

DOCUMENTOS DE PROYECTOS

La eficiencia en el uso del agua y la energía en los procesos mineros: casos de buenas prácticas en Chile y el Perú

José Luis Lewinsohn
René Salgado

DOCUMENTOS
DE PROYECTOS



NACIONES UNIDAS



cooperación
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

La eficiencia en el uso del agua y la energía en los procesos mineros: casos de buenas prácticas en Chile y el Perú

José Luis Lewinsohn
René Salgado



Este documento fue elaborado por José Luis Lewinsohn, Consultor de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), René Salgado, funcionario de la Unidad de Recursos Naturales y Energía de la División de Recursos Naturales e Infraestructura de la CEPAL, en el marco de las actividades del proyecto “Cooperación regional para una gestión sustentable de recursos mineros en los países andinos”, que se ejecuta con el apoyo financiero del Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) y la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ), por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ).

Los autores agradecen los aportes y comentarios de Lothar Winkelmann (BGR), María Denise Nguyen, Aurora Willians (Ministra de Minería), Oscar Landerretche (Presidente del directorio CODELCO), Patricio Chávez Inostroza, Oscar Castañeda, Gerardo Alzamora, Richard Aylwin, René Orellana, (todos funcionarios de CODELCO), Eduardo Jiménez (COCHILCO), Michael Priester, Pedro Pablo Vásquez, Wilfredo Vivanco, Walter Sánchez, Pablo Peña, Carmen Conopuma Rivera, Hugo Plasencia y Edwin Ventura Chuquipul.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización.

Publicación de las Naciones Unidas

LC/TS.2017/141

Distribución: Limitada

Copyright © Naciones Unidas, diciembre de 2017. Todos los derechos reservados

Impreso en Naciones Unidas, Santiago

S.17-01066

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Publicaciones y Servicios Web, publicaciones@cepal.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Resumen	7
I. Estado de situación en la utilización de agua y energía en minería de los países andinos: Chile y Perú	9
A. Gobernanza, una aproximación a la explotación de los recursos naturales	9
B. Contexto de la CEPAL y Naciones Unidas respecto a la gestión de los recursos hídricos	14
C. Eficiencia energética/agua	18
D. Nexo del agua, la energía y la seguridad alimentaria: la situación de la industria minera en países andinos.....	20
E. Big Data en los procesos productivos mineros.....	22
F. La cooperación BGR y CEPAL en el ámbito de los procesos mineros	27
G. Situación en la utilización de agua y energía en la minería de los países andinos: el caso de Chile.....	28
1. Consumo de agua en la minería del cobre	29
2. Consumo de energía en la minería del cobre	41
H. Situación en la utilización de agua y energía en minería de los países andinos: el caso de Perú	46
1. Consumo de agua en la minería del Perú.....	47
2. Consumo de energía en la minería del Perú.....	53
II. Presentación de casos de estudio.....	57
A. Justificación	59
B. Procesos mineros—esquemas generales asociados a los casos de estudio	59
C. Presentación Caso de estudio en Chile, CODELCO	67
D. Presentación Caso de estudio en Perú SOTRAMI	69
E. Presentación Caso de estudio en Perú MYSAC.....	71
III. Análisis de los casos de estudio.....	73
A. Casos de estudio.....	73
1. Caso de estudio A de Chile (CODELCO).....	73
2. Caso de estudio B de Chile (CODELCO).....	78
3. Caso de estudio A de Perú (SOTRAMI).....	82
4. Caso de estudio B de Perú (MYSAC)	86
B. Problemáticas en el uso eficiente de agua y energía	90
C. Oportunidades de mejora para el uso eficiente de agua y energía	91

D.	Soluciones tecnológicas y procedimientos innovativos para el uso eficiente de agua y energía.....	92
IV.	Recomendación de políticas para los países andinos en el uso eficiente del agua y la energía en la minería.....	93
A.	Enfoques para el mejoramiento en la utilización del agua y la energía.....	94
B.	Acciones para el uso eficiente del agua y la energía en proceso minero.....	96
V.	Seminario subregional en CEPAL, noviembre de 2016.....	99
	Bibliografía.....	103

Cuadros

Cuadro 1	Plantas desalinizadoras construidas y proyectadas en Chile.....	34
Cuadro 2	Planteamiento del problema, impactos, inputs requeridos y resultados esperados.....	74
Cuadro 3	Análisis conceptual de costos y beneficios, traslado de planta SOTRAMI.....	84
Cuadro 4	Análisis conceptual de costos y beneficios, separación sólido-líquido SOTRAMI.....	85
Cuadro 5	Análisis conceptual de costos y beneficios, acceso mecanizado mina, SOTRAMI.....	86
Cuadro 6	Valoración del proyecto de separación sólido-líquido, MYSAC.....	88

Gráficos

Gráfico 1	Uso consuntivo de aguas en Chile, 2003, 2010 y 2015.....	31
Gráfico 2	Distribución porcentual de los usos consuntivos por las regiones de Chile, 2015.....	31
Gráfico 3	Consumo de agua continental en la minería del cobre por proceso.....	36
Gráfico 4	Consumo total de agua continental en la minería del cobre por zona.....	37
Gráfico 5	Fuente de extracción de agua en la minería del cobre.....	38
Gráfico 6	Extracción de agua en la minería del cobre según fuente de extracción y por zona.....	38
Gráfico 7	Recirculación de agua en la minería del cobre.....	39
Gráfico 8	Consumo unitario de agua continental por tonelada de mineral de cobre procesado en Chile.....	40
Gráfico 9	Consumo unitario de acuerdo al tamaño de empresa.....	40
Gráfico 10	Proyección de demanda de agua en la minería del cobre, 2016-2027.....	41
Gráfico 11	Consumo nacional de energía en la minería del cobre en Chile.....	43
Gráfico 12	Consumo nacional de energía en la minería del cobre por proceso en Chile.....	44
Gráfico 13	Proporción del consumo nacional de energía en la minería del cobre por proceso en Chile.....	45
Gráfico 14	Consumo eléctrico nacional de la minería del cobre en Chile, según casos máximo, esperado y mínimo, 2016-2027.....	45
Gráfico 15	Distribución del consumo de agua por sectores en Perú, 1995 y 2006.....	49
Gráfico 16	Volúmenes de derechos de agua otorgados en Perú según tipo de uso.....	50
Gráfico 17	Volúmenes de derechos de agua en minería por vertiente en Perú.....	52
Gráfico 18	Volúmenes otorgados a la minería por tipo de derecho en Perú.....	52
Gráfico 19	Precipitaciones anuales, Ayacucho y Arequipa.....	53
Gráfico 20	Potencia instalada por fuente en Perú, sobre un total de 12.189 MW, 2015.....	54
Gráfico 21	Venta de energía eléctrica por actividad CIU en Perú, 2015.....	55
Gráfico 22	Venta de energía eléctrica por actividad CIU en Perú, 2015.....	55
Gráfico 23	Venta de energía eléctrica para la minería por departamentos en Perú, 2015.....	56

Gráfico 24	Proyección de consumo final de energía en la industria minero metalúrgico del Perú, considerando un crecimiento del PBI de 4,5% y 6,5%, 2014-2025	56
Gráfico 25	Revolución del proceso de concentración, utilización de agua fresca y el <i>Make Up</i> , en la División Chuquicamata de CODELCO, 1988-2016	78
Gráfico 26	Proyección del proceso de concentración, utilización de agua fresca y el <i>Make Up</i> , en la División Chuquicamata de CODELCO, 2016-2030	81
Gráfico 27	Distribución de tiempos “muertos” del turno laboral, en Mina Caso A de Perú	85
Gráfico 28	Indicador de dilución de ley Mina Caso B (MYSAC)	89
Gráfico 29	Leyes de mineral Mina Caso B (MYSAC)	89
 Recuadros		
Recuadro 1	Desarrollo de un sistema de correa transportadora con capacidad para regenerar energía eléctrica	18
Recuadro 2	Disminución de las pérdidas de agua en las piscinas (industriales) de CODELCO	35
 Diagramas		
Diagrama 1	CODELCO: utilización del Big Data para la optimización de agua y energía	26
Diagrama 2	Distribución de la capacidad total instalada en Chile (22 992,32 MW)	43
Diagrama 3	Aplicación general de equipos de conminución, según su rango de productos y eficiencia	61
Diagrama 4	Esquema general de un equipo de espesamiento	65
Diagrama 5	Vista de parámetros fuera de rangos normales en la operación de los espesadores	75
Diagrama 6	Visualización datos y regresiones para el modelo de alerta temprana en la operación de espesadores	75
Diagrama 7	Visualización de las variables numéricas en operaciones de espesadores de relave, en tiempo real, en cada División de CODELCO	76
Diagrama 8	Visualización de los datos y gráficos últimas 48 horas, asociados al espesador de relaves ER2 de DCH	77
Diagrama 9	Visualización del sistema de alertas tempranas SENTINEL en la operación de los espesadores en CODELCO	77
 Mapas		
Mapa 1	Estadísticas generales de la actividad minera en Chile	29
Mapa 2	Estadísticas generales de la actividad minera en Perú	47

Resumen

El presente estudio constituye uno de los productos comprometidos en el marco de las actividades del proyecto “Promoción de la cooperación minera en los países andinos”, implementado por la División de Recursos Naturales e Infraestructura de la CEPAL, con el financiamiento y apoyo del Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR), la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ), por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ).

El objetivo central es identificar y analizar casos de estudio en países andinos de la región (Chile y Perú) en donde las empresas mineras estén incorporando metodologías, instrumentos y tecnología para el uso eficiente del agua y energía en los procesos de producción.

Estos procesos son y serán un enorme desafío para las empresas extractivas, en especial por los marcos regulatorios y normativos que se están impulsando en el sector, así como la preocupación y presión social respecto del impacto en el medio ambiente, el uso intensivo del agua en zonas de estrés hídrico y la disposición de energía en zonas geográficas complejas.

El primer caso de estudio se relaciona con la gran minería del cobre de Chile. En él se analiza la incorporación de la herramienta *big data* en la toma de decisiones para reconocer alertas tempranas en determinados procesos de la producción (condiciones de riesgo, episodios críticos y otros). El segundo pasa revista al proceso de modernización de las operaciones en el uso del agua y la energía en dos minas de mediana producción de oro en la zona andina de Perú.

El marco teórico del estudio aborda un tema que en el último tiempo ha tomado impulso en la región, a saber: la gobernanza de los recursos naturales, cuyo objetivo central es la promoción de un cambio estructural con igualdad y énfasis en la distribución y uso de los recursos fiscales provenientes de sectores como la minería y los hidrocarburos. Éste es un paradigma que ofrece nuevas herramientas para la consecución del desarrollo sostenible, la equidad social y económica; así como otras dimensiones de preocupación regional como la protección del medio ambiente, la equidad de género y el derecho humano al agua, entre otros.

Finalmente cabe destacar que otra dimensión sustantiva abordada en el estudio ha sido el rol de la gestión de recursos hídricos con especial énfasis con el Nexo agua, energía y seguridad alimentaria y las posibles relaciones con la industria minera en países andinos.

I. Estado de situación en la utilización de agua y energía en minería de los países andinos: Chile y Perú

En este capítulo se describe el marco conceptual de esta investigación, como también, una revisión del estado actual de los países en estudio sobre la base de la información disponible respecto a la utilización del agua y la energía en la industria minera. Consecuentemente, se incluye un marco conceptual de la Gobernanza de los Recursos Naturales, el Nexos de agua/energía y aspectos relacionados con la llamada Big Data. Para finalizar se presentan conceptos relacionados a la concordancia existente entre los principios de la Cooperación Alemana BGR¹ y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) del Sistema de las Naciones Unidas.

A. Gobernanza, una aproximación a la explotación de los recursos naturales

La Gobernanza de los Recursos Naturales es un eje clave para el desarrollo económico y social de los países de la región, es por ello que la CEPAL ha promovido este paradigma en el debate regional. Durante el Trigésimo Quinto Período de Sesiones de mayo del año 2014, se presentó a los países el documento: “Pactos para la Igualdad: hacia un futuro sostenible” en él se destacó el rol central de la gobernanza de los recursos naturales para la promoción de un cambio estructural con igualdad, en especial la promoción de la distribución y uso de los recursos fiscales provenientes de los sectores de la minería y los hidrocarburos.

Paulatinamente este concepto ha venido cobrando mayor fuerza debido al sentido de visión estratégica y a cómo se ajusta de forma directa a los diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible, con especial atención a los países de la región en la publicación “Horizontes 2030: La igualdad en el centro del desarrollo sostenible” (CEPAL, 2016). Consecuentemente, y continuando con la

¹ Por sus siglas en idioma alemán Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales.

profundización teórica de la gobernanza de los recursos naturales se presentó en el período de sesiones del año 2016 de CEPAL el libro “Hacia una nueva Gobernanza de los Recursos Naturales en América Latina y el Caribe”, mayo de 2016.

En este sentido, a partir de los estudios publicados en los últimos años que han abordado este tema, se entiende que la gobernanza de los recursos naturales, es el ejercicio de la autoridad pública de los distintos agentes del Estado en el marco de políticas institucionales, regulación e institucionalidad vigente, cuyo accionar conjunto rige el funcionamiento y devenir de los sectores extractivos. La gobernanza se ejerce mediante el conjunto de instituciones formales (marcos constitucionales, leyes, régimen tributario/fiscal, regulación sectorial, territorial y ambiental, entre otras), pero también incluye a las instituciones informales (reglas implícitas en la práctica de uso común) establecidas en cada país, así como decisiones políticas soberanas, cuyo accionar conjunto rige el funcionamiento de los sectores especialmente extractivos y la relación con la comunidad.

La gobernanza de los recursos naturales, por lo tanto, es una contribución y a la vez un reto al debate sobre el desarrollo sostenible, económico y social. En el caso de los recursos naturales no renovables (recursos agotables), exige un análisis cuidadoso, que se enfoca especialmente en los criterios más esenciales del desarrollo sostenible y que consecuentemente considera las necesidades de las generaciones futuras como eje central en la toma de decisiones.

Lamentablemente, es posible afirmar que la gobernanza vigente de los recursos naturales no ha logrado completamente construir un proceso virtuoso para el aprovechamiento sostenible de esa riqueza. Es por ello que la región demanda una renovada gobernanza que asegure que los beneficios de esa explotación sean sostenibles, aporten al desarrollo pleno con especial énfasis a la disminución de las brechas sectoriales existentes en la región. Lo anterior define a una nueva gobernanza de los recursos naturales (renovables y no renovables) que en el futuro logre transformar el capital natural no renovable en otras formas de capital perdurable que puedan aportar sustantivamente al ingreso nacional y el proceso de desarrollo sostenible de las naciones, más allá del ciclo de vida de aquellos recursos.

