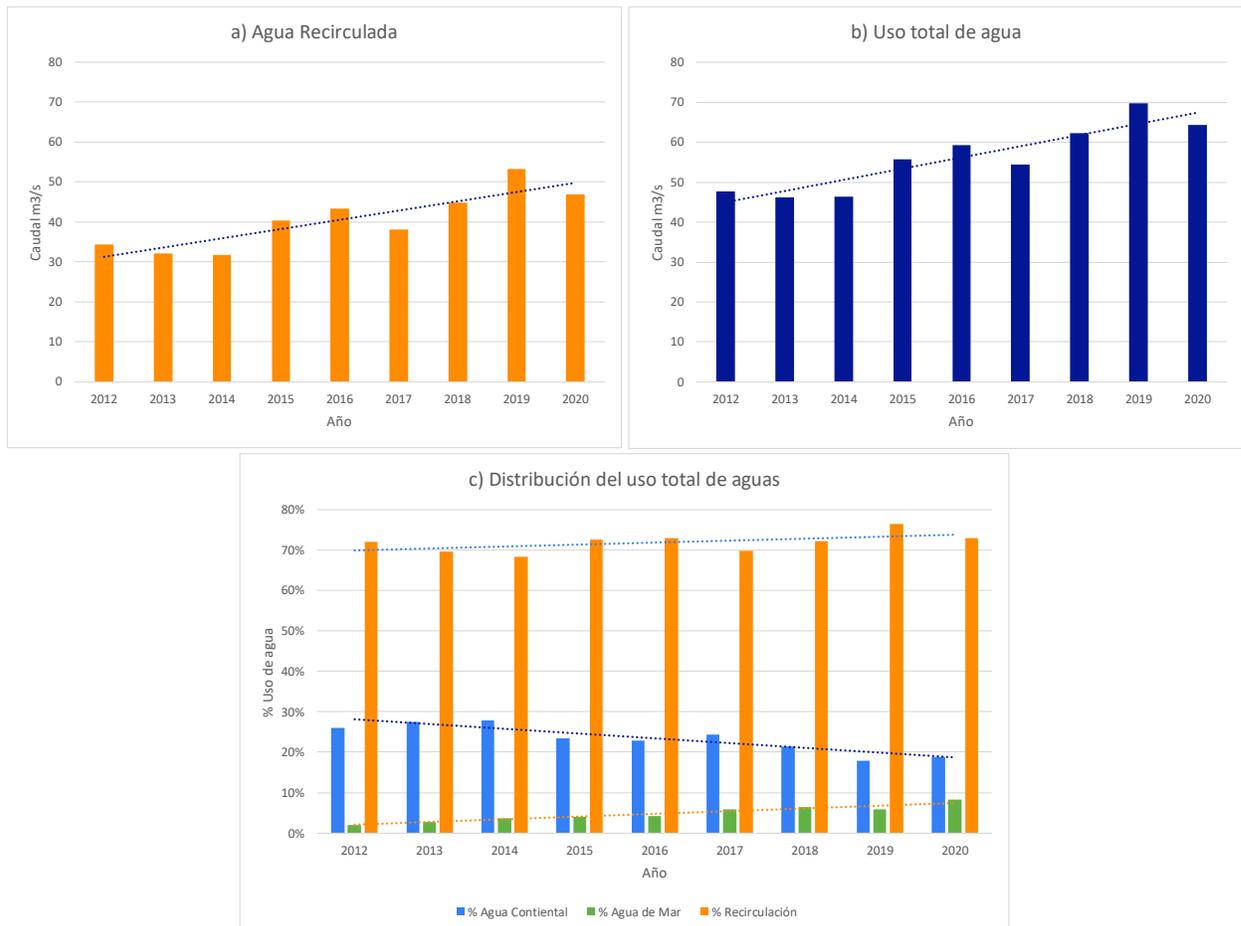


Figura 14. Uso de agua total y recirculada en la industria minera, distribución según los distintos orígenes (Fuente: Elaboración propia)

6.5 Eficiencia y consumo unitario

La minería ha mostrado una alta eficiencia en reducir el consumo unitario de agua continental (ver Figura 15), reduciendo un 41% en el período 2012-2020 para los procesos de concentración La hidrometalurgia ha tenido poca variación.

Por otro lado, para tener una idea de eficiencia total de agua, se ha calculado el consumo unitario considerando la evolución del porcentaje de uso de agua continental vista en capítulo anterior (ver Figura 16). En este caso, se evidencia también una mejor eficiencia en los procesos, ya que ha bajado un 18% el consumo unitario en el período 2012-2020.

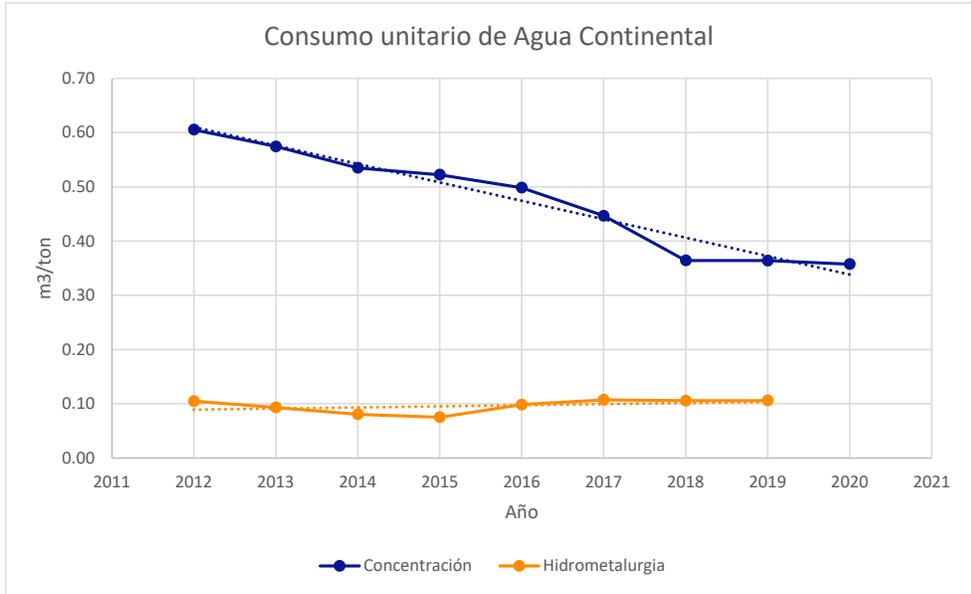


Figura 15. Aumento de eficiencia en el consumo unitario de agua continental
(Fuente: Elaboración propia)

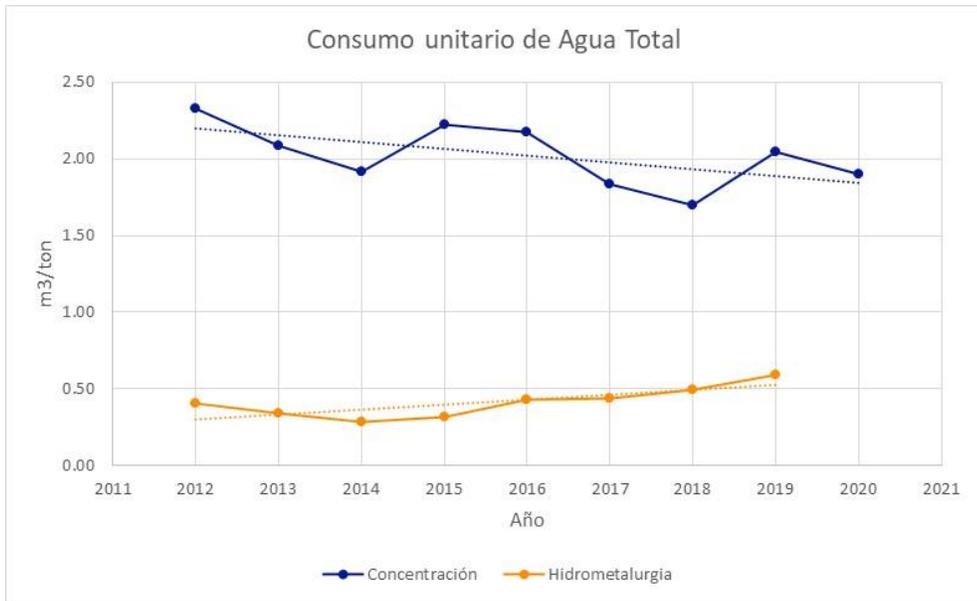


Figura 16. Aumento de eficiencia en el consumo total de agua para los principales procesos mineros
(Fuente: Elaboración propia)

7 RADIOGRAFÍA AL CONSUMO DE AGUA DE MAR

7.1 Contexto

La escasez hídrica ha llevado a las principales mineras a direccionar su estrategia de abastecimiento de agua hacia el agua de mar, principalmente desalada. Los costos de inversión y operación de estos sistemas son muy elevados, ya que hay que transportar por cientos de kilómetros y cuyas cotas de elevación geográficas pueden llegar hasta los 3.500-4.000 msnm.

Entonces, resulta necesario e interesante tener una mirada de los costos que esta tecnología significa para la minería, así como el nivel de riesgos inherente que tiene esta solución.

Para desalar el agua, el método más común es el de Osmosis Inversa (OI) y lo utilizan casi 2/3 de las plantas del mundo, incluso las que hay en Chile ([15]). La OI es un proceso de separación que consiste en usar una membrana semipermeable, lo que quiere decir que deja pasar el agua pero no las sales; se fuerza que el agua atraviese la membrana y salga sin sales al otro lado mientras que se queda un concentrado de salmuera tras la desalinización, el cual es vertido nuevamente al mar ([15]). Un esquema típico de las partes de este tipo de plantas se muestra en la Figura 17.