La buena gobernanza está destinada a convertirse en el principal instrumento con que cuentan los países de América Latina y el Caribe para cambiar la orientación que se ha dado hasta hoy al manejo económico y fiscal de los recursos naturales y así avanzar en el camino de la equidad, la sostenibilidad, los derechos humanos y la protección de la naturaleza. Constituye, finalmente, una perspectiva segura de cambio del paradigma de desarrollo en beneficio de las generaciones actuales y de las que vendrán (Altomonte y Sánchez, 2016).

Los mecanismos relevantes que se plantean como instrumentos para lograr implementar la gobernanza de estos recursos son los asociados a la apropiación, distribución y uso de rentas derivadas de la explotación, con el objeto de lograr una inversión pública eficiente de estas rentas. Asimismo éstos deben incorporar criterios de estabilidad fiscal y aportar de forma sustantiva a un cambio estructural de largo aliento configurando los elementos esenciales para el desarrollo pleno, inclusivo y sostenible. Asimismo, este concepto incluye el manejo adecuado de los efectos macroeconómicos debido a la volatilidad de los ciclos de precios de los bienes primarios. Por otra parte se destaca el mejoramiento de las capacidades del Estado para prevenir gestionar e intentar resolver los conflictos que surgen en los procesos productivo-extractivos especialmente entre empresa y actores locales.

Los principales pilares que sostienen esta nueva perspectiva son:

- i) Elaborar una estrategia y política estatal de largo plazo, para asegurar que los sectores extractivos contribuyan al logro de las metas de desarrollo pleno con diversificación productiva, cambio estructural e inclusión social.
- ii) Adaptar la institucionalidad, normatividad nacional y regional conforme a las estrategias y políticas del Estado, en un marco de mayor transparencia y control social sobre los flujos; mejor uso e inversión de las rentas extractivas por los gobiernos y las empresas.
- iii) Adaptar los marcos fiscales de los sectores extractivos con anticipación a los próximos ciclos de precios, para mejorar la captura por parte del Estado de la renta extractiva en

condiciones de progresividad y flexibilidad. Asimismo, avanzar en la implementación, adecuación e institucionalización de mecanismos de estabilización, ahorro e inversión de largo plazo de las rentas.

- iv) Establecer instrumentos y mecanismos que aseguren eficazmente una explotación sustentable de los recursos naturales y la protección del medio ambiente nacional.
- v) Fortalecer las capacidades de las instituciones públicas para resolver y gestionar eficazmente el creciente número de conflictos sociales, ambientales y laborales asociados al desarrollo de los sectores extractivos.

De lo anterior, podría concluirse que en el proceso de la operacionalización de la Gobernanza de los Recursos Naturales se podría construir un aporte sustantivo y transversal a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), ya que éstos podrían componer una verdadera “hoja de ruta” para el desarrollo sostenible y la equidad social.

Consecuentemente, otra cuestión que podría constituir un aporte es la consecución de la gobernanza económica, en especial lo relacionado con los recursos compartidos². Este reciente paradigma que se ha instalado en el debate mundial plantea que la gobernanza es un proceso multinivel establecido por individuos, para crear instituciones-reglas que regulan a las personas y sociedades en sus vínculos y afecciones específicas en un sistema ecológico-social (SES por sus siglas en inglés) (Ostrom, 2009). Todo esto está vinculado con quienes vigilan el cumplimiento del marco regulatorio, y cómo estas relaciones pueden ser modificadas en el tiempo a la luz de la retroalimentación del propio SES y de aquellos involucrados en su uso, manejo y conservación. Es importante destacar que un proceso de gobernanza puede ser emprendido por el Estado (principal organización de una sociedad), como también, por organizaciones secundarias (Weber, M., 1964).

Ostrom propone un marco teórico que identifica cada una de las partes que definen a la gobernanza como un proceso de decisión/multinivel:

- i) Recursos Comunes (common-pool resources): Un sistema de recursos en los que es costoso excluir a potenciales beneficiarios, pero el uso de una persona resta recursos de las unidades disponibles para otros.
- ii) Gobernanza (Governance): El proceso de elaboración de reglas institucionales para adaptarse a contextos diversos.
- iii) Reglas Institucionales: Reglas que definen derechos y responsabilidades de participantes en un escenario repetitivo.
- iv) Sistema Policéntrico: Un sistema de gobernanza en el que los ciudadanos son capaces de organizar múltiples autoridades de gobierno a diferentes escalas.
- v) Sistema ecológico-social (Social-ecological system): Un sistema ecológico y un sistema social vinculado a los usuarios de los recursos y sus acuerdos de gobernanza (si corresponde).

El desafío de aquellos que tienen que enfrentar el estudio o la construcción de la gobernanza de SESs es equilibrar arreglos institucionales a la estructura de un SES focal y otros SESs vinculados a menor o mayor escala. Por lo tanto, debido a que la estructura de un SES cambia en el tiempo, es importante permitir que las reglas institucionales se adapten en determinados periodos relacionados con los ciclos y dinámicas económicas de los recursos naturales.

En consecuencia, los recursos comunes generan cantidades finitas de unidades de recurso. El sujeto u organización que recolecta unidades de recursos desde uno común, evidentemente sustrae

² Elinor Ostrom, politóloga y premio nobel de economía del año 2009.

cantidades de unidades disponibles para otros. Algunos ejemplos de recursos comunes incluyen sistemas contruidos por el ser humano, pero los sistemas naturales son los más destacados: cuencas hidrográficas superficiales y subterráneas, bosques, tierras de pastoreos, pesca, yacimientos mineros, entre otros. Tipos concretos de unidades de sistemas naturales antes mencionadas, derivados de recursos comunes pueden ser: agua, madera, minerales, forraje, peces y otros.

Cuando unidades de recursos son altamente valoradas y muchos actores se benefician de su recolección, para su consumo, intercambio o como un factor de un proceso de producción; la recolección hecha por un individuo es susceptible de crear una externalidad negativa para otros. Los recursos comunes con acceso abierto (lo que significa que no hay reglas relacionadas con el uso del recurso) que generan altos valores de unidades de recursos, son susceptibles de ser sobreexplotados y podrían incluso ser destruidos (Ostrom, 1997).

Implícitamente, los teóricos asumen que los funcionarios de gobierno actuarán por el interés público y que además comprenden cómo funcionan los sistemas ecológicos, así como la existencia de capacidad para transformar instituciones que están a cargo de estos temas e inducir el comportamiento socialmente óptimo.

La probabilidad de que los usuarios se adapten y acepten más efectivamente las reglas y marco regulador en estos temas es mayor cuando viven en un régimen estatal que facilita y promueve procesos de construcción de la institucionalidad de la gobernanza con una perspectiva de las SES (sistema ecológico-social), que aquellos usuarios que viven en regímenes que ignoran totalmente los problemas y limitaciones de los recursos, o bien, presumen que toda decisión acerca de la gobernanza y su manejo necesita ser hecha por las autoridades centrales. Si las autoridades locales no están reconocidas por regímenes más complejos, es difícil para los usuarios establecer un conjunto de normas ejecutables. Por otro lado, si las normas están impuestas por actores exógenos al sistema, sin consultar a los participantes locales (actores endógenos) en su diseño, éstos pueden no considerar determinados ordenamientos y reglamentos, y en consecuencia, podrían ignorarlos o bien simplemente incumplirlas.

Por lo tanto, entre las ventajas de autorizar al usuario de escala menor de recursos comunes, a adoptar políticas de regulación del uso de éstos, se destacan (Ostrom, 2009):

- Conocimiento local: los usuarios de los recursos que se localizan en las inmediaciones y recolectan recursos desde el sistema en un largo espacio de tiempo, tienden a desarrollar modelos mentales relativamente precisos de como el sistema biofísico se comporta. Existe conciencia y conocen las normas de conducta consideradas apropiadas.
- Inclusión de participantes dignos de confianza: los usuarios locales de recursos pueden establecer normas que incrementan la probabilidad que otros sean confiables y eventualmente usen la reciprocidad.
- Dependencia de conocimiento desagregado: la retroalimentación acerca de cómo el sistema de recursos responde a cambios debido a la explotación de usuarios de éste, se presenta en forma desagregada. Por ejemplo, los pescadores saben si el tamaño y la distribución de las especies está cambiando en el tiempo por su propia pesca, entonces acuerdan la cantidad de la pesca con otros pescadores.
- Normas mejor adaptadas. Teniendo en cuenta lo anterior, los usuarios de recursos son más propensos a elaborar reglas que estén mejor adaptadas a cada uno de los recursos comunes que cualquier sistema de normas general.
- Menores costos de aplicación. Los usuarios de recursos locales asumen el costo del monitoreo, es probable que elaboren reglas que hacen que las infracciones sean obvias para otros usuarios, de manera que los costos de monitoreo sean menores. Además, si las reglas se consideran legítimas, la conformidad con las reglas tenderá a ser más alta, aceptada y respetada por todos.

- Redundancia. La probabilidad de fracaso en una gran región se reduce considerablemente mediante el establecimiento de sistemas paralelos para la toma de decisiones en las normas, su interpretación y ejecución.

Por su parte, Cante y Trujillo (2014), sobre la base de la investigación de E. Ostrom y otros, afirman que se puede realizar un paralelo entre la gobernanza y gobernabilidad, especialmente al analizar a la industria minera, se considera a la sociedad civil capaz de autorregularse y como resultado de su propio proceso de organización, de interactuar con la autoridad, y además, expresar sus demandas en el marco de los derechos individuales y colectivos, concluyendo que la gobernabilidad responde a una visión top-down mientras que la gobernanza a una visión bottom-up, las que por cierto son complementarias.

Kooiman (1993), explica que “La gobernanza se entiende como la forma que tienen los grupos políticamente organizados resolver problemas mediante la acción colectiva, innovando en las formas de solución para sus necesidades”, realiza un análisis en donde expresa que la gobernanza se relaciona con la sociedad civil, en tanto es el espacio para el ejercicio de la ciudadanía –individual– y la deliberación –colectiva–.

Consecuentemente, Cante y Trujillo (2014), sostienen que la gobernanza estaría influenciada por variables internas y externas a la sociedad, entre las internas se identifican expresiones culturales, la capacidad de planeación de acciones para períodos de corto y largo plazo; los argumentos que subyacen en algunas decisiones influenciadas por la cosmología de la colectividad, como es el caso de las poblaciones indígenas. Algunos factores externos se encuentran en la presión de todo tipo de actores: agentes de gobierno, instituciones, actores beligerantes o actores económicos, entre otros.

Por otra parte Hufty (2006), señala que para hacer un análisis detallado de la gobernanza en determinado contexto y grupo de actores sería preciso identificar dichos actores, su trayectoria, los puntos nodales que los vinculan, así como las normas sociales que influyen sus decisiones y acciones y, finalmente, describir los procesos de acción colectiva que los llevan a cambiar o influenciar la transformación de la problemática social, política o económica que les compete. Es importante indicar que el análisis de la gobernabilidad no difiere al presentado por Ostrom, quien precisa identificar los actores, las acciones, los resultados y la relación costo-beneficio de dichos resultados.

Tomando en cuenta este marco teórico, Cante y Trujillo (2014) analizan, gobernabilidad y gobernanza vinculados a los distintos tipos de minería, se presenta una comparación de los principales componentes analizados; en consecuencia, gobernanza puede ser entendida como la actividad para consolidar la acción de la discusión, debate y decisiones de las colectividades o comunidades para que sean representadas y tomadas en cuenta en las decisiones concernientes a la actividad minera. Para estos fines, es necesario garantizar la libertad de expresión, de asociación y derecho a la manifestación sin violencia. Además, el acceso a la información es crucial, debiendo incorporarse toda la que se tenga disponible y con claridad. Los ciudadanos deben tener una base de cultura cívica, de tal forma que tengan internalizados claramente sus deberes y derechos. La gobernanza vinculada a procesos extractivos (minería) exige considerar el ejercicio de derechos colectivos e individuales, en situaciones de riesgo a la integridad comunitaria y física de las poblaciones afectadas directa e indirectamente por la explotación minera, que debería ampliarse a la obtención de beneficios, según sea el caso.

En relación a la gobernabilidad: es el desarrollo de marcos normativos que comprendan las distintas etapas de la explotación (exploración, explotación, beneficio y comercialización) de todos los recursos naturales que se extraigan en un lugar específico, incluyendo medidas preventivas y paliativas, de los posibles riesgos ambientales y sociales. Debe tener una permanente y eficiente retroalimentación entre las unidades encargadas de la gestión de los recursos naturales, con el objetivo de lograr sinergias. La aplicación de instrumentos de tasación justa para que el Estado disponga de recursos que permitan el fortalecimiento de las capacidades institucionales. Por lo tanto, es determinante disponer de instituciones y capacidades fiscalizadoras suficientes en los territorios donde se realiza la explotación minera, de tal forma de identificar oportunamente la llamada minería ilegal o criminal.

De esta manera, es posible identificar cuáles serían las nociones aplicables para la gobernanza y la gobernabilidad, de tal forma, de tener un consenso conceptual que permita orientar en la toma de decisiones.

Algunas ideas que se expresan en directa relación con los bienes comunes, pertenecen a Hardin (1968) con el debatido estudio denominado “la tragedia de los comunes”, en él se expresa que la sobreexplotación de los recursos minero-energéticos y fuentes acuíferas muy probablemente conducirá a la destrucción y total agotamiento; consecuentemente la exacerbada utilización, por ejemplo de combustibles fósiles, acarreará una sobre contaminación con consecuencias fatales como es el sobrecalentamiento global y el cambio climático, procesos que actualmente están presentes en distintas regiones del planeta.

Se trataría de un dilema actual entre responsabilidad y libertad, de cómo el interés personal (u organizacional) y racional destruye el recurso compartido y limitado. La excesiva extracción de recursos naturales conlleva a la insostenibilidad porque: i) la demanda de energías y minerales, es llevada a cabo por actores económicos altamente exigentes y en algunos casos Estados y comunidades oferentes (consumidores y usuarios) no entienden las realidades y condiciones locales de la extracción; ii) los recursos naturales son bienes de acceso directo, que por lo general no presentan barreras de entrada (económicas, legal y acceso, entre otras) para su explotación y extracción (Cante y Trujillo, 2014).

Ostrom por su parte señala la capacidad de adaptación de las distintas instituciones, así como el marco regulatorio, y la participación de los usuarios y beneficiarios de los CRP (cuencas, pesca, bosque, recursos minerales-energéticos), cuestiones que puede mejorar la gobernanza sobre dichos recursos, superando la tragedia antes descrita de explotación privilegiada y desmedrada. Este dilema de los bienes comunes puede superarse generando nuevos canales de participación, regularización y monitoreo social, incluso promover la apertura de medios de comunicación y redes para favorecer “la socialización de la gobernanza”.

Es destacable la propuesta de Ostrom, en donde la gobernanza demuestra cómo la capacidad intra y extra reguladora de una comunidad puede evitar reproducir la tragedia de los comunes³, sin necesariamente, la intervención de instituciones externas (estados, instituciones y/o mercados). Para ello es necesario disponer de instrumentos de acción que incluyan el control, monitoreo, comunicación y acceso a información confiable sobre la disposición del uso del recurso, así como conocimiento de cada uno de los actores presentes y comprometidos con el proceso. En definitiva la viabilidad de la organización colectiva que posibilite una explotación beneficiosa de los CRP depende igualmente de la relación costo-beneficio, por lo que los instrumentos de monitorización deben contemplar no sólo el acceso equilibrado al beneficio, sino también el aporte balanceado de los costos (Ostrom, 1997).

B. Contexto de la CEPAL y Naciones Unidas respecto a la gestión de los recursos hídricos

Desde la creación del Sistema de Naciones Unidas y la CEPAL, los recursos hídricos han constituido una preocupación central; en especial la identificación de problemas (disposición y contaminación), cuantificación, evaluación, monitoreo; así como propuestas de políticas públicas con el fin de relevar que el agua para Naciones Unidas (al igual que para muchas organizaciones del Estado) es el recurso vital para la humanidad, presente en las actividades sociales, económicas y ambientales, entre muchas otras. Es una condición que permite toda la vida en nuestro planeta, un factor habilitador o limitante

³ En el libro “Los retos de la abundancia minero energética” Bogotá, Universidad de Externado, (González, 2013). Es posible recrear aspectos, económicos, sociales institucionales y de situaciones concretas de la región, lo que se podría describir como el ejercicio de la gobernanza entre la sociedad civil y el sector minero-petro-energético.

para cualquier desarrollo social y tecnológico; En definitiva, una posible fuente de bienestar o miseria, cooperación o conflicto.

Un número importante de agencias del Sistema de Naciones Unidas han estado pendientes del devenir del agua como un recurso escaso fundamental para la vida, pero también como un bien de uso público⁴ con un especial rol en determinados sectores de la economía de los países de la región.

Por otra parte, el derecho humano al agua y saneamiento (Justo, 2013), refleja la importancia del recurso para la vida humana. La falta de acceso al agua, saneamiento e higiene, tienen un efecto devastador en la salud, la dignidad y prosperidad de las personas. Más aún, influye directamente en la práctica de otros derechos humanos y ciertamente genera un impacto importante en la economía familiar y en los sectores productivos (Hantke-Domas y Jouravlev, 2011). El derecho humano al agua potable fue reconocido por primera vez como vinculante el año 2010, en la Asamblea General y el Consejo de Derechos Humanos de las Naciones Unidas. Los Estados miembros deben garantizar el respeto de los derechos humanos, integrándolos en los planes de desarrollo de cada nación. Este enfoque de derechos y obligaciones, proporciona un marco que permite integrarlos a todo nivel, inclusive a los sectores y actividades productivas y muy especialmente aquellos preocupados por el mejoramiento de las condiciones básicas de las personas, medio ambiente y la equidad, entre otros aspectos.

El agua y los ecosistemas como bosques, humedales y pastizales forman parte del ciclo global del agua. Básicamente, toda el agua dulce depende del funcionamiento y continuidad de estos sistemas. El logro del proceso biofísico del ciclo del agua, es fundamental para poder gestionar de forma sostenible el agua; sin embargo, este proceso se desnaturaliza con la presencia, por ejemplo, de la contaminación de empresas extractivas. Los ecosistemas acuáticos y terrestres proporcionan procesos de purificación, que suministran un recurso apto para el consumo humano, la industria, la generación de energía, recreación y la vida silvestre. Al reconocer los ecosistemas como parte integral de las soluciones para el desarrollo, se estaría estableciendo un cambio de paradigma, reflejado en los pasos que se están dando hacia la gestión integrada de los recursos hídricos y los sectores productivos, promoviendo en alguna medida la consecución de un desarrollo más sostenible (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

En un plano más institucional, la relevancia de los recursos hídricos y su relación con el desarrollo de los países ha podido apreciarse en las iniciativas como la instauración del Día Mundial del Agua aprobado por la Asamblea General en el año 1993. Una década más tarde se creó ONU-Agua, entidad coordinadora de los organismos pertenecientes al sistema que llevan adelante los temas relacionados con los recursos hídricos. Durante el año 2012 fue presentado el portal de internet "indicadores claves del agua", con información estadística de distintas agencias del Sistema de Naciones Unidas relacionadas con el tema. Esta iniciativa expresa claramente el interés del Sistema de Naciones Unidas por identificar el peso de los recursos hídricos en los sectores productivos como la industria y energía, entre otras. Posteriormente desde el 2005 hasta el 2015, en el marco de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), se constituyó el programa "Agua para la vida", decenio internacional para la acción.

El año 2015 se presentó la agenda 2030, incluyendo los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). El objetivo 6 ha sido dedicado especialmente a los recursos hídricos, para asegurar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para las personas, bajo la coordinación y promoción de ONU-Agua. El año de su lanzamiento promovió la iniciativa "Monitoreo integral del agua", con el propósito de monitorear el progreso de iniciativas globales de forma coherente y coordinada en cuestiones de recursos hídricos, esta iniciativa entre otros temas comenzó a destacar el rol del agua en la energía y sectores productivos como la minería.

⁴ Un largo debate se ha instalado en la región en relación al agua como bien de uso público o privado; las distintas formas de concesión y/o asignación del bien, cuestiones que tienen un tratamiento jurídico distinto en cada país, en ese sentido un ejemplo a ser analizado es el marco legislativo del Código de Aguas de Chile y su actual reforma.

Desde esta perspectiva, la CEPAL ha venido colaborando activamente con ONU-Agua, así como ONU-Energía. La Conferencia de Bonn de 2011, “El agua, la energía, y la seguridad alimentaria Nexus” ha puesto de relevancia el trabajo de analizar y proponer en forma integrada los temas de agua y energía (además de los de seguridad alimenticia).

El Nexo entre agua, energía y alimentación es esencial para proponer iniciativas orientadas al desarrollo sostenible, fundamentalmente por la integración de los sectores. Es claro que el aumento de la población, urbanización explosiva, cambios en la dieta y el crecimiento económico, han impulsado significativamente el aumento de la demanda de agua, energía y consecuentemente de alimentos. Es sabido que la agricultura es el sector que consume la mayor cantidad de agua dulce en el mundo con la producción y suministro de alimentos, es posible afirmar que consume en torno al 30% del total mundial de agua fresca. Consecuentemente para garantizar la disposición de agua, la seguridad alimentaria, la agricultura sostenible y la producción de energía en el mundo, es necesario llevar a la práctica un enfoque integrador de estos vínculos complejos.

Al ser el agua un recurso finito, se convierte en un recurso escaso, principalmente por la dependencia que tienen los sectores de energía y alimentos, esto influye directamente en los tomadores de decisión de estos ámbitos, quienes deben centrar sus medidas en la gestión (a veces integral) de los recursos hídricos, en la protección de los ecosistemas, el suministro de agua y el saneamiento en sus prácticas y políticas (Embid y Martín, 2017).

Algunas interrelaciones de estos ámbitos se observan en la producción de las industrias extractivas, que ocupan intensivamente agua en sus procesos productivos, como también, producción de biocombustibles o el creciente aumento de la extracción de shale gas (Estrada, 2013). En términos alimentarios, a medida que los ingresos crecen en varios países, aumenta el consumo, como también, se observa un cambio en la dieta desde almidón hasta carne y lácteos, con un aumento intensivo de agua. La comprensión de estas interrelaciones y la introducción de medidas que incorporen la perspectiva del Nexo en la cadena de producción de la industria extractiva, energética y agroalimentaria, por ejemplo, puede ayudar significativamente a racionalizar el uso intensivo de agua y energía. Un ejemplo es la adopción de visiones más integrales en el diseño de los procesos productivos, al incorporar medidas y/o acciones de adaptación a tecnologías de bajo impacto, que permitan grados de eficiencia en el uso del agua, así como eficacia para alcanzar los objetivos planteados.

Otra cuestión importante de tener en cuenta es el impacto del cambio climático como fenómeno global (Heres del Valle, 2015), no sólo en los recursos hídricos sino en prácticamente todas las actividades del ser humano. El agua es prácticamente el primer y más importante recurso natural (en sus distintos estados) que se ha visto comprometido e impactado seriamente. La disponibilidad y accesibilidad de agua es cada vez menos predecible en muchos lugares de la región; en parte, puede ser explicado por fenómenos (a veces potenciados por el cambio climático) cada vez más recurrentes como los llamados desastres naturales⁵ (fenómenos naturales), cada vez más destructivos, por ejemplo, inundaciones que afectan o arruinan fuentes de agua, infraestructura, servicios de saneamiento y/o contaminan fuentes de agua, provocando daños a la calidad de vida de las personas y afectando fuertemente los sectores productivos de los países.

Por otra parte, la falta de agua (sequías) se están presentando en algunas regiones, agravando la escasez del recurso, y afectando negativamente la salud y productividad de las personas, incluyendo incluso el desencadenamiento de dinámicas de refugiados e inestabilidad política, por mencionar sólo

⁵ La CEPAL ha venido apoyando a los países de la región en la estimación del impacto económico y social de los desastres naturales (Incluido un manual para su evaluación). Una estimación del patrón de pérdidas entre los años 1972 – 2010 estimó que los daños ocasionados por los desastres climatológicos se concentran en el sector productivo 52,1%, infraestructura 27,5%, y sector social 20,4%. Estos porcentajes muchas veces han constituido varios puntos del PIB de pérdida para los países afectados en forma directa. Con todo, es muy difícil proponer el cálculo de pérdidas indirectas y futuras ante este tipo de eventos climatológicos.

alguna de las consecuencias menos esperadas. Garantizar el acceso al agua y a los servicios de saneamiento asociados es una estrategia esencial para mitigar los efectos del cambio climático en los próximos años, esto requerirá de un esfuerzo regional para luchar contra el fenómeno global. A la vez, los países de la región deberían incorporar en sus políticas públicas medidas de adaptación en especial por sus efectos cada día más visibles en la región Caribe. Por su parte, los sectores productivos con uso intensivo de agua como es el caso de la industria energética y extractiva en general, podrían orientar sus procesos productivos tomando en cuenta los problemas de priorización, disposición y accesibilidad del agua.

La escasez del recurso hídrico, en términos generales, podría explicarse como la falta de disponibilidad física, ausencia de eficacia institucional para asegurar un suministro regular o simplemente la deficiencia de la infraestructura asociada. Actualmente, la escasez hídrica afecta prácticamente a todo el planeta, debido a que el consumo de agua aumentó a más del doble respecto a la tasa de crecimiento de la población en el último siglo⁶. Un número creciente de regiones a nivel mundial está llegando al límite de la capacidad de suministrar agua de manera sostenible, especialmente en las regiones áridas. Todavía no se observa escasez total como tal, sin embargo, no hay duda que el desarrollo global y la demanda de agua se verán afectados por el cambio climático y la bioenergía, lo que hará más compleja la gestión del recurso. El agua se deberá tratar como un recurso escaso, con un fuerte enfoque en el manejo de la demanda y la gestión del mismo. Para la promoción de un marco amplio que permita alinear los patrones de uso del recurso, se hace necesaria la implementación por parte de los estados de la gestión integrada de los recursos hídricos, de tal forma de generar un balance eficiente entre las necesidades y la demanda de los usuarios (Passos y Delgado, 2013).

La gestión de la calidad del agua para la salud, los ecosistemas, el desarrollo social y económico es una cuestión a tomar en cuenta, especialmente cuando la población crece y los entornos naturales se degradan (cuencas hidrográficas, por ejemplo), si ello ocurre será más difícil asegurar y suministrar el recurso, especialmente cuando en una gestión integrada la multiplicidad de usuarios que concurren por éste exigirá al regulador (o mercado) tomar la decisión de la asignación.

Como se ha señalado el abastecimiento de agua potable para la población debería ser una prioridad para los países, en consecuencia otros sectores como el productivo e industrial deberían profundizar y multiplicar soluciones que por cierto ya están en marcha en las diferentes áreas, y que se vinculan a la disminución de la contaminación y el manejo de las aguas residuales.

Consecuentemente, en correlación al uso y manejo de aguas residuales es posible encontrar un gran número de ejemplos en la industria minera de los países andinos. La actividad minera en este caso, está localizada generalmente a gran altitud y en zonas desérticas y/o semidesértica (especialmente Chile y Perú); por lo tanto, la accesibilidad y disposición de agua para el proceso productivo es dificultoso; en consecuencia, la gestión de las aguas residuales más que una fuente alternativa, es en muchos casos, la única salida tanto para la factibilidad económica, como la protección de los ecosistemas, energía y otros insumos.

Este es un desafío relevante a la gestión del agua durante todo su ciclo, en particular, desde la captación de agua fresca, siguiendo con los sub procesos de pre tratamiento, distribución, uso, captación y post tratamiento; tanto para su reuso, como para devolverla al medioambiente, cuando corresponda. Estas aguas también constituyen un potencial de recurso y posibles usos, y lo más importante para el sector, pueden proveer beneficios económicos y financieros. El consumo de agua industrial es aproximadamente un 22% del uso global de agua. En el año 2009 en Europa y Norte América, el agua consumida por las industrias era del 50% en comparación al 4-12% consumida por

⁶ Según ONU-Agua, probablemente en el año 2030 el mundo tendrá un déficit de 40% de agua en un escenario climático en el que todas las variables se mantengan estables.

los países en desarrollo. Con la expectativa de una rápida industrialización de los países, se espera que esta proporción se incremente por un factor de cinco en los próximos 10 a 20 años.

La cantidad de agua residual generada y las descargas asociadas de desechos se han incrementado globalmente. Al considerar las escorrentías agrícolas y las descargas industriales, el volumen de aguas residuales aumenta aún más. A nivel mundial, el 80% de flujos de aguas residuales vuelven al ecosistema sin ser tratadas o reusadas UNESCO (2017).