A modo de ejemplo, a una planta de desalinización entra 100% de agua de mar, se produce 50% de agua potable y se concentran las sales en el 50% de flujo de agua que se descarga de vuelta al mar proveniente del proceso de OI, la que debe ser disuelta y dispersada a través de diversos emisarios submarinos, de modo de disminuir su impacto en organismos marinos ([15]).

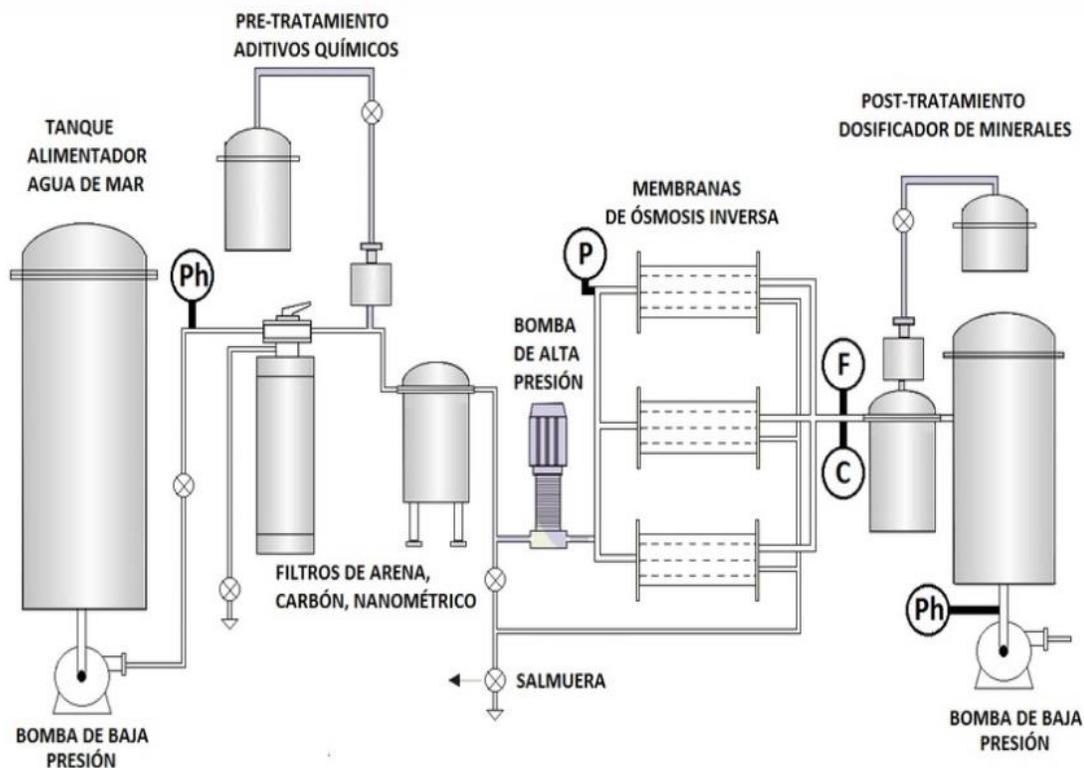


Figura 17. Proceso típico de Osmosis Inversa para desalación
(Fuente: Revista de Marina)

Actualmente en la minería existen 10 plantas desalinizadoras operativas concentradas en las regiones de Antofagasta y Atacama, con una capacidad total de ~ 6.5 m³/s (Cochilco 2022 [13]) (ver Tabla 1).

Tabla 1. Plantas operativas para suministro de agua de mar

Dueño	Mina	Región	Status	Capacidad agua desalada (Its/seg)	Capacidad Agua sin desalar (Its/seg)	Largo Pipeline (Km)
HALDEMAN	Michilla	Antofagasta	Operando	75	23	
ENAMI	Planta J.A. Moreno (Taltal)	Antofagasta	Operando	-	15	
LAS CENIZAS	Las Cenizas Taltal	Antofagasta	Operando	9	12	7
MANTOS DE LA LUNA	Mantos de Luna	Antofagasta	Operando	20	5	8
ANTOFAGASTA MINERALS	Centinela /Antucoya	Antofagasta	Operando	50	1500	145
CAP Minería	CAP Minería y otros clientes	Atacama	Operando	600		120
BHP BILLITON	Escondida EWS	Antofagasta	Operando	525/2500	-	180
LUNDING MINING	Candelaria/ Candelaria 2030	Atacama	Operando	300/200	-	110
MANTOS COPPER	Mantoverde	Atacama	Operando	120	-	42
KGHM INT.	Sierra Gorda	Antofagasta	Operando	-	1315	142

Por otro lado, hay 15 proyectos de suministro de agua de mar materializarse en los próximos 5 años, los cuales se encuentran en distintas etapas de desarrollo (Cochilco 2022, [13]). De materializarse todos ellos, la capacidad total de todos ellos es ~ 10.9-13.7 m³/s (ver Tabla 2).

Tabla 2. Iniciativas de nuevos proyectos de suministro de agua de mar

Potencial PEM	Dueño	Mina	Región	Status	Capacidad agua desalada (Its/seg)	Capacidad Agua sin desalar (Its/seg)	Largo Pipeline (Km)	Categoría
2021	BHP BILLITON	Spence Growth Option	Antofagasta	Construcción	800 (potential 1.600)	-	154	Nueva
2022	AMSA	Proyecto de Infraestructura	Coquimbo	Construcción	400	-	150	Nueva
2022	MANTOS COPPER	Desarrollo Mantoverde	Atacama	Construcción	Add 260 (4)	-	42	Expansión
2023	COPEC	Diego de Almagro	Atacama	Feasibility	-	315	61	Nueva
2023	TECK	Quebrada Blanca Hipógeno o QB2	Tarapacá	Construcción	850 (potential 1.200)	-	160	Nueva
2024	HOT CHILI	Productora Óxidos	Atacama	Pre-Factibilidad	368	-	62	Nueva
2024	CAPSTONE Mining	Santo Domingo	Atacama	Feasibility	30	400	112	Nueva
2024	CODELCO	Planta desaladora Distrito Norte	Antofagasta	Feasibility	840 (potential 1.956)	-	160	Nueva
2024	COLLAHUASI	Collahuasi	Tarapacá	Feasibility	525 (potential 1.050)	-	195	Nueva
2025	MARIMACA CORP	Marimaca	Antofagasta	Pre-Factibilidad	-	100	25	Nueva
2025	AMSA	Distrito Minero Centinela (Esperanza)	Antofagasta	Feasibility	-	1650	145	Nueva
2025	AMSA	Pelambres Futuro (Amp. Mg Fase II)	Coquimbo	Feasibility	Add 400	-	150	Expansión
S/I	AMSA	Distrito Minero Centinela (reemplazo)	Antofagasta	Feasibility	-	850	145	Expansión
2027	FREEPORT McMORAN	Concentradora El Abra	Antofagasta	Pre-Factibilidad	500	-	-	Nueva
2022	ENAPAC	-	Atacama	Feasibility	2630	-	-	Nueva

A modo de ejemplo, en la siguiente Figura 18 se muestra la desaladora de Escondida



**Figura 18. Planta desaladora de Escondida 2500 l/s
(Fuente: Revista Minería Chilena)**

La construcción se extendió entre 2013 y 2017, y demandó una inversión de US\$3.430 millones. Incluyó el desarrollo de dos tuberías de 42” para el transporte del agua a 3.200 metros sobre el nivel del mar; cuatro estaciones de bombeo de alta presión; un reservorio en el área de la mina; e infraestructura eléctrica de alta tensión para alimentar el sistema (Minería Chilena [17][18]).

7.2 Consumo energético

El consumo energético producto del proceso de desalinización e impulsión de agua ha crecido enormemente. En el período 2012-2020 el consumo de energía tuvo un aumento de ~ 1100%, y su incidencia respecto al porcentaje total de energía que consume la minería del cobre subió de un ~ 1% a 9% en dicho período (ver Figura 19).

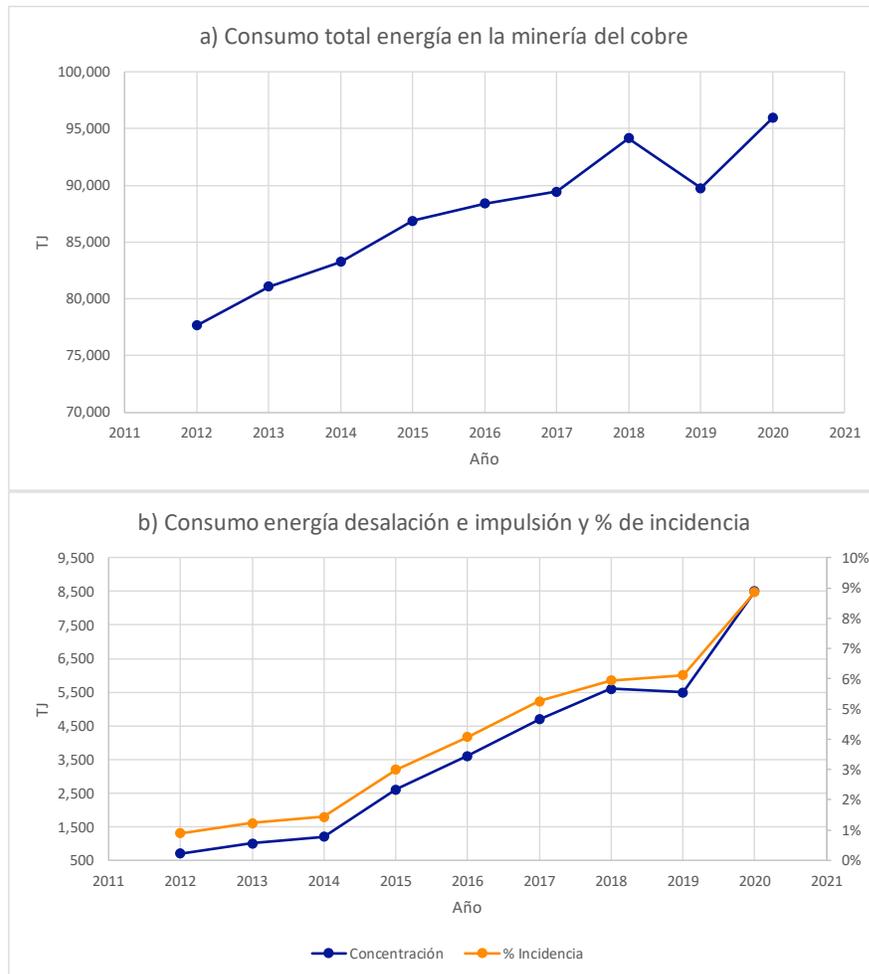


Figura 19. Consumo total de energía minería del cobre (a) y aumento del consumo energético debido a la desalación y sistemas de impulsión (Fuente: Elaboración propia)

Al año 2019 ya representaba el 54% de todo el ítem Servicios (Cochilco, 2019 [16]).

COCHILCO en su estudio de “Proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2020-2031” (2020) estima que el consumo de agua de mar prácticamente se duplicaría entre 2020 y 2031, pasando de un consumo estimado de agua de mar de 5,7 m³/s a 10,9 m³/s. A partir de lo anterior, se espera que el consumo eléctrico requerido para desalación e impulsión de agua de mar se duplique, pasando de un consumo eléctrico estimado de 1,7 TWh en 2020 a 3,5 TWh en 2031. Con esto, se proyecta que a fines del periodo la impulsión y desalación de agua de mar será el proceso de mayor intensidad en consumo energético después de la Concentradora, con un 10% del total (Ver proyección en Figura 20).

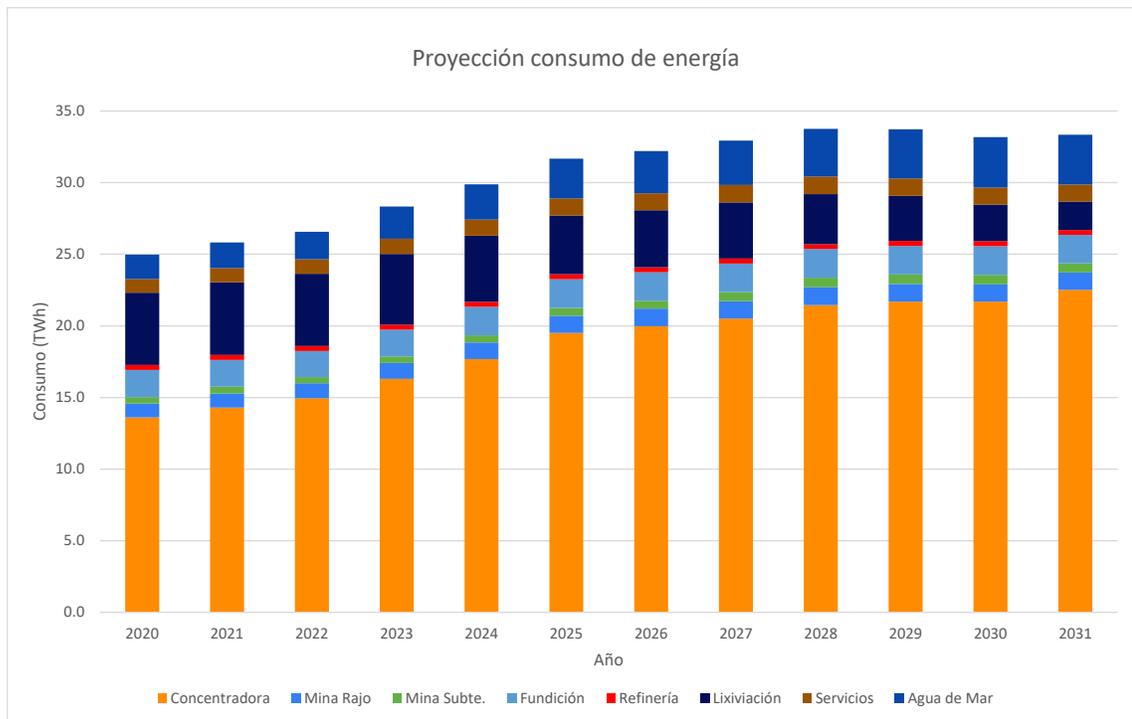


Figura 20. Proyección de los consumos de energía (TWh)
(Fuente: Adaptado de Cochilco)

7.3 Costos de inversión y operación

El estudio más relevante encontrado se remonta al año 2017, asociado a la Comisión de Minería y Energía de la Cámara de Diputados, en el marco de la discusión del "Proyecto que estable la desalinización del agua de mar para su uso en proceso productivos mineros" ([14]). El informe técnico encargado da las siguientes luces:

- El 2016 la energía eléctrica representó el 9% de los costos operacionales de las empresas de la gran minería del cobre en Chile.
- Según la experiencia el Grupo CAP, la energía requerida para el proceso de desalinización representa el 67% del costo, mientras que, para el bombeo del agua, que requiere un altísimo consumo de energía, representa el 97% del total del costo.
- El costo unitario está en el rango de 0.6 – 1.2 US\$/m³, nivel del mar.
- El sistema de impulsión agrega un costo operacional adicional en el rango de 8 – 10 US\$/m³.

Por otro lado, el estudio hace referencia a Wood Mackenzie (2013), que estimó que el costo promedio por agua desalada puesta en la mina era de 5.1 US\$/m³, mientras que el agua fresca costaba 1.6 US\$/m³. Mientras que en EEUU y México se paga 2.3 y 2.8 US\$/m³ respectivamente (ver Figura 21).

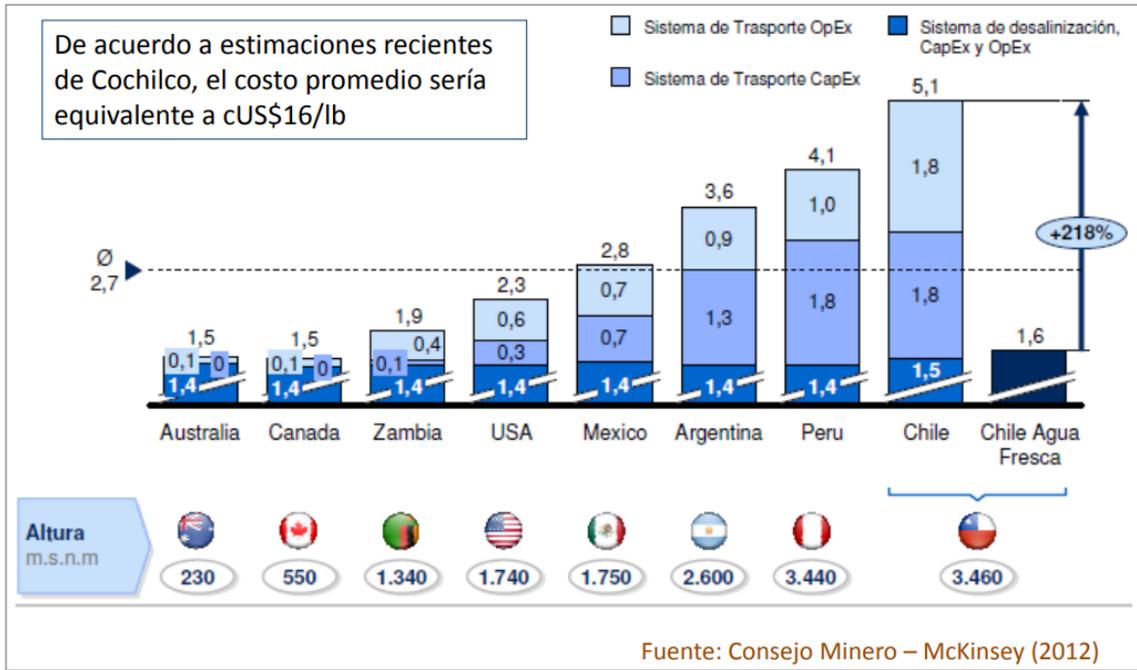


Figura 21. Costo de agua desalinizada
(Fuente: Consejo Minero)

Hay riesgos asociados a la legislación del uso y consumo de agua de mar que actualmente preocupa, esta se revisará en mayor detalle en capítulos posteriores.

8 PROYECCIÓN DEMANDA DE AGUA EN MINERÍA

De acuerdo con el aumento de producción de cobre y decaimiento en las leyes de mineral que se proyecta a futuro, el consumo de agua tendrá una tendencia al alza en la próxima década.

En la Figura 22 se muestran las estimaciones de evolución de los principales parámetros referente al agua en la minería (Cochilco 2020) en el período 2020-2031. De ella se destaca lo siguiente:

- Se estima que, el consumo de agua (make-up) aumente en un porcentaje del 26%. Por su lado, el agua continental disminuirá una cantidad marginal del 4% (Cochilco 2020).
- Por otro lado, se proyecta un importante crecimiento del consumo de agua de mar, cerca del 95% en el período 2020-2031.