C. Eficiencia energética/agua

Al abordar la eficiencia energética es esencial identificar las dimensiones de la energía, en especial cuando se analiza en los procesos mineros. Se podría afirmar que la eficiencia energética es un proceso para generar un sistema energético más sostenible y sustentable en el ciclo de vida (Kreuzer y Wilmsmeier, 2014), éste puede ser aplicable en distintos procesos en la explotación minera.

Un estudio de CEPAL de la situación y las políticas en materia de eficiencia energética en 26 países de la región, releva que una de las falencias importantes es la promoción y medición de los avances en la eficiencia energética en América Latina y el Caribe (Carpio y Coviello, 2010), en especial, la promoción de programas nacionales, instrumentos económicos y otros.

Recuadro 1

Desarrollo de un sistema de correa transportadora con capacidad para regenerar energía eléctrica

En el marco del proyecto de investigación para el diagnóstico y recomendaciones acerca del estado de la innovación en Chile, donde participaron la Academia Chilena de Ciencias, Dirección de Educación Superior del Ministerio de Educación de Chile, y las universidades de Chile, PUC, de Concepción, USACH y Técnica Federico Santa María-UTFSM, en el año 2013. Entre los ámbitos de aplicación industrial se destacan innovaciones aplicadas en procesos de electro-obtención de cobre, tracción eléctrica, sistemas de control en procesos mineros, entre otros.

Se propuso una definición de innovación asociada directamente con la creación de riqueza, distinguiendo la innovación en tres áreas principales: i) perfil técnico/tecnológico, ii) mejoras en la gestión y, iii) optimización de procesos. Este concepto se relaciona con el mejoramiento de procesos o integración de tecnologías extranjeras.

La nueva tecnología se aplicó a un sistema de correa transportadora de material producido en mina, que posibilita regenerar energía eléctrica con el fin de usarla en el frenado de la misma. El sistema de correas transportadoras con capacidad para regenerar energía eléctrica fue implementado en la mina Los Pelambres, perteneciente a la empresa Antofagasta Minerales.

Las características de las instalaciones consideran motores de inducción con rotor jaula de ardilla y energizados por variadores de frecuencia tipo fuente de voltaje con capacidad de regeneración a través del uso de un rectificador de frente activo (AFE). El sistema original (sin innovación) consideraba motores tipo rotor bobinado, que pueden controlar el torque de partida conectando distintas etapas de resistencia al rotor. Sin embargo, presenta menor eficiencia, y la desventaja de tener un control de torque discreto, dependiente de la cantidad de etapas de resistencia externa que se le agreguen al rotor, y de requerir un flujo relevante de potencia reactiva en el estator.

La innovación es aplicada mediante la elección de un accionamiento con rectificador de frente activo, que puede controlar el factor de potencia, limitando el flujo de potencia reactiva hacia el sistema de distribución, permitiendo una regeneración controlada de potencia activa con corriente prácticamente sinusoidal. Si se usa un inversor tipo fuente de voltaje, con modulación de ancho de pulsos con control vectorial, se logra un ajuste fino del valor del torque y velocidad de cada motor.

El sistema de frenado con regeneración ya se había desarrollado antes, sin embargo, la innovación al sistema es que se incorpora un accionamiento eléctrico de velocidad variable y control continuo de torque (control vectorial), en sustitución al anterior control discreto, que no controla de forma continua el torque, más aún, imposibilitaba un frenado a plena carga con detención contralada en el caso que se presentara un corte repentino de energía eléctrica.

La nueva tecnología aplicada en un prototipo, desarrollado en bajada, debía privilegiar el frenado del sistema. Entró en producción a fines de 1999 y resultó ser más eficiente, seguro, rentable y sustentable, (Gerardo. Alzamora Director Proyecto Eléctrico/Minera Los Pelambres-AMSA, José Rodríguez y Jorge Pontt/UTFSM, 2005).

Entre los años 1994 y 1996, se realizaron estudios de las correas transportadoras en bajada. Más tarde, se confeccionaron especificaciones técnicas y bases de licitación, que incluyeron KPI de funcionalidad y productividad efectiva. En el presente es un referente replicado en otros proyectos mineros chilenos de gran escala como Chuquicamata subterráneo, El Teniente Nuevo Nivel Mina, Andina y Los Bronces 244 y Los Bronces y también fuera de Chile como los proyectos de Antapaccay y Las Bambas en Perú entre otros.

Recuadro 1 (conclusión)

La viabilidad del proyecto de regeneración de correas, debía ser neutra a un precio de 60 centavos de dólar por libra de cobre en la fecha que fue evaluado. Los mayores obstáculos a superar fueron el respaldo e información en la toma de decisiones, y la ingeniería para adoptar esta innovación. El sistema de correa regenerativa en bajada, tiene 10 máquinas de inducción de 2,5 MW cada una, totalizando una potencia instalada de 25 MW. Genera 22 MW de potencia media, representando actualmente el 10% del consumo de Minera Los Pelambres. Esta innovación podría clasificarse como energía no convencional, limpia y económica.

El desarrollo de la capacidad de investigación en la electrónica de potencia, es la base para la creación local de conocimiento sólido, que permita la innovación tecnológica, desarrollada en un esquema cooperativo y de mutuo apoyo por distintas entidades técnicas (universidades, centros tecnológicos). Las principales conclusiones son que la vinculación internacional de académicos con laboratorios de excelencia en el extranjero, permitió la investigación interactiva entre la academia y las empresas (reducción de costos y aumento de productividad). El financiamiento es crítico para que los centros de investigación nacional continúen en esta senda virtuosa, dada la facilidad que estas instituciones tienen para crear e implementar prototipos a escala de laboratorio, para luego escalarlos a nivel industrial; financiar desarrollos pilotos, es crucial para crear innovación local con proyección mundial. Finalmente es fundamental identificar nichos temáticos en el área energética, para generar masa crítica de investigación que pueda emprender nuevos desafíos, mantener relaciones con investigación internacional y la industria.

Fuente: elaboración propia sobre la base de información del documento: “Innovación basada en conocimiento científico”, Academia Chilena de Ciencias, capítulo 4 Área Energía, 2013. Y “Novel 20 MW Downhill Conveyor System Using Three-Level Converters, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol 49, N°5 October 2002.

La energía se manifiesta de varias formas: calor, luz, fuerza motriz, transformación química, entre otras. Además, se divide en energía primaria y secundaria, en donde la primaria son las fuentes de energía que provienen de un stock de recursos naturales o bien de aquella capturada de un flujo de recursos, y que no ha sufrido un proceso de separación o limpieza. Las fuentes de energía primaria comprenden el carbón, petróleo crudo, gas natural, energía solar, energía nuclear y otros. La energía secundaria es la que se obtiene de una fuente primaria a la que se aplica un proceso de transformación o conversión, como los derivados del petróleo (gasolinas y diesel), gas licuado y electricidad, entre otros. Energía no renovable o energías convencionales son aquellas cuya fuente primaria proviene de un stock finito de recursos, como por ejemplo el gas natural, petróleo, carbón natural, y por último, energías renovables o energías no convencionales son: hidro-energía, biomasa, geotérmica, solar y eólica, todas ellas obtenidas de un flujo constantemente disponible (Ferro y Lentini, 2015).

Según Ferro y Lentini (2015), la problemática asociada a la economía de la energía ha evolucionado durante el tiempo, por ejemplo, en la década de los años setenta la atención estaba dirigida al mercado petrolero, la sustitución de energías fósiles y la búsqueda de alternativas en las energías renovables. En la década siguiente, las preocupaciones se centralizaron en los temas ambientales de la producción y utilización de energía. Durante la década de los años noventa, el centro de la discusión fue la liberalización de los mercados energéticos y la reestructuración (desintegración vertical e introducción de competencia en algunos segmentos del proceso productivo), y consecuentemente la discusión ambiental se enmarcó en los efectos del cambio climático. En años recientes, el debate ha abordado entre otros aspectos los costos de la energía, escasez de fuentes de suministro, seguridad energética y la conservación de la energía (Bhattacharyya, 2011).

Además, Ferro y Lentini (2015), proponen que la noción genérica de eficiencia (llegar de la mejor forma al objetivo) agrega al concepto de eficacia (alcanzar al objetivo), la consecución de las metas al mínimo costo posible. Eficiente sería entonces un resultado obtenido al menor costo, es decir: la capacidad de alcanzar adecuadamente una función. Tanto “resultado” como “menor costo” implican varias aproximaciones alternativas. La eficiencia técnica o productiva es una medida de adecuación a las mejores prácticas ingenieriles (mínimo uso de insumos físicos por unidad de producto). La eficiencia energética permite ajustar las prácticas de producción a la mezcla de insumos que mejor refleje, la escasez o abundancia relativa desde un punto de vista económico, sustituyendo lo costoso por lo de menor valor, usando para ello los incentivos económicos o señales de “precios relativos”. La eficiencia total o económica considera ambos conceptos: se está haciendo técnicamente lo adecuado, a la vez que, escogiendo la combinación de insumos que aconsejan los precios relativos (Ferro, Lentini y Romero, 2011).

Consecuentemente, la CEPAL, examina los indicadores comunes para medir la eficiencia energética y propone un conjunto de indicadores para la región (Horta, 2010) y define la eficiencia energética como:

Eficiencia energética = (Efecto energético útil deseado / Consumo energético) Equipo o proceso

Equivalente a:

Eficiencia energética = (Energía aprovechada / Energía consumida) Equipo o proceso

Otra cuestión a tener presente es la noción de conservación de la energía. Debido a los enfoques de las diferencias entre la eficiencia energética y la conservación de energía, a menudo se infiere que la primera es la reducción de consumo de energía en base a los avances técnicos y la segunda a una decisión consciente de los consumidores para reducir su consumo. En el sector energético y en la industria minera, la mayor parte de las soluciones, se han inclinado a la eficiencia energética, es decir, las medidas tecnológicas (Horta, 2010)⁷.

D. Nexo del agua, la energía y la seguridad alimentaria: la situación de la industria minera en países andinos

En los últimos años el sector minero se ha destacado por el creciente uso de sistemas hídricos, energéticos y de alta tecnología. Esto no necesariamente es una cuestión negativa ya que muchas veces estos requerimientos determinan ciertas interacciones e intercambios entre los sectores productivos los que suelen ser beneficiosos para el dinamismo económico y social.

Una de las iniciativas mundiales, como se indica más arriba, relacionada con este tema fue La Conferencia de Bonn 2011 "El Nexo del Agua, la Energía y la Seguridad Alimentaria" la que puso de relieve la importancia de identificar, analizar y medir los impactos de las relaciones entre los sectores productivos⁸. El objetivo central de ésta y otras iniciativas locales y globales es cristalizar la preocupación por cuestiones generadas por la competencia de los sectores arriba mencionados. En consecuencia, existe el consenso que estas preocupaciones deben ser analizadas bajo el enfoque del "Nexo" para considerar las interacciones e interdependencias entre el suministro de agua (para diversos usos), la energía y la seguridad alimentaria, y los recursos asociados: agua, energía, minería, tierra y ecosistemas relacionados.

Finalmente la perspectiva del "Nexo" propone determinadas regulaciones para identificar y resolver los costos, oportunidades, así como las posibles sinergias del proceso. Por lo tanto, los territorios tendrán una conveniente oportunidad para gestionar la oferta y demanda de los recursos naturales y los sectores asociados de manera sostenible con una oportunidad para prevenir posibles conflictos de los sectores y recursos relacionados (OCMAL, 2017).

Para poder ilustrar la relación entre el agua y la energía, por ejemplo, es posible establecer que la región posee el 20% del potencial hidroeléctrico mundial, sin embargo, sólo el 25% de ese potencial es utilizado. Con todo, en este escenario, la hidroelectricidad juega un rol determinante alcanzando un 65% de la generación eléctrica total regional. Consecuentemente, para el caso de los prestadores de servicios agua potable los gastos de electricidad varían entre el 5% y 30% de los costos operativos, y debido a las ineficiencias existentes, en muchos casos pueden reducirse entre un 10% y 40%. Por otra parte, en un ejemplo de la relación energía-alimentación es posible identificar dos dimensiones importantes: los requerimientos de energía para el bombeo destinado a riego y en la

⁷ En el documento también se exponen más detalladamente la diferencia entre la eficiencia y la eficacia energética.

⁸ FAO administra un programa similar del análisis de los sectores agua-energía-alimentos (WEF por sus siglas en inglés), al igual que una serie de otras organizaciones, cuyo objetivo es analizar el tema de la seguridad de los sectores productivos y sus interrelaciones.

aplicación de la cadena de producción de alimentos; y la competencia entre biocombustibles y agricultura por el agua y el suelo.

En la relación alimentación agua, es posible afirmar que en la región el principal uso de carácter consuntivo es la agricultura de riego lo que corresponde aproximadamente a un 70%-75% del caudal total extraído en promedio. En varias cuencas hidrográficas se presenta una fuerte competencia por los recursos hídricos entre la agricultura de riego y otros usos, como el industrial, minero en países andinos como: Chile, Colombia, Bolivia, Perú y otros. Esta competencia también se da en el caso de generación hidroeléctrica, especialmente donde la misma depende del almacenamiento en embalses destinados exclusivamente a generación eléctrica, con bajas posibilidades para el uso múltiple del agua.

Con la expansión del riego y una utilización cada vez mayor de fertilizantes y otros agroquímicos, la agricultura es una fuente de contaminación difusa o no puntual que tiene principalmente un impacto negativo en muchos cuerpos de agua y acuíferos. A su vez, y como parte de un círculo poco virtuoso, la agricultura también se ha visto afectada por la contaminación del agua causada por otros sectores, principalmente la descarga de aguas residuales de origen urbano sin tratamiento previo, así como la contaminación de procesos industriales que descargan en los acuíferos más próximos. En varios casos, cambios a sistemas de riego más eficiente (riego por goteo, aspersión, revestimiento de canales, etc.), acompañados por la expansión de la superficie regada, han afectado la sustentabilidad de los acuíferos y reducido la disponibilidad de agua⁹ para otros usos, como es el caso de la actividad minera, en determinadas cuencas. Lo anterior ha exigido a la industria minera (especialmente gran y mediana) adaptarse y generar nuevos procedimientos y estrategias, como usuario intensivo de agua y energía, para alcanzar los estándares de consumo de eficiencia y eficacia en los procesos productivos de la industria, como se verá más adelante. (Embid y Martín, 2017).