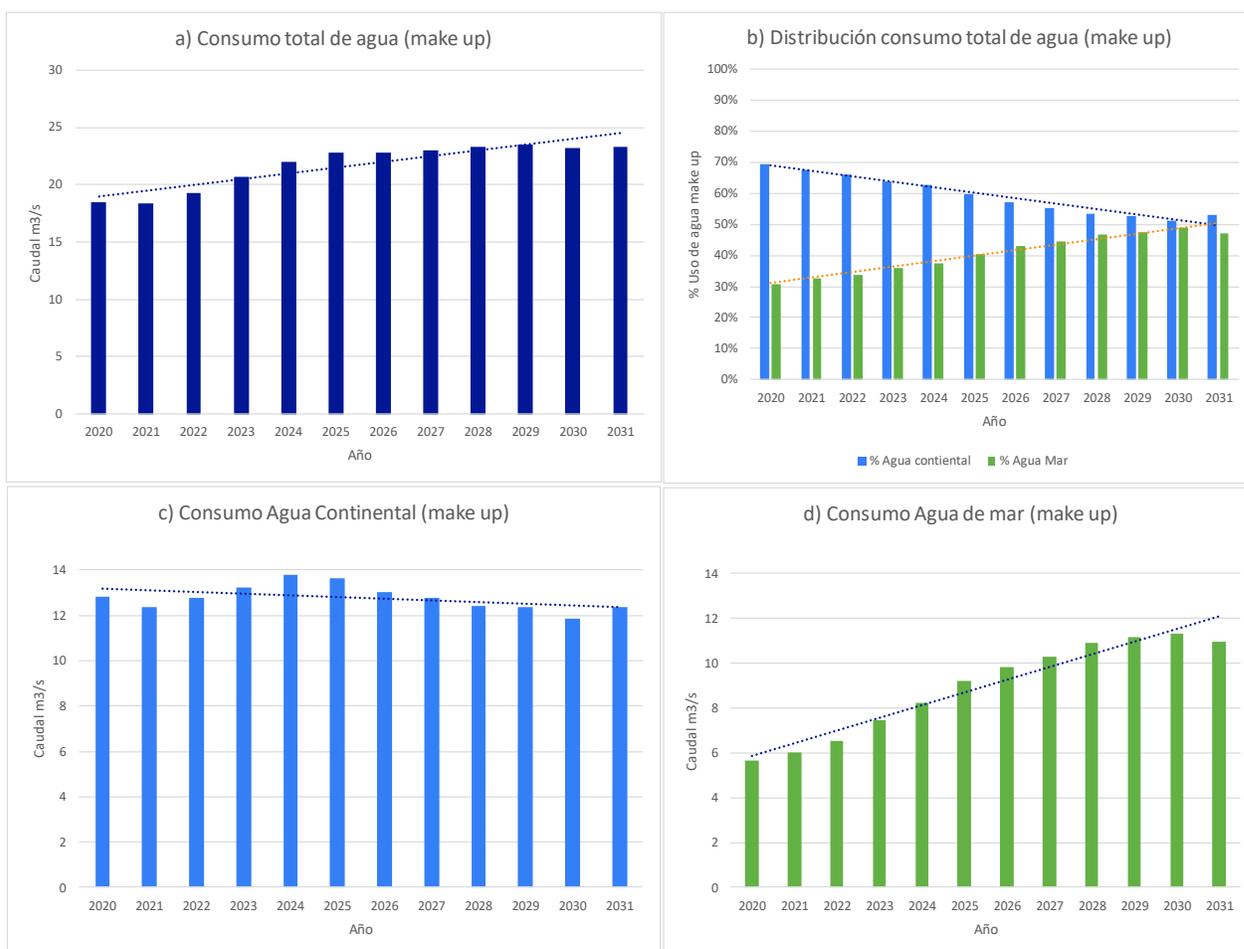


Figura 22. Proyección Consumo y distribución de agua (make up) en la minería
(Fuente: Elaboración propia)

Esta proyección está basada en el incremento de producción de mineral de cobre esperado para la próxima década, que además tiene como característica la mayor intensidad del procesamiento de minerales de sulfuros, más intensivo en agua (Cochilco 2020).

Otras conclusiones relevantes de destacar de estudio de Cochilco (2020) son:

- Disminuirá el consumo de agua continental, de 70% a 53% al año 2031.
- Aumentará el consumo de agua de mar, de 30% a 47% al año 2031.
- Se espera que el uso de agua de mar a nivel regional para el 2031 se distribuya de la siguiente manera: 66% para la región de Antofagasta, un 16% para la región de Atacama, un 14% para Tarapacá y de un 4% para la región de Coquimbo.
- Se espera que al 2031 el agua continental para el procesamiento de concentrados alcance el 68%, los cátodos el 5%, el agua en varios (mina, servicios y otros) el 22% y finalmente, para Fundición y Refinería sea del 5%.
- Referente a la demanda de agua continental esperada según condición de los proyectos, el mayor consumo esperado para la próxima década proviene de proyectos en condición base (81%), es decir proyectos en operación o en ejecución, y por tanto con un alto grado de certeza. Para el 2031, más de la mitad del consumo esperado de agua de mar proviene de proyectos en condición base, alcanzando el 53%, mientras que el 47% restante está asociado a proyectos en condición posible (17%), probable (15%) y potencial (14%), otorgando mayor incertidumbre a su fecha de materialización.

9 RIESGOS PARA EL SUMINISTRO DE AGUA

En el presente capítulo se expondrán los temas que generan mayores riesgos al abastecimiento seguro de agua en la industria minera.

9.1 Demandas sociales y de comunidades

En los capítulos previos se ha demostrado el riesgo hídrico nacional, debido a los efectos del cambio climático que nos ha llevado a una disminución de la disponibilidad de agua continental en las principales cuencas de la macrozona centro norte y a mayores demandas de consumo humano y de otras industrias.

La Organización de Naciones Unidas (ONU) en su informe del año 2021, indica que, si bien Chile posee una disponibilidad de agua de 55.640 m³/persona/año, valor muy superior a 2.000 m³/persona/año (umbral de desarrollo sostenible de la OCDE, 2018), la cantidad y calidad varía mucho según zona geográfica (ONU, 2021):

- En la zona Central, la disponibilidad de agua es de sólo 1.169 m³/p/año.
- No se posee un sistema integrado de gestión de cuencas, limitando el manejo sostenible del recurso.
- La gobernanza y normativa actual no favorece el uso sostenible de los recursos.
- Existe una infraestructura inadecuada para abordar la crisis hídrica, que juega un rol fundamental en el proceso de adaptación. Zonas urbanas con tuberías envejecidas y con fugas.
- Santiago tiene una tasa de pérdida de 30%, Milán y París tienen 9.6% y 7.7% respectivamente.
- Los sistemas de Agua Potable Rural no logran garantizar los estándares de calidad y cantidad de agua.

El estudio “Percepción ciudadana sobre el agua en Chile: Desafíos y perspectivas” (2021 [23]), donde se da a conocer la percepción de la ciudadanía sobre distintos temas relacionados con la crisis y gestión del agua en Chile, tales como: la propiedad del agua, su función como bien nacional de uso público, su rol en el ámbito productivo y recreativo, en el consumo humano y la relación cultural con el agua. Escenarios Hídricos 2030 destaca lo siguiente ([22]):

- El 82% de los chilenos cree que la situación hídrica empeorará en su región durante los próximos años, concentrándose esta percepción mayoritariamente en la zona central del país (zona centro (87%), centro norte (85%), centro sur (84%)).
- Respecto de las causas de la crisis del agua, entre los múltiples factores, la opinión mayoritaria se concentra en el cambio climático, la sequía, y la sobreexplotación del agua, con un 25%, 21%, y 14% respectivamente.
- Sobre el uso del agua, la encuesta revela que el agua de los ríos debe tener un uso prioritario para el consumo humano (41%), así como para la conservación de la naturaleza (40%) y la agricultura campesina (14%) y sólo un 1% para uso turístico, agricultura industrial o industria minera respectivamente.

- El 96% de los encuestados cree que debería limitarse el uso de agua en la producción industrial, resguardando el agua para los ecosistemas naturales (lagos, ríos, humedales, turbas, napas subterráneas).

Todos estos diagnósticos y percepciones de la ciudadanía, nos evidencia que existe las demandas sociales y de las comunidades es y seguirá siendo un riesgo alto para el abastecimiento de la industria.

9.2 Cambios regulatorios y normativos (derechos de agua)

El marco regulatorio y normativa actual de los recursos hídricos se resumen en lo siguiente (ONU 2021):

- Constitución de 1980, el Código de Aguas de 1981, junto con sus reformas de 2005, 2011 y 2022, y la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente.
- El marco legal define el agua como un bien nacional de uso público, pero a la vez, establece un sistema de reparto para el uso del recurso a través de la asignación de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DDA).
- Aun cuando el Estado puede regular los DDA bajo ciertas circunstancias críticas, los DDA son entregados a perpetuidad y con carácter heredable, no conllevan costos para sus propietarios y no existen causales para su revocación.
- Finalmente, el acceso al agua no está consagrado como un derecho humano, contrario a la Resolución 64/292 de 2010 de la Asamblea General de las Naciones Unidas.