En la actualidad la industria minera desempeña un rol esencial en las economías de la región, en una revisión rápida, la participación de la actividad minera aporta un porcentaje no menor en el crecimiento de éstas. Además es evidente que la disposición de recursos hídricos es un elemento vital en muchas de las etapas de la cadena productiva minera. Con todo, la minería es un usuario relativamente menor del recurso: dependiendo del país, el agua destinada a las actividades mineras representa entre el 2% y el 8% de las extracciones totales, en contraste con la agricultura de riego que utiliza a veces más del 70%. A pesar de esto, se ha venido observando un creciente nivel de conflictividad en relación al uso de agua en la minería, intercambiando sinergias negativas con otros sectores de la economía como la agricultura, la generación eléctrica y los asentamientos locales¹⁰.

En la relación Nexo Agua-minería, el uso del agua normalmente se concentra en cuencas específicas donde se localizan los yacimientos. Generalmente suele corresponder a un uso predominante en esas zonas, donde alcanza o supera el 40% de las extracciones, en consecuencia, se convierte en un usuario de gran capacidad competitiva, con un determinado dominio de la dinámica económica de la cuenca. En este contexto, la minería se convierte en un importante competidor de los usuarios establecidos en las cuencas desde mucho antes del inicio de las faenas mineras.

Los conflictos con los usuarios, cuando existen, se acentúan debido a la relativa debilidad de los sistemas de protección de los usos consuetudinarios. En muchos casos, una parte importante de los aprovechamientos se realiza sin derechos de agua, permisos de uso, regularizados ni inscritos en registro público alguno, y cuyas características resulta difícil de constatar y/o demostrar. Por lo tanto, esa falta de identificación dificulta la protección de los derechos y usos existentes, y cuando aquello ocurre, el conflicto entre usuarios desata una serie de consecuencias que muchas veces superan el orden y normativa vigente.

⁹ Precisamente porque mayor eficiencia, en algunos casos, exige más disposición de agua porque aumenta la superficie cultivable.

¹⁰ En varios países de la región Andina y más allá, los conflictos entre minería y las organizaciones locales ha crecido a tasa de incremento sostenido.

Siguiendo con la conflictividad, la industria minera es identificada habitualmente como una fuente de contaminación. Si bien existen procedimientos que permiten minimizar el impacto ambiental, en muchos casos los estándares ambientales no se cumplen en forma efectiva (especialmente en la mediana y pequeña minería). Cabe agregar que algunos de los impactos ambientales de la actividad minera pueden persistir durante mucho tiempo, incluso después del cierre de minas, y esta experiencia, ha afectado la reputación de la minería, en especial en las poblaciones y asentamientos cercanos que terminan siendo los más impactados.

Además, existe una preocupación por parte de la industria minera por el uso del agua, ya que la ubicación de muchos yacimientos coincide con zonas de escasez de recursos hídricos (latitud y altitud). En consecuencia, la actividad minera se realiza en cuencas ya sobreexplotadas que enfrentan condiciones extremadamente críticas en términos de disponibilidad hidrológica.

Una característica importante del uso del agua en la minería es la mayor proporción de uso consuntivo en las zonas en donde se localiza la explotación. En general, el agua que no se consume en determinados sectores productivos (caudal de retorno o sobrantes) vuelve a la corriente en forma directa (escorrentía superficial) o indirecta (aguas subterráneas), pudiendo aprovecharse aguas abajo por otros usos y usuarios. En el riego no tecnificado, por ejemplo, sólo una parte del agua extraída se consume. Por lo tanto, la disponibilidad del recurso para los usuarios localizados aguas abajo es abundante; por el contrario, la actividad minera generalmente se localiza en cabeceras de cuencas, donde se forman los cuerpos de agua superficiales y se ubican las zonas de recarga de los acuíferos. Este emplazamiento estratégico implica que los posibles impactos, por cantidad y calidad del recurso, tienen el potencial de afectar a todos los aprovechamientos y usuarios de la mediana y baja cuenca.

Por otra parte, en la gran minería se aplican técnicas para maximizar la recirculación del agua y utilizarla en forma más eficiente. Esto se hace a expensas de que el caudal de retorno (efluentes líquidos mineros) tenga reducidas posibilidades de (re)utilización por otros usuarios. Esto significa que la extracción de agua de la industria tiene un impacto mayor en la reducción de la disponibilidad hídrica comparada con la extracción destinada a otros usos.

Además, la actividad minera supone cierto grado de alteración de la cuenca intervenida como es el caso de: eliminación o remoción de la cubierta vegetal, alteración o represamiento de los ríos, remoción de glaciares, modificación de la topografía, entre otros. Todo ello tiene repercusiones en la cantidad y calidad de la escorrentía, así como riesgos asociados con la presencia de pasivos ambientales mineros. Una de las dimensiones más complejas de la industria, por una parte es una herencia no deseada y por otra, es un desafío que requiere soluciones integradas (Oblasser, 2016).

Desde la perspectiva del análisis del “Nexo” las fuerzas de los sectores en juego representan un complejo desafío para el sistema institucional y el orden legal. Esta cuestión promueve la estabilidad de los sistemas institucionales frente a este enfoque; la solidez de la institucionalidad frente a los temas de conflictividad por uso intensivo de los recursos relacionados al Nexo y el rol que juegan los requerimientos ambientales y la equidad social, entre otros temas.

Finalmente, es muy probable que la evolución de los precios de la energía, *commodities* y alimentos, por ejemplo, pudieran provocar una gran dinámica en torno a la producción, gestión y regulación del agua. En consecuencia, desde el enfoque del “Nexo” existe hoy una gran oportunidad regional para identificar aquellas políticas, instrumentos y “respuestas institucionales” que enfrenten los conflictos y oportunidades que exige este nuevo enfoque frente a los escenarios regionales prospectivos.

E. Big Data en los procesos productivos mineros

A continuación se intenta ofrecer un marco conceptual al estudio de caso que más adelante se abordará, relacionado con la utilización del Big Data. Ésta ofrece un mejoramiento rentable en la toma de decisiones, en distintas áreas críticas del desarrollo como: la atención en salud, productividad y seguridad económica entre otras. Al mismo tiempo, advierte sobre la privacidad y la escasez de

recursos humanos; cuestión que en la región se acentúa ante la falta de infraestructura, recursos económicos e institucionalidad para formar este tipo de capital humano (Hilbert, 2014).

El resultado de la aplicación y análisis de macrodatos y datos masivos es un nuevo tipo de área digital: una división del conocimiento basado en datos para informar y orientar la toma de decisiones “inteligentes” debido al mayor nivel de manejo de información.

La capacidad de "hacer frente a la incertidumbre causada por un acelerado ritmo de cambio en el entorno económico, institucional y tecnológico" ha resultado ser el "objetivo fundamental de los cambios organizativos" en la era de la información (Castells, 2009). El diseño y la ejecución de cualquier estrategia de desarrollo consisten en un profundo análisis de las posibles decisiones a seguir cada vez más compartimentadas y plagadas de incertidumbre.

Desde un punto de vista teórico, cada decisión es un juego incierto, probabilístico¹¹ sobre la base de algún tipo de información previa¹² (Tversky y Kahneman, 1981). Si se mejora la información previa sobre la que fundamentar las estimaciones, la incertidumbre se reducirá en promedio. Mientras se reduzca dicho promedio, la estimación mejorará, y en consecuencia la decisión será la óptima. Esto no es meramente una analogía intuitiva, sino uno de los enunciados básicos de la teoría de la información y proporciona la base para todo tipo de análisis (Rissanen, 2010)¹³.

La Big Data¹⁴ (Nature Editorial, 2008) proporciona una gran variedad de nuevos tipos de principios rectores y técnicas de estimación para informar en la toma de decisiones. Consecuentemente, este fenómeno ha tenido tal impacto en la sociedad que ha sido denominado "el nuevo petróleo", es decir, este enorme flujo de datos que hoy está disponible en el mundo y que cada día crece de manera acelerada y sostenida ha impactado como nunca antes a la humanidad así como los distintos sectores del conocimiento y la economía.

La actual Big Data Analytics, se caracteriza por su valor, visibilidad, veracidad, vulnerabilidad, velocidad, volumen y variedad de los datos. Todo esto es debido a sus recientes aumentos exponenciales: i) ancho de banda de telecomunicaciones que conecta una red, ii) sistemas centralizados y descentralizados de almacenamiento de datos, y iii) capacidades computacionales digitales para el procesamiento de los mismos.

En relación al flujo de la información, la capacidad efectiva mundial de intercambiar información mediante redes bidireccionales de telecomunicaciones creció tanto en países desarrollados como en desarrollo (Hilbert, 2014; ITU, 2012).

Respecto al stock de información global, la memoria tecnológica en el último tiempo se ha duplicado aproximadamente cada tres años, por ejemplo en 1986 existían 2,5 exabytes de información (1% digitalizados), mientras que en el año 2007 se alcanzó los 300 exabytes (94% digitalizados) (Hilbert y López, 2011; 2012).

El paradigma de la Big Data promete convertir una mayor parte de un "dato imperfecto, complejo, a menudo desestructurado, en información procesable" (Letouzé, 2012). Permite gestionar un verdadero diluvio de información digital con las herramientas de la computación digital para dar sentido a los datos.

¹¹ “Los modelos deben ser intrínsecamente probabilísticos para especificar tanto las predicciones como las desviaciones relacionadas con el ruido de esas predicciones” (Gell-Mann y Lloyd, 1996).

¹² Por definición matemática, las probabilidades siempre requieren información previa sobre la cual basar la escala probabilística del 0% a 100% (Caves, 1990). En otras palabras, toda probabilidad es una probabilidad condicional.

¹³ Se tiene que condicionar en información real (no "pérdida de información") y que este teorema se mantiene en promedio (una pieza particular de información aumenta la incertidumbre).

¹⁴ El término “Big Data (Analytics)” se capitaliza cuando se refiere al fenómeno discutido.

Existen diferentes tipos de capacidades digitales y características cualitativas en la forma en que se tratan los datos. En este sentido es posible afirmar que la Big Data es autoproducida. Actualmente la huella digital crea casi automáticamente oportunidades para encontrar fuentes alternativas de datos de bajo costo. En consecuencia, la incorporación de la Big Data para mejorar procesos productivos específicos es relativamente sencilla y de bajo costo. Incluso para una pequeña industria extractiva usar información para la toma de decisiones a partir de sensores de captura de información (con parámetros previamente definidos) en espesadores de mineral, por ejemplo, es una fuente de información para la gestión eficiente de los procesos internos, con datos confiables y en tiempo real.

La Big Data puede reemplazar fácilmente el muestreo aleatorio. Siendo una huella digital de lo que sucede en el mundo real, ésta suele capturar todo lo que existe (muestreo $n = \text{universo } N$). Por ejemplo, los registros de teléfonos móviles pueden utilizarse para inferir los trastornos socioeconómicos, demográficos y otros comportamientos (Raento et al., 2009). La predicción de nivel socioeconómico en una determinada zona puede realizarse automáticamente a partir de registros de teléfonos móviles (Frias-Martínez y Virseda, 2013; Martínez y Martínez, 2014), ya que éstos son más bien universales en la mayoría de los estratos, sin necesidad de muestreo específicos.

El nombre completo de Big Data es Big Data Analytics. La noción de Big Data va mucho más allá de la creciente cantidad y calidad de los datos, y se centra en el análisis para la toma de decisiones inteligentes. Independientemente de la escala específica de peta, exa- o zettabytes, la característica clave del cambio paradigmático es que el tratamiento analítico de los datos se localiza sistemáticamente a la vanguardia de la toma de decisiones inteligentes. El proceso puede ser visto como el siguiente paso natural en la evolución de la "Era de la Información" y "Sociedades de la Información" (en el sentido de Castells, 2009, Peres y Hilbert, 2010, ITU, 2014) hacia las "Sociedades del Conocimiento", basándose en la infraestructura digital que dio lugar a un gran aumento de la información. Una definición consensuada de Big Data sería que "representa los activos de información caracterizados por un alto volumen, velocidad y variedad para requerir tecnología específica y métodos analíticos para su transformación en valor" (De Mauro, 2014). La parte analítica de los grandes datos es también el principal obstáculo para su aplicación: de acuerdo con una encuesta de más de 3.000 gerentes de más de 30 industrias en más de cien países, el principal obstáculo para la adopción de grandes datos fue "la falta de comprensión de cómo utilizar la analítica para mejorar el negocio", lo que fue citado cuatro veces más que "preocupaciones por la calidad de los datos o la ineficacia de la gestión de datos" (LaValle et al., 2011).

Big Data Analytics es diferente del análisis estadístico tradicional porque la cantidad de datos afecta la elección del modelo analítico. Los métodos de aprendizaje automático y de minería de datos, que permiten a los algoritmos aprender de los datos (Shalev-Shwartz y Ben-David, 2014), han sido a menudo menospreciados durante los años noventa y principios del 2000, pero han demostrado su eficiencia en la década del 2010 en adelante, una vez que se aplicaron a grandes cantidades de datos. No es raro que modelos más sofisticados funcionen mejor para conjuntos de datos más pequeños (dado el pequeño alcance del conjunto de datos, el patrón tiene que ser parcialmente codificado en el modelo, aumentando la complejidad del modelo), mientras que modelos muy simples (detectado por la máquina) funcionan muy bien para conjuntos de datos más grandes (a menudo incluso mejor). El ejemplo clásico es que en las tareas de predicción de texto (como las entradas de búsqueda autocompletadas de Google), el modelo basado en memoria grande funciona mejor con conjuntos de datos de menos de 1 millón de palabras, mientras que los algoritmos de aprendizaje simple de Naïve Bayes funcionan mejor con conjuntos de datos entre 1 y 1.000 millones de palabras (Banko y Brill, 2001, Halevy et al., 2009). La cantidad de datos disponibles determina la elección del modelo.

La exploración de data mining y los métodos de aprendizaje automático no están guiados por la teoría, y no proporcionan ninguna interpretación de los resultados, ellos simplemente detectan patrones y correlaciones. Esto se refiere a menudo como "el final de la teoría" debido a Big Data (Anderson, 2008). El análisis de correlación simple de Big Data no revela automáticamente el panorama más amplio de las teorías causales, sin embargo, más y mejores datos proporcionan el potencial para detectar variables de confusión espurias y aislar mecanismos de causalidad potenciales mejor que nunca (por ejemplo, en este caso analizando datos complementarios sobre movimientos de personas y tendencias de inflación).