Asimismo, según la ONU, la institucionalidad actual posee falencias:

- Alta dispersión en la toma decisiones.
- Dificultad de alineamiento e integración para crear políticas Públicas sobre recursos hídricos.
- Baja capacidad de gestión de los órganos privados encargados de la gestión local del recurso.
- Baja disponibilidad de datos para la toma de decisiones.

Hoy estamos ante una propuesta de nueva constitución, que propone cambios relevantes a los conceptos de derechos de agua en temas de agua, pasando estos a “autorizaciones de uso”.

Los cambios regulatorios y normativos respecto al agua seguirán siendo un tema de discusión, debate y legislación continuo por los próximos años. La industria minera debe abordar este riesgo y seguir en su senda de ser más eficiente en el uso del recurso, acorde con la PNM 2050, y también tomar un rol protagónico en la discusión de estas materias de ley, siendo capaz de poner en relevancia todo el esfuerzo puesto en la última década y los planes futuros, siendo un colaborador con el entorno donde se desarrollan sus operaciones.

9.3 Riesgos en el uso de agua de mar

En capítulos previos se ha mostrado que el uso de agua de mar en los últimos años ha sido una palanca estratégica importante para hacer frente a la falta de oferta de agua continental y sin duda lo seguirá siendo.

Sin embargo, esta solución no está afectada a cambios regulatorios. Actualmente existe en la cámara de diputados, un proyecto de ley, cuyos principales objetivos son (MCH 2022 [24]):

- Avanzar en un régimen jurídico que asegure un tratamiento adecuado del agua de mar y la sustentabilidad de dicho recurso.
- Se propone crear una Estrategia Nacional de Desalinización, destinada a establecer las orientaciones y prioridades en el uso del agua de mar y la instalación de plantas desalinizadoras.
- Plantea modificar el procedimiento de solicitud y caducidad de las concesiones marítimas.
- Establecer la prevalencia del uso de las aguas para el consumo humano y doméstico. Así, también, para el saneamiento y la mantención de un caudal ecológico en los acuíferos.

Este proyecto de ley contiene aspectos que deberán ser abordados en la discusión del proyecto de ley. El Ministerio de Minería (2021) realizó un diagnóstico, del cual se puede descifrar los siguientes puntos a tener presente:

- Potencial declaración del agua desalada como bien nacional de uso público, y todas sus implicancias.
- Límite de los derechos de los particulares de agua desalada.
- Tipo de condiciones tendrán las concesiones (plazos, requerimientos, etc).
- Cómo se protege el incentivo privado para las futuras inversiones y desarrollo de proyectos de esta naturaleza.
- Potencial opción de que plantas mineras/industriales compartan aguas desaladas para fines de agua potable y saneamiento. Cuáles podrían ser las condiciones, costos, responsabilidades, etc. bajo el escenario de compartir el agua con terceros.
- Cómo se compatibilizar la propuesta de hacer prevalecer el uso del agua de mar para el consumo humano, doméstico y saneamiento, con el interés de las compañías mineras de seguir produciendo.

Este proyecto de ley aún está en discusión, no siendo posible argumentar con hechos las implicancias directas que esto pudiese tener en la industria minera, sin embargo, los primeros indicios y análisis revisados dan cuenta de que esta legislación es un riesgo potencial que debe ser abordado con participación, colaboración y aportando antecedentes claros y transparentes para los tomadores de decisiones.

9.4 Cambio climático y Brecha Hídrica

Ya hemos mencionado en capítulos anteriores que a nivel mundial la preocupación por los recursos hídricos y su disponibilidad para la población y prosperidad es un riesgo alto, debido principalmente por temas de cambio climático. Se han puesto algunos ejemplos de análisis de los principales organismos internacionales como el Foro Económico Mundial, OCDE y IWR.

En Chile el nivel de riesgo ha sido abordado profundamente por la iniciativa EH-2030, concluyendo que tenemos una Brecha Hídrica creciente que generará serios déficits de disponibilidad de agua en muchos lugares poblados; por otra parte los eventos de Riesgo Hídrico serán reiterados y severos causando muertes y daños económicos de gran magnitud.

La industria minera, en la última década, mediante todas las iniciativas de eficiencia y utilización de agua de mar, ha tomado acción y abordado enormemente a no aumentar con el consumo de aguas continentales y manteniendo la producción de cobre, con los beneficios que esto ha traído al país. Sin embargo, los desafíos serán aún mayores en las próximas décadas al considerar varios otros factores de riesgo enunciados en este capítulo. Es por esto, que se debe intensificar la búsqueda de soluciones novedosas y nuevas tecnologías que puedan seguir colaborando en esta dirección.

9.5 Mayor sensibilidad a impactos ambientales y aprobación de proyectos

De los resultados de la encuesta “Percepción ciudadana sobre el agua en Chile: Desafíos y perspectivas” (Ecoigualdad 2021 [23]) se comprueba una mala imagen de la industria minera (ver Figura 23 y Figura 24), ya que se le otorga el nivel más alto de responsabilidad de la crisis hídrica sobre otras industrias (forestal, hidroeléctrica, agrícola, etc).

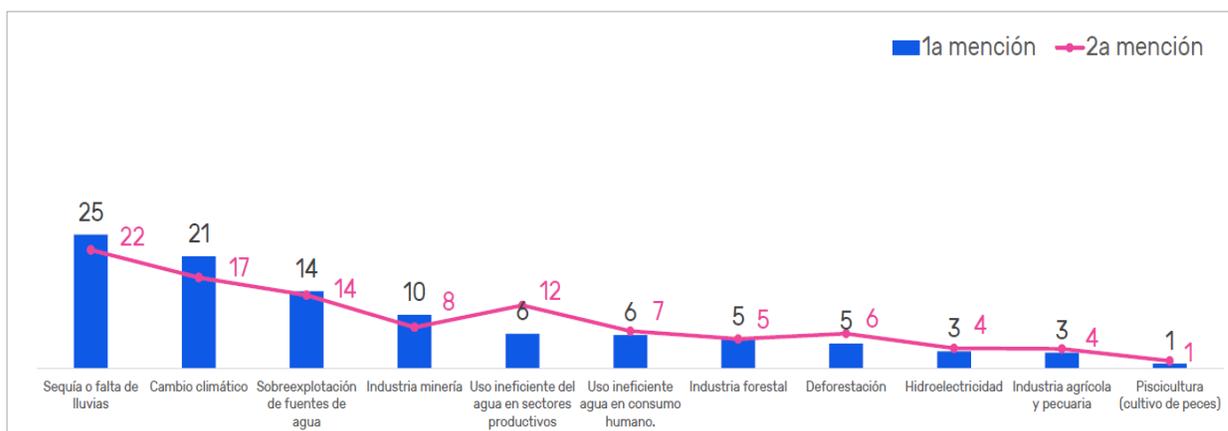


Figura 23. Resultado encuesta ciudadana a la pregunta: ¿Cuáles son las dos causas que identifica u. como las principales responsables de la crisis hídrica en su región?
(Fuente: Ecoigualdad 2021)

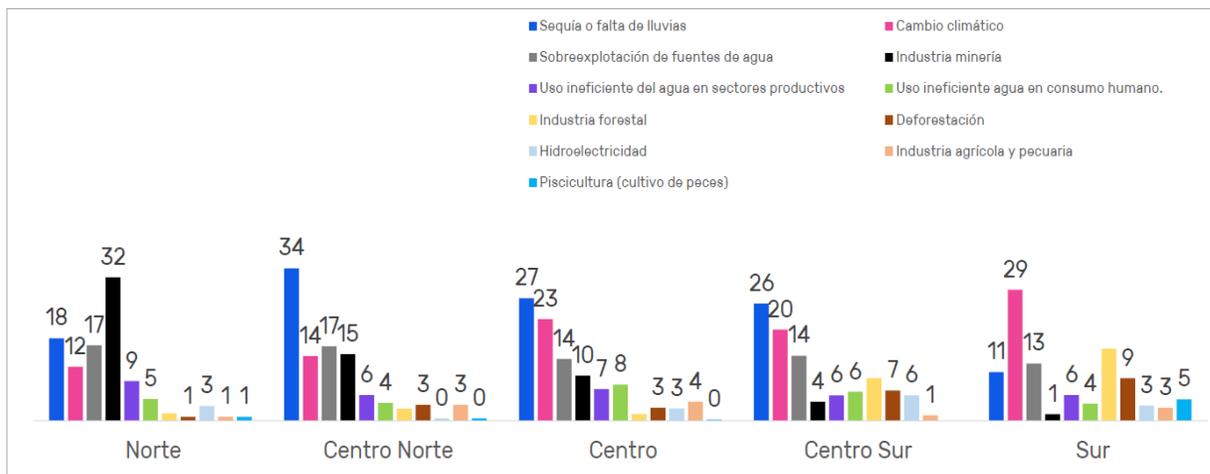


Figura 24. Resultado encuesta ciudadana a la pregunta: ¿Cuáles son las dos causas que identifica u. como las principales responsables de la crisis hídrica en su región? Por Zona Geográfica
(Fuente: Ecoigualdad 2021)

Esto demuestra que la percepción de la ciudadanía frente a la industria minera es bastante mala. La industria minera y los gobiernos de turno deben hacerse cargo de esta tendencia que va en contra de la ventaja competitiva que tiene nuestro país con el desarrollo de esta industria.

La licencia para operar y seguir creciendo a futuro es uno de los riesgos más relevantes de la industria, por lo que las aprobaciones ambientales y permisos serán cada vez más complejos de obtener.

10 PROPUESTA ESTRATÉGICA Y CASOS DE EJEMPLO

En los capítulos previos se ha demostrado que la industria minera está afrontando desafíos de gran envergadura en relación con el suministro de agua, presionado por los cambios climáticos, menor oferta del recurso y riesgos significativos relacionados con la licencia para operar y cambios a la normativa vigente. En el presente capítulo se da una propuesta a los principales caminos que se deberán transitar para afrontar estos desafíos.

Para cumplir con este desafío, las compañías mineras deben repensar su estrategia de recursos hídricos, adaptándolas a los nuevos escenarios y enfocándola a la realidad de las regiones donde se desenvuelven, identificando oportunidades de innovación, repensar los procesos, implementar nuevas tecnologías, y colaborar en las áreas de influencia, entre otras.

Se plantean 3 ejes fundamentales que deben considerar las empresas mineras en su gestión hídrica:

1. Incorporación de nuevas tecnologías.
2. Integración regional y gobernanza.
3. Creación de proyectos más sustentables.

10.1 Incorporación de nuevas tecnologías

Las innovaciones y tecnologías juegan un rol fundamental para lograr este desafío. A continuación, se muestran algunas tendencias e iniciativas que pueden aportar a la eficiencia del recurso:

Covertores de evaporación

La evaporación es una fuente de pérdida relevante en tranques de relaves y piscinas de acumulación de aguas. En el mercado hay soluciones como las ejemplificadas en la Figura 25.

Este tipo de soluciones puede significar una mejora de imagen del cuidado del agua de la minería.



Figura 25. Bolas flotantes para disminuir evaporación
(Fuente: Awtti)

Supresión de polvo

Los aditivos para la supresión de polvo son muy efectivos para limitar el uso de agua para la supresión de polvo. Los mayores ahorros se logran en sitios donde se pierde mucha agua debido a la evaporación.

Reutilización de Agua Doméstica

Una alternativa es el uso de aguas industriales domésticas, las cuales en muchas áreas urbanas no son tratadas y por lo tanto, no son aptas para el consumo humano. Una evaluación adecuada requiere información importante sobre la calidad del agua

Los ahorros por costo dependen en gran medida de la capacidad de la planta de tratamiento de agua doméstica y de la calidad del agua de origen.

Recirculación de agua

La bien en capítulos previos se mencionó el gran avance en sistemas de recirculación de agua en la industria minera, aún hay espacio para que todas las mineras puedan implementar o mejorar este tipo de sistemas.

Caso Los Bronces de Minera Angloamerican ([27]):

En 2020, en Los Bronces reutilizó el 85% del agua de su proceso, El Soldado un 80% y en Fundición Chagres, un 99%, lo que transforma a estas operaciones dentro de las más eficientes en la industria minera en Chile (Angloamerican).

El futuro del proyecto Los Bronces Integrado considera aumentar la capacidad de recirculación de agua desde Las Tórtolas. Este proyecto se desarrollará sin incorporar más agua fresca a los procesos de la operación que la ya autorizada. Esto será posible, principalmente, porque se repotenciará el sistema de agua recirculada.

Proceso Bulk Ore Sorting

Esta innovación permite detectar la composición del mineral y separarlo de acuerdo a la ley de cobre, con el fin de disminuir el ingreso de material estéril a la planta y reducir así el consumo de agua y energía en el proceso.

Caso Los Bronces de Minera Angloamerican ([27]):

En enero de 2019, El Soldado puso en marcha la planta Bulk Sorting. El proceso se realiza mediante un chancador primario (sizer) y un seleccionador móvil, el cual está compuesto de correas transportadoras y un sensor capaz de detectar la composición del mineral y separarlo de acuerdo a la ley de cobre.

La planta Bulk Sorting cuenta además con analizadores de composición de material en tiempo real, que incorporan un sistema de medición de rayos gamma producidos por la absorción de neutrones en el material, técnica conocida por sus siglas en inglés como PGNAA (Activación Rápida de Neutrones Gama).

Flotación de Partículas Gruesas

Caso Angloamerican (Consejo Minero [28]):

Esta iniciativa permite aumentar el tamaño de la molienda, una vez hecha la extracción, con tres importantes beneficios: mantiene la recuperación del mineral, disminuye la energía requerida para la trituración y reduce el consumo de agua en más del 20%, un aspecto clave que beneficia a las comunidades y al medio ambiente, más aún en un contexto de escasez hídrica.

Para probar esta tecnología se construirá una Planta Demostrativa a escala industrial en El Soldado que incorporará el proceso CPF y que procesará 500 toneladas por hora, siendo la más grande de su tipo a nivel mundial.

La flotación de partículas gruesas es utilizada a nivel industrial y con éxito en otros minerales, no obstante, en cobre sólo ha sido evaluada a nivel de laboratorio y piloto, mostrando resultados positivos y auspiciosos.

Proyecto de Paneles Flotantes Solares

Caso Angloamerican (Consejo Minero):

El objetivo es evitar de manera eficiente la evaporación de agua y aumentar su recirculación, generando a la vez energía eléctrica renovable que permita disminuir la huella de carbono. Consta de una isla flotante de 1.200 metros cuadrados con paneles fotovoltaicos sobre el depósito de relaves Las Tórtolas, parte de la operación Los Bronces (ver Figura 26).

La primera planta solar flotante en el mundo permite evitar de manera eficiente la evaporación de 300 litros de agua por segundo, aumentando su disponibilidad para recirculación, mientras reduce la huella de carbono y genera energía eléctrica renovable.

El proyecto reducción en un 80% en la evaporación del agua sobre el área que cubre la isla. Además busca reducir 58 toneladas de emisiones de CO₂ anuales, generación de energía eléctrica renovable por 150.000 kWh/año.

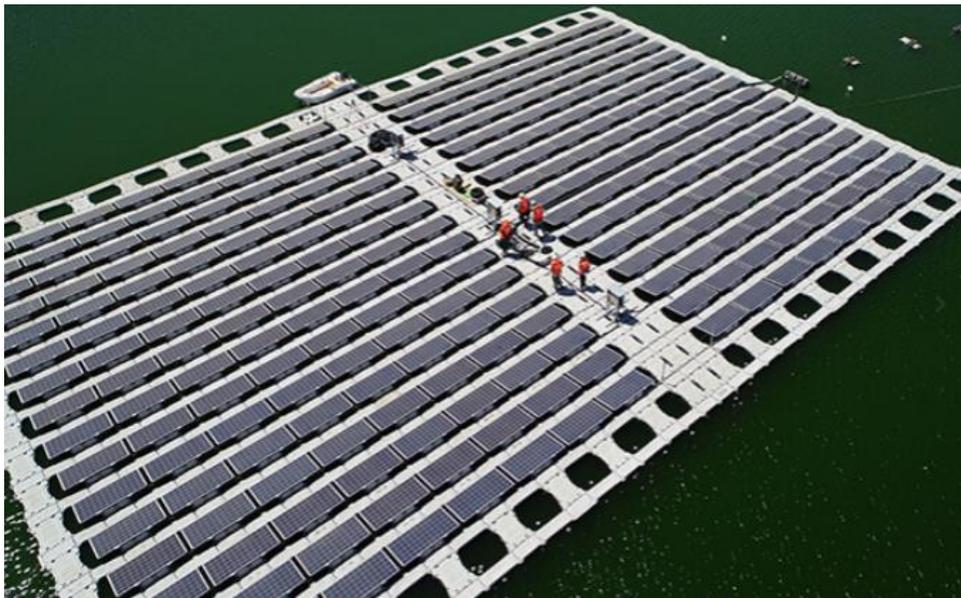


Figura 26. Paneles Flotantes Solares
(Fuente: Consejo Minero)

Transformación digital

Estas tendencias abren la puerta a casos de uso que impulsan la automatización de los procesos, el control remoto y en tiempo real, la anticipación frente a eventos y la mejora de los trabajos en campo. Además, ayudan a orientar la gestión al ciudadano, ofreciéndole servicios de valor añadido. En definitiva, van encaminadas a lograr una gestión más sostenible y segura, basada en mejores decisiones. El futuro depende de la transformación digital. Ahora bien, esta no debe ser concebida como un fin en sí mismo, sino como la forma de extraer el valor de los datos y convertir la información en inteligencia de negocio. Solo así podremos hacer frente a los desafíos de las próximas décadas (Idrica, 2022 [25]).