Un requisito relevante para que Big Data Analytics aporte al servicio del desarrollo es una sólida infraestructura tecnológica (hardware), servicios genéricos (de software) y capacidades y habilidades humanas. Estas pueden distribuirse de manera desigual, lo que conduce a una división del desarrollo. Esta configuración de requisitos técnicos y procesos sociales es necesaria para Big Data Analytics, sin embargo, no es suficiente para el desarrollo. ¿Cómo poder asegurarse que el análisis barato de datos a gran escala cree mejores bienes y servicios públicos y privados, en vez de conducir a un mayor control estatal y corporativo? ¿Qué hay que considerar para evitar que Big Data se agregue a la larga lista de transferencias fallidas de tecnología a los países en desarrollo? Desde una perspectiva teórica de sistemas, las opciones de políticas públicas y privadas pueden clasificarse en dos grupos: retroalimentación positiva y retroalimentación negativa.

En general, se espera que la toma de decisiones informada con Big Data aumente los efectos existentes de la digitalización. Brynjolfsson, Hitt y Kim (2011) descubrieron que las empresas estadounidenses que adoptaron Big Data Analytics tienen una producción y una productividad entre 5% y 6% superiores a lo que se esperaría debido a otras inversiones y al uso de la tecnología de la información. Este potencial va más allá de los sectores económicos intensivos en datos, como la banca, la inversión y la manufactura, y que varios sectores con especial importancia para el desarrollo social son muy intensivos en datos, por ejemplo, educación y salud que albergan un tercio de los datos en los Estados Unidos para el año 2010, (Manyika, et al., 2011).

A) Seguimiento de palabras

Una de las fuentes de datos más fácilmente disponibles y más estructurados se relaciona con las palabras. La idea es analizar palabras para predecir acciones o actividades. La fuente prototípica de Big Data para palabras son los medios sociales.

B) Seguimiento de Ubicaciones

La omnipresencia de la telefonía móvil ha proporcionado conocimientos sin precedentes sobre la movilidad humana. Se ha demostrado que el análisis de los registros de llamadas de teléfonos móviles permite acercarse al límite de previsibilidad extraíble en la movilidad humana, pudiendo predecir hasta un 95% de los movimientos de las personas en situaciones más estables (Song et al., 2010; Lu et al., 2013) e incluso el 85% en situaciones caóticas, como después de un terremoto (Lu et al., 2012).

C) Seguimiento de la naturaleza

Una de las mayores fuentes de incertidumbre es la naturaleza. Reducir esta incertidumbre a través del análisis de datos puede i) optimizar el desempeño, ii) mitigar el riesgo, y iii) mejorar la respuesta de emergencia.

Un software estándar relativamente barato de estadística fue utilizado por varias panaderías para descubrir que la demanda de torta crece con la lluvia y, la demanda de productos salados con la temperatura; Ahorros en los costos de hasta un 20% se han reportado como resultado del ajuste fino de la oferta y la demanda (Christensen, 2012).

D) Seguimiento de transacciones

Las transacciones digitales son huellas omnipresentes de la interacción social (Helbing y Balmietti, 2010). La analítica de las transacciones de ventas está entre las aplicaciones de Big Data más difundidas (Gruhl et al., 2005). Esto puede ir más allá de la maximización de los beneficios comerciales.

E) Seguimiento del Comportamiento

Dada la inundación de Big Data conductual, es fácil definir una gama completamente nueva de "comportamiento anormal" (definido por las variaciones alrededor del "comportamiento colectivo medio").

F) Seguimiento de la producción

Un área de Big Data para el desarrollo, es el reporte de la producción económica que podría potencialmente revelar ventajas de competitividad. Un caso ilustrativo es la extracción de recursos naturales, que es una fuente de ingresos para muchos países en desarrollo (que van desde la minería en América del Sur hasta la perforación en el norte de África y el Medio Oriente), que han sido una bendición mixta para muchos países en desarrollo (a menudo siendo acompañados de autocracia, corrupción, expropiación de propiedad, abusos a los derechos laborales y contaminación ambiental). Los conjuntos de datos procesados por entidades de extracción de recursos naturales son enormemente ricos. Una serie de estudios de casos recientes de Brasil, China, India, México, Rusia, Filipinas y Sudáfrica han argumentado que la publicación y análisis de datos relacionados con la actividad económica de estos sectores podrían ayudar a remediar las desventajas involucradas, sin poner en peligro la competitividad económica de esos sectores en los países en desarrollo (Aguilar Sánchez, 2012, Tan-Mullins, 2012, Dutta, Sreedhar y Ghosh, 2012, Moreno, 2012, Gorre, Magulgad y Ramos, 2012). La renta nacional que se genera a partir de la extracción del recurso natural (ingresos menos costo, como porcentaje del PIB) se relaciona negativamente con el nivel de divulgación gubernamental de datos sobre la producción económica en las industrias de petróleo, gas y minerales.

G) Seguimiento de otros datos

Otras fuentes de datos incluyen el seguimiento de los recursos financieros, económicos o naturales, la asistencia a la educación y las calificaciones, los residuos y las emisiones, los gastos y las inversiones, entre muchos otros. Las ambiciones futuras de qué y cuánto medir divergen.

Finalmente, para CODELCO desde su Centro Integrado de Información (CII), en su casa matriz en Santiago de Chile, la Big Data es una herramienta usada para la toma de decisión en determinados procesos productivos mineros. Ésta es un instrumento tecnológico con el fin de alcanzar grados de productividad y costos para el uso y optimización de los recursos de agua y energía. En específico al proceso de espesamiento de relaves en sus cinco (5) plantas concentradoras, véase diagrama 1.

Diagrama 1
CODELCO: utilización del Big Data para la optimización de agua y energía



Fuente: Presentación realizada por CODELCO en el marco del proyecto BGR/CEPAL: uso eficiente del agua y la energía en los procesos mineros “, marzo de 2017. Gobernabilidad y Gobernanza, Gerardo Alzamora Director Proyecto Big Data, CII, casa matriz, gentileza CODELCO Chile.

F. La cooperación BGR y CEPAL en el ámbito de los procesos mineros

La implementación del proyecto de la eficiencia en el uso del agua y la energía en los procesos mineros, se ha desarrollado en alta concordancia con lo planteado en el documento “Horizontes 2030: La igualdad en el centro del desarrollo sostenible”, 2016. En éste se afirma que: *“Los grandes temas del desarrollo, como el permanente rezago tecnológico de numerosos países, la persistencia de la pobreza y la evidencia de que buena parte de la población mundial continúa sin participar del bienestar generado por el progreso técnico y el crecimiento económico, ya no pueden ser ignorados...reducir las brechas tecnológicas y de ingresos, y difundir globalmente el conocimiento y la producción son inseparables del objetivo de construir un sistema mundial estable...”*. Este es un ejemplo de la coincidencia de temas entre la CEPAL, la Cooperación Alemana mediante la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ, por sus siglas en alemán) y el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR por sus siglas en alemán), en especial los temas relacionados con la gobernanza de los recursos naturales.

Una investigación realizada por la GIZ y el Natural Resources Governance Institute, plantean que los países de la región, posterior al auge de los precios de los *commodities*, han iniciado “una carrera hacia el fondo”, concepto que se refiere a la competencia entre los países para la atracción de inversiones de las industrias extractivas, mediante facilidades tributarias, flexibilizando las exigencias ambientales, instrumentos de regulación como la consulta previa y participación de las poblaciones locales.

La BRG por su parte, estima que la República Federal de Alemania es uno de los mayores consumidores mundiales de recursos minerales¹⁵. De hecho, entre los países importantes que se dedican al refinado, en donde no existe extracción, Alemania se destaca junto a Italia y Corea del Sur. Los recursos minerales metálicos provienen en su totalidad de las importaciones, mientras que los minerales no metálicos como: potasa o potasio, sal de roca y la mayoría de los minerales industriales provienen de la producción nacional. Por lo tanto, este país asume una responsabilidad política y económica de la producción industrial nacional y de su oferta de recursos, como también, comparte y promueve una extracción responsable y sostenible de los recursos minerales con los países de origen de éstos recursos. Además, desarrolla nuevos instrumentos y conceptos para el uso sostenible de los recursos minerales en el ámbito de Minería y Sostenibilidad¹⁶.

La eficiencia y la sostenibilidad en la utilización del agua y la energía, puede desencadenar un efecto virtuoso en el ciclo económico para la obtención de rentas de los minerales, principalmente porque no se cuenta con un control en el precio de venta, por lo tanto, a mayor eficiencia en el uso de los recursos para la obtención del producto comerciable, mayor es el margen de ganancias, que serán también, fuentes de mayores ingresos fiscales.

Desde la perspectiva ambiental, la eficiencia en el uso del agua, genera una externalidad positiva, respecto a la mitigación de los potenciales impactos contaminantes al ambiente; además permite menores conflictos debido a la participación organizada y autorregulada de los usuarios locales, en conjunto con las instituciones formales y con los agentes económicos externos que explotan estos recursos; mayor proporción de agua disponible para consumo humano y para otros sectores económicos, cuestión que podría significar un aumento de la productividad en la industria minera; así como mejorar las relaciones costo-beneficio para todos los usuarios de estos recursos (Kickler, y Franken, 2017).

¹⁵ Estimaciones del Banco Mundial a partir de la base de datos Comtrade elaborada por la División de Estadísticas de las Naciones Unidas. Consultado en Junio de 2017.

¹⁶ Información del portal de internet de BGR, consultado en mayo 2017, https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Min_rohstoffe/min_rohstoffe_node_en.html.

G. Situación en la utilización de agua y energía en la minería de los países andinos: el caso de Chile

El estado de situación del uso del agua y la energía en los países andinos de la industria extractiva minera, está obviamente, relacionado con la participación y el peso de éste en la economía de un determinado país. En este caso y para presentar una visión general de la situación de Chile, se expondrán datos económicos, sociales, así como la relativa situación de Chile en el concierto internacional.

En el año 2015, Chile se ubicó como el primer productor de cobre a nivel mundial, con el 29,9% del total, el tercer productor de cobre de fundición con el 10% de la participación mundial, y con el 11,6% del cobre refinado. Además, el país alcanzó el 45,6% de cobre SX-EW¹⁷ a nivel mundial. En consecuencia, podría decirse que ha mantenido su liderazgo en la producción de cobre (véase mapa 1).

En el periodo comprendido entre los años 2005 al 2015, la producción del principal mineral (cobre) ha aumentado un 8,33%; mientras que el PIB minero ha bajado su participación en -11,7%, desde un 20,7% a un 9%. La inversión minera tuvo un sostenido aumento, a pesar de que durante el año 2015 se observó una caída importante en los precios internacionales, ésta se mantuvo en el orden de los 10 mil millones de dólares.

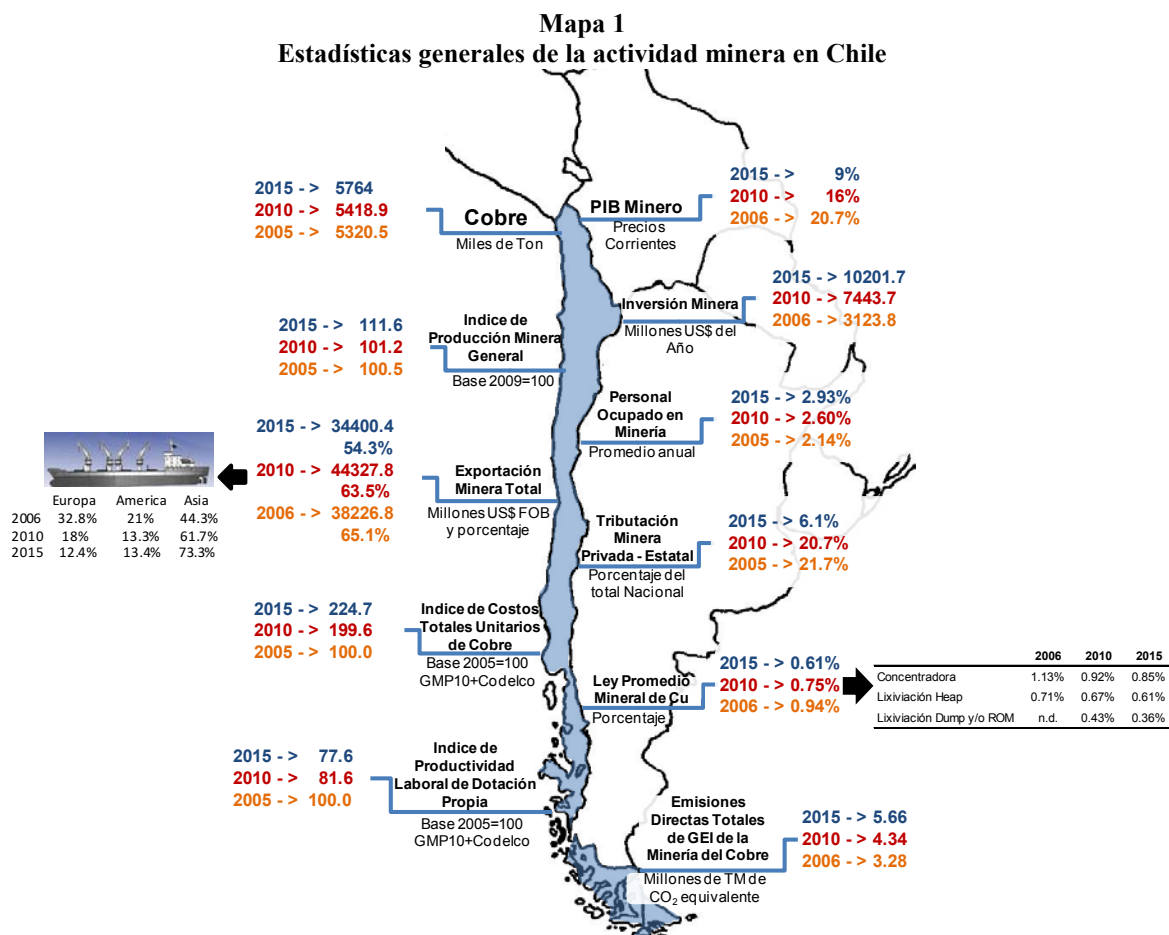
Más de la mitad de las exportaciones nacionales responden a la producción minera, en tanto, la fuerza de trabajo en promedio aumentó casi un punto, desde 2,14% en el año 2005 a 2,93% una década después. Es importante relevar que, a partir de la tributación total del país, la minera ha caído desde 21,7% en 2005, al 6,1% en el año 2015 (Cochilco, 2016e).