En la Tabla 3 se resumen las herramientas propuestas:

Tabla 3. Principales herramientas para la transformación digital (Adaptado de Idrica)

Tendencia	Descripción	Beneficios potenciales (entre otros)
AMI (Advanced Metering Infrastructure)	En los sistemas AMI el contador se convierte en un sensor IoT que transmite información útil para digitalizar todos los procesos	<p>- Mayor Eficiencia de la operación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Integración de datos otras fuentes de información(SCADA, CMMS, ERP, SIG y sensores IoT). - Integración con gemelos digitales para simular escenarios - Reducción de OPEX y predicción de la demanda de agua con antelación <p>Uso más sostenible de los recursos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Detección de fraudes y/o pérdidas - Reducción del consumo el consumo energético e impacto medioambiental <p>Agrega valor al entorno:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mayor transparencia en la gestión del recurso y comunicación con el entorno. - Minimiza potenciales reclamaciones
Gemelos Digitales	Copia virtual del sistema de distribución que simula su comportamiento, ayuda a tomar mejores decisiones gracias a la visión holística que proporciona del sistema y su capacidad de simulación de escenarios reales y ficticios	<p>Mayor Resiliencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mejora capacidad de adaptación ante escenarios de cambios (emergencias) - Mejor control de los riesgos <p>Más Eficiencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sistema más optimizado - Potencial reducción de Opex - Operación más eficiente y sistema más planificado <p>Más sostenibilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Potencial ayuda a la gestión de cuencas donde se desarrollan las operaciones - Herramienta de apoyo en la comunicación con terceros
Gestión Inteligente de Activos	Gestión de activos más inteligente	<ul style="list-style-type: none"> - Operadores con mayor volumen de información mejoran la gestión de activos - Potencial aumento de vida útil - Disminuye potencial de fallas
Sistemas de Información Geográfica (SIG)	Esta herramienta permite unificar el valor de la localización y su información, obteniendo un medio donde poder gestionarla de forma centralizada	<p>Mejora en la toma de decisiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conocimiento con exactitud qué está sucediendo en las infraestructuras - Predicciones más precisas. - Inventario geolocalizado de tuberías
Inteligencia Artificial	Dentro de la IA, el Machine Learning (ML) tiene un gran potencial en el sector. Esta disciplina se centra en el desarrollo de técnicas o algoritmos que permiten a una máquina aprender	<ul style="list-style-type: none"> - Automatización de aquellos procesos costosos de gestionar manualmente - Mejora en los sistemas de detección de fugas - Estimación y anticipación al consumo y calidad de aguas

10.2 Integración regional y gobernanza

La PNM 2050 establece como meta la participación activa en el desarrollo de la gestión integrada por cuencas (GIRH) al 2022, con implementaciones concretas al 2025.

El manejo de cuencas busca gestionar el agua, controlando los efectos de los fenómenos hidrológicos extremos, proteger y conservar los recursos, y mejorar la calidad de vida de sus habitantes. Esta gestión debe considerar:

- Modelos hidrológicos e hidrogeológicos
- Modelos de gobernanza
- Datos e información de manera coordinada
- Coordinación continua con las instituciones gubernamentales

Actualmente, la DGA se encuentra promoviendo las gestiones integradas de los recursos hídricos. La minería tiene la oportunidad de aportar impulsando y promoviendo la implementación de esta gestión integrada, previniendo los posibles efectos en los territorios para asegurar la sustentabilidad y transparencia.

Ante un problema común con las comunidades, se deben buscar soluciones técnicas que permitan tanto seguir operando en este escenario de escases hídrica, como aumentar la seguridad hídrica de la población mediante una gestión responsable de los recursos hídricos.

A continuación, se dan muestras sólo algunos casos ejemplo de buenas prácticas del negocio, que algunas mineras han realizado con el afán de tener una adecuada integración regional:

Caso de Angloamerican (Consejo Minero [30]):

El objetivo del proyecto es diagnosticar recursos hídricos a través del estudio de comités de Agua Potable Rural (APR), determinar la situación de las provincias de Chacabuco y Los Andes, y de las comunas de Nogales, Catemu y Llay Llay, y mejorar el uso de la infraestructura existente para optimizar la disponibilidad de agua en estos territorios. El programa de APR ha beneficiado a más de 100 mil personas a través del ahorro en el consumo energético, la disminución de la rotura de matrices, mejora exponencial en el índice de vaciados de estanques y, lo más importante, mayor disponibilidad de agua para consumo humano.

Anglo American es parte del Fondo de Agua Santiago-Maipo, La creación del primer Fondo del Agua de la Región Metropolitana y de Chile, que convoca a los sectores público, privado, sociedad civil y usuarios, contempla generar proyectos de restauración de bosques nativos y humedales, monitoreo de cuencas subterráneas, protección de glaciares, educación ambiental, planes de eficiencia en uso del agua, estudios de gestión de riesgos, y comunicación y ordenamiento territorial. Además, también es parte de la Mesa de Gestión Hídrica de la cuenca del Mapocho Alto y de la iniciativa de Eficiencia Hídrica de la Municipalidad de Lo Barnechea.

Caso de Minera Pelambres (Minera Pelambres [31]):

Minera Los Pelambres es una de las operaciones mineras con el uso más eficiente del recurso hídrico, ya que recircula el 85% de sus aguas industriales. Además, aporta activamente en la gestión hídrica del Choapa, promoviendo el uso sustentable del agua y

dándole prioridad al aseguramiento del consumo humano a través del fortalecimiento de los sistemas de Agua Potable Rural (APR).

- El Programa APROxima trabaja apoyando a APRs del Choapa, 76 APR, 6000 familias beneficiadas.
- Programa Confluye, en alianza con la comisión Nacional de Riego y las juntas de vigilancia del río Choapa, Chalinga a Illapel. Declara 3.500 agricultores beneficiados, M\$2.000 de inversión, 40 canales de riego con geomembrana.
- El plan Sequía, cuenta con aporte de \$2.200 para pozos de captación, \$200 para el revestimiento de canales,
- Participa en la Mesa Hídrica Provincial.

10.3 Creación de proyectos más sustentables

La PNM 2050 establece el compromiso de la industria de no usar más del 10% de agua continental para el año 2025 y de 5% para 2040 (hoy el valor es ~ 19%). A partir de esto, el impulso Política busca disminuir la proporción de agua continental utilizada en la minería y promover otras fuentes que no compitan con el consumo humano, como: aguas tratadas, aguas recirculadas, aguas grises, aguas servidas, agua de mar y swaps.

La PNM 2050 también indica que se debe reducir la generación de relaves convencionales, fomentando otras formas de denostación. Actualmente en Chile hay 757 depósitos de relaves, según los registros de Sernageomin. Además, del total nacional, aproximadamente 600 son del tipo tranque. Al depositarse los residuos en forma sólida, se eliminan los riesgos de liquefacción y se reduce el consumo de agua. Sin perjuicio de dicha reducción, hay incluso más soluciones que se plantean como alternativa para la disminución del uso de agua en relaves, y de riesgos físicos y ambientales, que se detalla a continuación:

- Relaves en pasta
- Relaves filtrados
- Relaves espesados
- Relaves de pila seca (DST)
- Cementación de relaves
- Nuevas formas que puedan desarrollarse a futuro

Un tema relevante que apunta a la disminución de costos, mayor eficiencia y menor impacto ambiental es la creación de valor **mediante infraestructura hídrica compartida**, entre mineras u otras industrias o entidades regionales.

Este es un tema de discusión que no ha tenido respuestas o propuestas claras en la industria. Técnicamente es un beneficio que sería muy interesante que la industria pueda pensar y llevar a cabo.

Recientemente se presentó una investigación realizada por SMI-ICE-Chile, Cesco y GIZ (Minería Chilena [32]), que consideró un análisis comparativo entre un escenario donde hay un sistema hídrico -parcialmente- compartido pero no óptimo con otro escenario donde el sistema hídrico está optimizado.

Básicamente se encontraron ahorros económicos importantes en el caso optimizado. Pero también lo interesante fueron los desafíos y oportunidades encontradas:

Desafíos

- Institucionalidad hídrica fragmentada que carece de una visión holística e impide políticas públicas y regulación adecuada
- Incertidumbre respecto de los impactos ambientales de la desalación
- Falta de cooperación entre sectores y actores
- Insuficiente gestión del agua
- Riesgos económicos y falta de financiamiento

Oportunidades

- Colaboración para la creación de una red unificada de distribución de agua
- Adaptación costo-efectiva y más sostenible frente al creciente escenario de escasez hídrica
- Alianzas público-privadas para la inversión
- Aprovechar nexo energía verde y agua
- Cambio de paradigma- competencia por colaboración

11 CONCLUSIÓN

El agua es un insumo crítico para el desarrollo de la sociedad y las industrias en todo nuestro país. Es un tema de conversación recurrente entre los actores de nuestra sociedad y está en proceso de cambio regulatorio y normativo actualmente. Para la industria minera es un elemento estratégico fundamental, y su gestión sobre el permitirá mantener y crecer en relación con los desafíos para paliar el cambio climático y transitar hacia productos con altos requerimientos de cobre, litio, cobalto y otros minerales importantes para Chile.

Por otro lado, todos los estudios de organismos internacionales como OCDE, Foro económico mundial, WRI, etc han puesto de manifiesto que el agua será una problemática importante para el desarrollo de toda la humanidad.

En Chile, los estudios de la DGA y organismos como Fundación Chile, sólo por nombrar algunos de varios, han puesto de manifiesto la disminución de oferta y disponibilidad de agua. De hecho, la DGA ha entregado reportes con simulaciones de cambio climático que en el peor de los casos podrían llegar a reducciones de hasta 50% de su disponibilidad. En la minería, como evidencia del problema, la sequía que afecta a la zona central del país ha implicado mermas en la producción de cobre y se han tenido que invertir grandes sumas de dinero en planes de contingencia para mitigar estos efectos.

Evidentemente, el agua es un insumo crítico para el sector minero. Si bien esta industria representa solo el 3.8% de la demanda total nacional, su desarrollo se enmarca en las regiones norte y centro donde la condición de stress hídrico es preocupante. En la actualidad el consumo total de agua es $\sim 19 \text{ m}^3/\text{s}$, de los cuales el 70% m^3/s provienen de aguas continentales y el 30% de agua de mar. Al considerar la capacidad de recirculación de las plantas, el uso de agua para producir cobre se distribuye de la siguiente manera: 73% agua recirculada, 19% agua continental, 8% agua de mar. De acuerdo con las proyecciones, se estima que para el año 2031, el consumo total de agua en la industria minera supere los $23 \text{ m}^3/\text{s}$, casi un 25% más de lo que hoy se consume.