Es claro que la recaudación tributaria total de la actividad minera desde la perspectiva de la participación porcentual ha bajado en los últimos años, sin embargo, las cifras totales de la recaudación tributaria en millones de dólares se han mantenido relativamente estables¹⁸. Con todo, Chile sigue siendo “un país minero” y las cifras del año 2017¹⁹ podrían indicar una relativa recuperación del sector (Ministerio Relaciones Exteriores, Chile, 2017). Respecto al repunte del primer semestre de 2017, los bajos precios de los *commodities* en general, así como los altos costos de producción explican de alguna forma la disminución de la recaudación tributaria, así como algunos problemas que ha venido presentado el sector, como pérdidas de puntos en la productividad y baja sostenida de las leyes promedios de los distintos yacimientos. En consecuencia, la industria minera en Chile (nacional y privada) probablemente se enfrentará a desafíos, que si bien no son nuevos, exigirá de innovación y diferentes enfoques en el uso de insumos indispensables y estratégicos para la producción y utilización de: agua y energía.

¹⁷ SX-EW: proceso que se alimenta a partir de las soluciones PLS (Pregnant Leaching Solution por sus siglas en inglés) proveniente de la lixiviación de óxidos de cobre. En un reactor SX-EW, primero se aplica el proceso de extracción por solvente que consiste en la concentración y purificación de la disolución tras la lixiviación. Luego, la disolución purificada se dirige a la electrólisis de cobre, cuyo producto principal es el cátodo de cobre que cumple los criterios de calidad y cantidad permitiendo su venta. Extraída del portal del internet de KGHM, <http://kgm.com/es/negocio/procesos/sx-ew>, mayo 2017, consultado en junio 2017.

¹⁸ Entre los años 2011-2016 la tributación total (incluida la gran minería privada del cobre y aportes de empresas mineras estatales) mediante los ingresos fiscales en millones de dólares han tenido fluctuaciones entre los US\$ 56.977 en 2011 a US\$ 51.717 en 2016, presentando un promedio de US\$ 55.000 millones de dólares por año.

¹⁹ En el primer semestre de 2017, las exportaciones totales del sector presentaron una expansión anual de 6,1%; cobre 8% y no cobre 4,5%. Todo ello junto a un incremento de 22% en el precio promedio del mineral.



Fuente: Elaboración propia sobre la base de información del Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 1996-2015, COCHILCO 2016.

Nota: Los límites y los nombres que figuran en este mapa no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

1. Consumo de agua en la minería del cobre

La Dirección General de Aguas (DGA), dependiente del Ministerio de Obras Públicas, es el organismo del Estado de Chile que se encarga de promover la gestión y administración del recurso hídrico. Institucionalmente la consecución de sus objetivos deben alcanzarse en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación eficiente del recurso hídrico, como también, proporcionar y difundir la información generada por su red hidrométrica y la contenida en el Catastro Público de Aguas con el objeto de contribuir a la competitividad del país, así como mejorar la calidad de vida de las personas.

Sus funciones están indicadas en el D.F.L. N° 850 de 1997 del Ministerio de Obras Públicas y referidas a las que le confiere el Código de Aguas, D.F.L. N° 1.122 de 1981 y el D.F.L. MOP N° 1.115 de 1969. Estas funciones se ejercen a través de su organización, en las Divisiones de: Estudios y Planificación, Hidrología y Legal; los Departamentos de: Administración de Recursos Hídricos, Conservación y Protección de Recursos Hídricos y el Centro de Información de Recursos Hídricos (DGA, 2016).

El cuerpo legal vigente en el presente es el Código de Aguas de Chile del año 1981, reformado en el año 2005. La larga tradición en materia de derecho de aguas tuvo un giro importante con la última reforma, pues fortaleció el carácter propietario de los derechos de aprovechamiento de aguas que se radican en los individuos naturales y jurídicos.

El Código se reformó con el objeto de corregir una falla estructural, que es favorecer la constitución de derechos de aprovechamiento que no se utilizan —y para los que no se prevé un uso

productivo ni siquiera en el largo plazo—, y que impiden que otros interesados en utilizar dichas aguas lo puedan hacer, constituyéndose en importantes barreras de entrada a diversos mercados (por ejemplo, inmobiliario, hidroeléctrico y agrícola). Esta situación se explicaba porque antes del año 2005 los derechos originales eran otorgados gratuitamente por el Estado a los particulares que los solicitaban; quien pretendía derechos de agua no debía justificar la cantidad solicitada; la conservación de los derechos en el tiempo no tenía costo efectivo alguno; y por último, no existía obligación para sus titulares de usar las aguas (Peña, 2003).

A continuación se presentan las principales modificaciones introducidas por la Ley N° 20.017, publicada en el Diario Oficial el 16 de junio de 2005, que reformó el Código de Aguas de 1981.

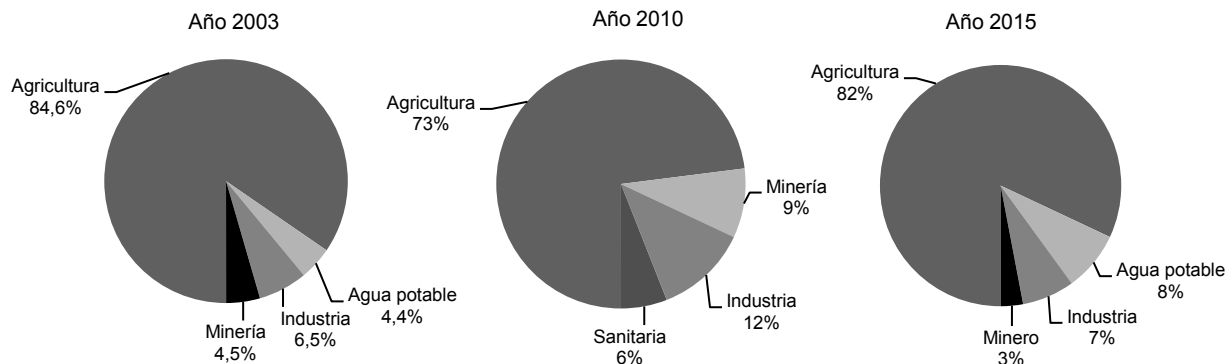
- Renuncia al derecho de aprovechamiento: hasta el año 2005, los derechos de aprovechamiento de aguas permanecían en propiedad a perpetuidad.
- Pago de patente por no uso: los derechos no consuntivos permanentes están afectos al pago de una patente anual.
- Relación entre aguas superficiales y subterráneas: se constituirá derecho de aprovechamiento sobre aguas existentes en fuentes naturales y en obras estatales de desarrollo del recurso, no perjudicando ni menoscabando derechos de terceros, y considerando la relación existente entre aguas superficiales y subterráneas.
- Exploración de aguas subterráneas: el concurso entre dos o más solicitudes de exploración respecto de una misma extensión territorial de bienes nacionales, se resuelve mediante remate.
- Comunidad de aguas respecto de una zona de prohibición: en esta zona, la ley prohíbe constituir nuevos derechos de aprovechamiento, cuando la DGA adopte una decisión con el objeto de proteger un acuífero por peligro de contaminación, sobreexplotación, u otras razones.
- Tanto la DGA como cualquier usuario del sector podrán decretar o solicitar, respectivamente, la declaración de un área de restricción.
- Recarga artificial de acuíferos: cualquier persona puede ejecutar obras para la recarga artificial de acuíferos.
- Formalidades de registro, inscripción e inventario: se deben inscribir en el Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces las escrituras públicas del otorgamiento definitivo de un derecho de aprovechamiento.

El espíritu de la reforma de 2005 fue regular “Las fuerzas del mercado del agua” para reasignar el bien natural a usos prioritarios, tratando de desarticular la generación de monopolios, especulación y distorsión de la competencia entre usuarios. Actualmente hay un proyecto de ley que busca reformar el Código de Aguas de Chile, que muy probablemente se resolverá en el año 2018.

El proyecto busca modificar el concepto de derechos de aprovechamiento de aguas, con el objeto de limitar su uso, darles un carácter temporal, restringir el uso en situaciones de escasez, facilitar la intervención en áreas hidrológicas por parte del Estado y reformar el sistema de pago de patente por no uso. Toda esta situación es determinante para la industria minera ya que el acceso a los recursos hídricos es fundamental para el sector, y sus usos en Chile están regulados por las normas de la Ley y el mercado.

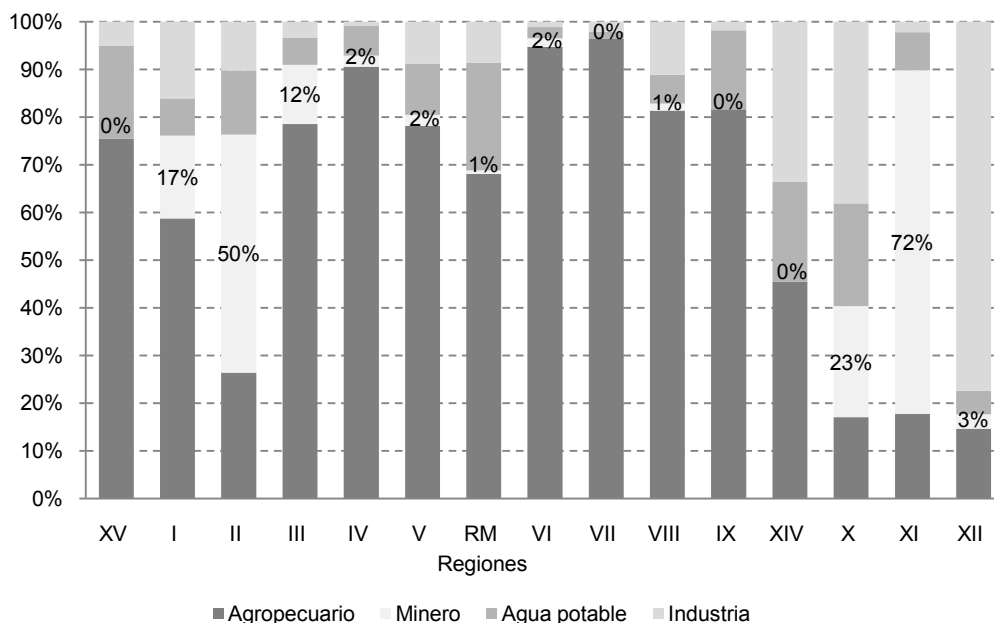
El uso total de los recursos hídricos disponibles en el país utilizados en la industria minera, se ha duplicado desde el año 2003 de un 4,5% a un 9% en el año 2010, esta situación se explica principalmente al aumento de la producción de cobre en un 10,5%, molibdeno 11,4%, hierro 39,9% y finalmente oro 1,4%; además de otros factores, como disminución de las leyes y aumento del tratamiento de minerales sulfurados, entre otros aspectos. A continuación se puede apreciar la evolución que ha tenido el uso del agua en los principales sectores económicos de la última década, así como también, la participación en cada región del país (véase gráficos 1 y 2).

Gráfico 1
Uso consuntivo de aguas en Chile, 2003, 2010 y 2015
(En porcentaje)



Fuente: Taller Nacional “Hacia un plan nacional de gestión integrada de los recursos hídricos en Chile”. CEPAL, diciembre 2003. Año 2010 de la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012 – 2025, http://www.mop.cl/documents/enrh_2013_ok.pdf. Año 2015 de Atlas agua de Chile 2016, <http://www.dga.cl/atlasdelagua/Paginas/default.aspx>.

Gráfico 2
Distribución porcentual de los usos consuntivos por las regiones de Chile, 2015
(En porcentaje)



Fuente: sobre la base de los datos del Atlas del agua de Chile 2016, <http://www.dga.cl/atlasdelagua/Paginas/default.aspx>

En Chile los derechos de agua pueden ser superficiales y subterráneos, además, se clasifican en consuntivos y no consuntivos. Los primeros son los que facultan al titular al consumo total del agua en cualquiera sea su actividad, mientras que los no consuntivos proporcionan acceso a la utilización del agua, pero deben de forma obligatoria reponerla según como se determinó en la constitución del derecho. Éste puede ser de ejercicio permanente, eventual, continuo, discontinuo o alternado con otras personas naturales o jurídicas. En los siguientes gráficos se puede apreciar la evolución que ha tenido

el uso del agua en los principales sectores económicos en la última década, como también, la participación en cada región del país.

Actualmente la DGA lleva un registro denominado Catastro Público de Aguas (CPA), que contiene los datos e información relacionados con el recurso, los derechos de aprovechamiento, los derechos constituidos, y todo tipo de obra asociada, tanto las construidas, como las que se construirán para su aprovechamiento, por lo tanto la industria minera está catastrada bajo este mismo régimen.

Para el año 2015, la cantidad total de derechos otorgados fue de 52.581, (consuntivos 42.946 y no consuntivos 9.635). Respecto a los derechos superficiales, el caudal otorgado asciende a 40.007.713 l/s, siendo la mayor parte no consuntivos con 37.048.777 l/s, mientras que los consuntivos alcanzan los 2.958.936 l/s.

En Chile se realiza un seguimiento a la disponibilidad hídrica superficial y subterránea. Respecto a la superficial, en el caso de una cuenca, es el caudal susceptible para entregar los derechos de aprovechamiento. Al tener una estimación de la disponibilidad de la cuenca, maximiza el uso del recurso existente y disponible. Además, la relevancia de esta disponibilidad se debe a que es utilizada en los criterios técnicos para la constitución de derechos superficiales. Con todo, la explotación minera se localiza especialmente en las regiones áridas y semiáridas del país y de alto estrés hídrico, como se ha indicado; en consecuencia, la participación del sector minero en el uso de agua en estas zonas es relevante, aumentando la competencia por el recurso, así como los conflictos relacionados con el acceso y disposición del agua, entre los distintos usuarios, especialmente agua potable.

Información oficial, señala que las cuencas de la Macrozona Norte no cuentan con caudal disponible para el otorgamiento de un nuevos derechos de aprovechamiento. La zona central presenta una similar situación que la norte, mientras que la disponibilidad aumenta hacia el sur del país (DGA, 2016).

Respecto a la disponibilidad subterránea, es tratada de forma distinta a la superficial, se expresa en unidades de volumen por año, y se asocian distintos tipos de volumen: i) volumen sustentable, asociado a recarga natural del acuífero; ii) volumen provisional, derechos de aguas subterráneos del tipo provisional; iii) volumen disponible, suma de los volúmenes sustentables y provisionales; iv) volumen total comprometido, cantidad total de agua correspondiente a todos los derechos constituidos y reconocidos, solicitudes tramitadas y las pendientes, y v) volumen total solicitado, agua anual contenida en todas las solicitudes, tanto resueltas como en trámite.