Se vislumbra un riesgo significativo para la minería la escases del recurso y otros factores como: demandas sociales, cambios regulatorios y normativos respecto al uso y derechos de agua, cambio climático, mayores demandas de otras industrias y consumo humano, entre otros. En particular, hay una percepción social generalizada en contra de la minería que puede afectar el crecimiento de la industria

En la última década, la gran minería ha realizado esfuerzos notables en la reducción del consumo unitario, la reutilización del recurso y el avance en las tecnologías de desalación y consumo de agua de mar. El desafío de la industria minera es reforzar el compromiso de disminuir fuertemente el uso de agua continental: bajar del actual 19% a 10% en 2025 y a 5% en 2040 de acuerdo con la Política Nacional Minera 2050. Para esto, se requiere materializar en forma sustentable proyectos innovadores y tecnológicos, que incrementen más aún el uso de agua desalada, incorporar nuevas fuentes de aguas (industriales) y continúen con mejoras en los procesos, entre otras medidas de largo aliento, las cuales requerirán altas inversiones, permisos ambientales y sociales.

El agua de mar es mirada como una solución importante para suplir el consumo de aguas continentales, sin embargo, su desarrollo futuro debe afrontar varios desafíos para que siga creciendo y dando a conocer a la sociedad en su conjunto, que es una solución que no sólo favorece

los intereses de una minera en particular, sino, que es una solución integral a los problemas hídricos de las distintas regiones. El tema normativo en este aspecto será un tema contingente en los próximos años. En este aspecto, las mineras de la zona centro tendrán más tarea para incorporar esta tecnología, ya que por su geografía se ven más expuestas a la interacción con localidades y centros urbanos.

Por el lado medioambiental, será un tema de discusión y las mineras deben estar preparadas para demostrar a la opinión pública el cumplimiento irrestricto a las normativas y cumplimiento de compromisos.

Respecto a lo anterior, es una solución de alta inversión de capital y operacional, por la magnitud de las plantas, obras hidráulicas y energía requerida para desalar y luego transportar el agua a las faenas mineras. Entonces aparecen oportunidades y desafíos que debe enfrentar la industria en este aspecto, como la sinergia entre empresas para la infraestructura.

El alto costo para las mineras producir y adquirir este suministro crítico, implica que la eficiencia del recurso será tan o más imperativo que en la última década.

Los desarrollos tecnológicos e innovaciones para ahorrar agua serán sumamente importantes. Hay desafíos de mejorar la performance en los tranques de relaves tanto operativos como nuevos. Entre las oportunidades para seguir explorando hay varias: depositación de relaves espesados, disminución de la evaporación mediante paneles solares, recuperación de agua desde el tranque mediante perforaciones, flotación de partículas gruesas que permita un mayor drenaje en la depositación, eficiencia en el espesamiento, etc.

Otras áreas donde se debe avanzar es en centros de control avanzados de monitoreo de la huella del agua, para evitar pérdidas y mantener los consumos más razonables posibles. La industria minera tendrá que materializar estos y otras iniciativas en forma sustentables. Gran parte de ellas son iniciativas de largo aliento, requerirán altas inversiones y autorizaciones medioambientales y sociales difícil de concretar al corto y mediano plazo.

Las mineras deben estar a la altura de este desafío país, promoviendo centros de integración tecnológica y de innovación.

La industria minera deberá enfocar sus proyectos y gestión estratégica del agua en principios claves para la aceptación de la sociedad, cuidando el medioambiente, aportando a la sociedad y siendo rentable económicamente. Probablemente, tendremos en el futuro proyectos mucho más colaborativos e insertos en una solución regional. Los planes de desarrollo no pueden ser de corto plazo y las acciones y hojas de rutas deben incorporar a las comunidades y respeto irrestricto al medio ambiente, sólo así el abastecimiento de este bien escaso podrá tener seguridad y resiliencia.

Es necesario avanzar en modelos de negocio distintos a los actuales, por ejemplo, incorporar actores como operadores de agua, que puedan integrar distintas fuentes, administrar, construir infraestructura y distribuir a distintos usuarios, entre ellos las mineras.

Las estrategias de gestión hídrica deben ser innovadoras, entendiendo que son una forma de relacionarse con los territorios en los que convivimos. Es necesario que como industria transitemos hacia una mirada ecosistémica de los territorios, en la que logremos el desarrollo armónico tanto

de los recursos mineros como de los demás intereses presentes en el entorno, a través de iniciativas de colaboración y trabajo en alianza con los distintos grupos de interés y los ecosistemas.

Chile debe seguir siendo un país líder en la minería del cobre, la cual tendrá un rol fundamental en la transición a la electro-movilidad para reducir las emisiones globales e intensidad del cambio Climático.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Portal Agua.org.mx, sitio web de libre acceso <https://agua.org.mx/en-el-planeta/#cuanta-hay>, consultado en Julio 2022
- [2]. OCDE, Principios de Gobernanza del Agua, 2015.
- [3]. Radiografía del Agua, Brecha y Riesgo Hídrico en Chile, Escenarios Hídricos 2030, 2018
- [4]. The Global Risks Report 2022, World Economic Forum, 2022.
- [5]. <https://www.wri.org/insights/ranking-worlds-most-water-stressed-countries-2040>, WIR, consultado en Julio 2022.
- [6]. World Resources Institute- WRI. (2015). Ranking the world's most water-stressed countries in 2040. Disponible en URL: <https://www.wri.org/insights/ranking-worlds-most-water-stressed-countries-2040>
- [7]. Transición Hídrica, El futuro del Agua en Chile, Escenarios Hídricos 2030, 2019
- [8]. Atlas del Agua en Chile, documento Ministerio de Obras Públicas y DGA, 2016
- [9]. Plataforma de Aguas del Consejo Minero, <https://consejominero.cl/agua/>
- [10]. Actualización del balance hídrico Nacional, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, 2017
- [11]. Aplicación de la Metodología de Actualización del Balance Hídrico Nacional en las Cuencas de las Macrozonas Norte y Centro, S.I.T N° 435, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, 2018.
- [12]. Atlas del Agua en Chile, documento Ministerio de Obras Públicas y DGA, 2016
- [13]. Presentación Desal overview in the Chilean mining, Cochilco, 2022.
- [14]. Costo Económico del Uso de Agua Desalada en La Minería Chilena, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Departamento de Estudios, extensión y publicaciones, 2017
- [15]. <https://revistamarina.cl/es/articulo/desalacion-del-agua-de-mar-una-alternativa-de-progreso-para-chile>
- [16]. Informe de actualización del consumo energético de la minería del cobre al año 2019, Cochilco, 2019
- [17]. <https://www.mch.cl/reportajes/escondida-inauguro-la-mayor-desaladora-sudamerica/#>, Revista Minería Chilena, 2018.
- [18]. <https://www.mch.cl/reportajes/nueva-desaladora-de-escondida-ews-evaluan-su-ampliacion/>, Revista Minería Chilena, 2018
- [19]. Consumo de agua en la minería del cobre al año 2019, Cochilco, 2020.
- [20]. Proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2020-2031, Cochilco, 2020.
- [21]. Escasez Hídrica En Chile: Desafíos Pendientes, ONU, 2021
- [22]. Encuesta Revela Opinión Ciudadana Sobre El Presente Y Futuro Del Agua, Escenarios Hídricos 2030, <https://escenarioshidricos.cl/eh-2030-en-la-prensa/encuesta-revela-opinion-ciudadana-sobre-el-presente-y-futuro-del-agua/>
- [23]. “Percepción ciudadana sobre el agua en Chile: Desafíos y perspectivas”, Ecoigualdad y Centro de Estudios del Futuro (CEF) de la Universidad de Santiago de Chile, 2021.
- [24]. Revista Minería Chilena, 2022, <https://www.mch.cl/2022/06/06/diputados-llaman-al-gobierno-a-poner-urgencia-a-tramite-de-proyecto-de-desalinizacion>
- [25]. Water Technology Trends, Idrica, 2022
- [26]. AWTT, Advanced Water Treatment Technologies, <https://www.awtti.com/evaporation-control-floating-cover/>.
- [27]. Plataforma de Innovación en Angloamerican, de libre acceso en <https://chile.angloamerican.com/innovacion.aspx>

- [28]. Consejo Minero, Plataforma Social, Proyecto de Flotación de Partículas Gruesas, disponible en sitio de libre acceso <https://consejominero.cl/plataforma-social/proyecto-de-flotacion-de-particulas-gruesas-cpf/#:~:text=La%20flotaci%C3%B3n%20de%20part%C3%ADculas%20gruesas,nivel%20de%20laboratorio%20y%20piloto>.
- [29]. Consejo Minero, Plataforma Social, Proyecto de Paneles Flotantes Solares, disponible en sitio de libre acceso <https://consejominero.cl/plataforma-social/proyecto-de-paneles-solares-flotantes/>
- [30]. Consejo Minero, Proyecto de Agua Potable Rural, disponible en sitio de libre acceso <https://consejominero.cl/plataforma-social/proyecto-de-agua-potable-rural-apr/>
- [31]. Minera Pelambres, <https://web.pelambres.cl/cuidando-agua>
- [32]. Revista Minería Chilena, 2022, Artículo sobre infraestructura hídrica compartida, disponible en sitio web de libre acceso <https://www.mch.cl/2022/04/01/infraestructura-hidrica-compartida-como-una-opcion-identifican-desafios-y-oportunidades-para-chile-y-peru/>
- [33]. Consejo Minero, Minería, Agua y Sustentabilidad, 2015.