Según los datos del año 2015, el volumen disponible alcanza los 19.304 millones de m³/año, mientras que el volumen sustentable se encuentra en torno de los 16.074 millones de m³/año.

En épocas de extraordinaria sequía el Código de aguas de Chile considera un mecanismo especial para la gestión del recurso: la Declaración de Zona de Escasez Hídrica instancia que permite minimizar los efectos y daños derivados de la insuficiencia de agua. Esta es una facultad del Presidente de la República, por petición y/o informe de la DGA, y su máxima extensión es de seis meses, no prorrogables.

El Código reglamenta las organizaciones de usuarios (juntas de vigilancias, asociaciones de canalistas y comunidad de aguas superficiales). Las técnicas tradicionales para la disponibilidad del recurso como la captación a través de acumulación de embalses, cosecha de lluvias y pozos no han sido suficientes, debido a las recurrentes sequías que han azotado al país en los últimos años. Esta situación ha llevado a buscar nuevas soluciones técnicas como es el caso de la desalinización del agua de mar.

El tratamiento del agua de mar para el consumo humano, la agricultura, la industria o la minería, se caracteriza por la osmosis inversa, el sistema más popular en Chile; sin embargo, existen

otras técnicas como la destilación, utilización de membranas, intercambio iónico y procesos termales, entre otros. Con todo, una de las dificultades de la osmosis, es el alto consumo energético, ya que el agua producida no sólo se consume a nivel del mar o cercano a éste, sino también es necesario imprimir gran cantidad de energía para bombearla a zonas de altitud²⁰, como es el caso de muchas explotaciones mineras importantes. A todo ello se suma que estos procedimientos se realizan en zonas que generalmente no disponen de alto stock de energía.

Hacia 2015, en Chile se han identificado 20 plantas en operación, donde 11 de éstas se utilizan en la industria minera, 8 para consumo humano y 1 para uso industrial. La Macro Zona Norte es la que contiene la mayor cantidad de plantas (12 en total), concentrándose mayoritariamente en la región de Antofagasta, zona en donde se encuentra el desierto de Atacama, el más árido del mundo. Actualmente se encuentran en estado de proyecto 16 plantas, muchas de ellas vinculadas a las empresas mineras metálicas y no metálicas, (véase cuadro 1).

Sobre la base de los datos que cada año entrega la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO²¹), se exponen las cifras asociadas al consumo del agua en la industria extractiva del cobre. En primer lugar se presenta el consumo general del agua en términos de cantidad de litros por segundo. Para una mayor comprensión de los conceptos asociados al estudio de COCHILCO se presentan los siguientes conceptos:

Área mina: es toda la infraestructura que pertenece a una mina a cielo abierto o subterráneo, hasta el transporte del material hacia el chancado primario. En el “área mina” el agua se utiliza para la supresión del polvo en suspensión en caminos, y a veces proviene de la extracción y bombeo desde labores subterráneas.

Área de planta concentradora: comprende el procesamiento de minerales, el que involucra la conminución²² del mineral, luego la flotación, clasificación y espesamiento. Las aguas residuales pueden o no ser recirculadas en el proceso. Una parte del agua utilizada en la flotación forma parte de los relaves. Mediante el proceso de espesamiento, se recupera una parte del agua que contienen para ser recirculada. Una innovación para evitar la evaporación de aguas en las piscinas industriales de CODELCO se pueden apreciar en el recuadro 2.

Área planta hidrometalúrgica: considera los procesos de lixiviación²³ en pilas, la extracción por solventes y la electro-obtención para la producción de cátodos. Los principales consumos de agua del proceso son como consecuencia de la evaporación en las pilas de lixiviación, las que son bañadas con una solución ácida (compuesta de agua con ácido sulfúrico), sobre la superficie de las pilas. Esta solución se infiltra en la pila disolviendo el cobre contenido en los minerales oxidados.

²⁰ Evidentemente el costo de un m³ a nivel del mar es muchísimo menor que el destinado a altitudes considerables en donde generalmente se encuentran las explotaciones mineras, con una relación de 1 a 8 aproximadamente.

²¹ COCHILCO, tiene como misión "Asesorar al gobierno en la elaboración, implementación y fiscalización de políticas, estrategias y acciones que contribuyan al desarrollo sustentable del sector minero nacional y a fortalecer el aporte de éste al resto de la economía. Asimismo, resguardar los intereses del Estado en sus empresas mineras, fiscalizando y evaluando su gestión e inversiones" (COCHILCO, 2017b).

²² Proceso minero en donde se produce la reducción de tamaño de las partículas de un determinado mineral.

²³ La lixiviación es un proceso hidrometalúrgico que permite obtener el cobre de los minerales oxidados que lo contienen, aplicando una disolución de ácido sulfúrico y agua. Este proceso se basa en que los minerales oxidados son sensibles al ataque de soluciones ácidas. Información del portal de CODELCO. https://www.codelcoeduca.cl/Movil/pr_lixiviacion.asp, mayo 2017.

Cuadro 1
Plantas desalinizadoras construidas y proyectadas en Chile

Macro-zona	Re-gión	Nombre	Compañía	Capacidad desaladora (l/s)	Uso	Estado	
	XV	Planta Desaladora Arica	Aguas del Altiplano	412	Agua Potable	En Operación	
		Pampa Camarones	Minera Pampa Camarones	-	Cobre	En Operación	
I		Bullmine	SCM Bullmine	150	Yodo	Aprobado	
		Planta Desaladora Quebrada Blanca Fase 2	Teck	1300	Cobre	Factibilidad	
		Comité Caleta Chanavayita	Dirección de Obras Hidraulicas	9,25	Agua Potable Rural	En Operación	
		Eloisa	Eloisa S.A.	200	Yodo	Aprobado	
		Planta Desaladora Tocopilla	Aguas Antofagasta S.A.	200	Agua Potable	En Calificación	
Norte		Planta Desaladora RT Sulfuros	Codelco Norte	1630	Cobre	En Calificación	
		Mantos de La Luna	Compañía Minera Mantos de Luna	8,7	Cobre	En Operación	
		Planta Desaladora Michilla	Minera Michilla (Antofagasta Minerals)	75	Cobre	En Operación	
		Planta Desaladora Esperanza	Minera Centinela (Antofagasta Minerals)	50	Cobre	En Operación	
		Agua Desalada Antucoya	Minera Antucoya (Antofagasta Minerals)	20	Cobre	En Operación	
		Agua de Mar Encuentro	Antofagasta Minerals	20	Cobre	En Construcción	
		Planta Desaladora Hornitos	Caja Compensación Los Andes	4,3	Agua Potable	En Operación	
		Algorta	Algorta Norte	-	Yodo	Aprobado	
		Planta Desaladora Moly-Cop	Moly - Cop Chile S.A.	4,3	Acero	Aprobado	
		Sierra Gorda	Minera Sierra Gorda SCM	63	Cobre	En Operación	
		II	Planta Desaladora La Chimba	Aguas Antofagasta S.A.	680	Agua Potable	En Operación
		Planta Desaladora Sur Antofagasta	Aguas Antofagasta S.A.	1000	Agua Potable	Aprobado	
		Planta Desaladora Taltal	Aguas Antofagasta S.A.	5	Agua Potable	En Operación	
		Planta Coloso	Minera Escondida (BHP)	525	Cobre	En Operación	
		Ampliación Planta Coloso	Minera Escondida (BHP)	2500	Cobre	En Construcción	
Agua de Mar Lomas Bayas	Xstrata	-	Cobre	Factibilidad			
Paposo	Dirección de Obras Hidraulicas	1,4	Agua Potable Rural	En Operación			
Spence	Minera Spence (BHP)	800	Minería	En Calificación			
Las Cenizas Taltal - Las Luces	Minera Las Cenizas	9,3	Cobre	En Operación			
		Planta de Osmosis Inversa	Cementos Polpaico	4,6	Industrial	En Operación	

Cuadro 1 (conclusión)

Macro-zona	Región	Nombre	Compañía	Capacidad desaladora (l/s)	Uso	Estado
		Diego de Almagro	Minera Can Can	-	Cobre	Factibilidad
		Abastecimiento de Agua Desalada Manto Verde	Anglo American	120	Cobre	En Operación
		Planta Desaladora Cerro Negro	CAP	600	Hierro	En Operación
	III	Planta Desaladora Bahía Caldera	Seven Seas Water Chile SpA	95,6	Agua Potable	En Calificación
		Planta Desalinizadora Minera Candelaria	Freeport-McMoRan	300	Cobre	En Operación
		Planta Desalinizadora de Agua de Mar	Econssa Chile S.A.	1200	Agua potable	En Calificación
		Proyecto Dominga	Andes Iron	450	Hierro	Factibilidad
	IV	Comite de A.P.R. Chungungo	Dirección de Obras Hidraulicas	5,6	Agua Potable Rural	En Operación
Austral	XI	Islas Huichas	Dirección de Obras Hidraulicas	2,8	Agua Potable Rural	En Operación

Fuente: Atlas agua de Chile 2016, <http://www.dga.cl/atlasdelagua/Paginas/default.aspx>.

Fundición y refinación: este proceso se inicia con un concentrado seco, el que se somete a un proceso de piro metalurgia para obtener placas gruesas, llamadas ánodos. Los ánodos son comercializados directamente o enviados al proceso de refinación, que se lleva a cabo en celdas electrolíticas en una solución de ácido sulfúrico. Se le aplica una corriente eléctrica, que hace que se disuelva el cobre del ánodo y se deposite en el cátodo inicial, lográndose cátodos de alta pureza.

Área otros o servicios: comprende volúmenes es de consumo de agua poco significativos en relación al total consumido en una operación minera. El principal uso es para bebida, cocción, lavado, riego y servicios higiénicos en los campamentos, así como las plantas de molibdeno en operaciones, y otros consumos menores.

Recuadro 2 Disminución de las pérdidas de agua en las piscinas (industriales) de CODELCO

Desde el área de energía sustentable y cambio climático se realiza una acción para el uso eficiente del agua. Específicamente, en la División Ministro Hales de CODELCO, existen 6 piscinas para distintos fines (agua fresca, agua de proceso, dos para drenaje mina y dos para efluentes), con una superficie expuesta aproximada de 23.507 m². Cálculos promedio daban cuenta de una pérdida de agua producto de la evaporación de 244 m³ por día. Debido al nivel de pérdidas por evaporación, se requirió de un sistema de control de evaporación que pueda disminuir de forma eficiente, efectiva y de poca complejidad este problema, en el menor plazo posible. Las condiciones de temperatura media anual son de 22,7°C, mínima promedio anual de 4,2°C y la humedad media mensual de 21,1%, las instalaciones se encuentran a una altura media de 2.260 m.s.n.m, y las áreas expuestas de las piscinas son entre 2.500 m² hasta 6.000 m².

La solución consideró la implementación de esferas (Barrier Balls) sobre la base de distintos proveedores, se eligieron bolas que presentan características específicas: tricapa de polietileno o HDPE, con filtro solar, antioxidantes, alguicidas y determinado peso para reducir la evaporación de agua. En la piscina de agua fresca se instalaron 378 sacos de esferas, cubriendo una superficie de 5.670 m², en la piscina de agua de proceso se utilizaron 150 sacos, cubriendo una superficie de 2.250 m². En las piscinas de drenaje N°1 y N°2, se instalaron 206 y 216 sacos, cubriendo sus respectivas superficies de 3.090 m² y 3.240 m². En las piscinas de efluentes N°1 y N°2, se utilizaron 244 sacos y 258 sacos, que cubrieron superficies respectivas de 3.660 m² y 3.870 m².

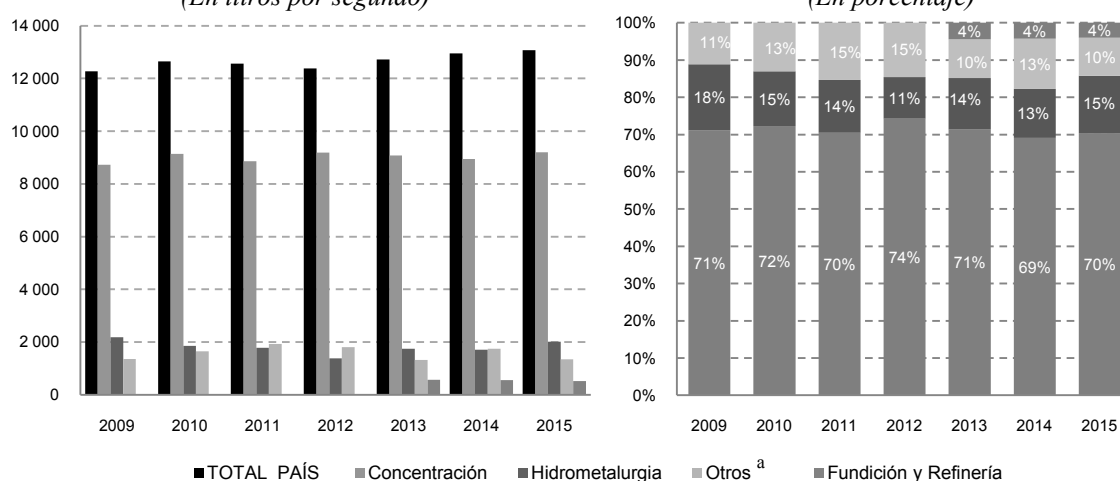
El proyecto consideró cubrir la superficie de las piscinas, aproximadamente 24.000 m², reduciendo la evaporación a cerca de 49 m³ por día. Otros beneficios asociados son la reducción en la generación de algas, que permite disminuir costos de limpieza y pérdidas de producción por detenciones no programadas, además, esta solución no tiene costos operacionales asociados. El costo de capital del proyecto se estimó en US\$ 628 mil y el VAN a 10 años se estimó en US\$ 939 mil (considerando la vida útil de las esferas de 15 años).

Fuente: Sobre la base de información entregada por el director del área de energía sustentable y cambio climático de CODELCO, junio 2017.

El proceso más significativo respecto al uso del agua es el área de concentración de minerales, demandando por sobre las otras áreas, la mayor cantidad de agua, que en promedio representa sobre el 70% del recurso. Luego, le sigue la hidrometalurgia (lixiviación, SE-EW), que en promedio se encuentra en torno del 14% (véase gráfico 3).

Una especial división del territorio de Chile (geoclimática) la definió la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO²⁴) en la década de los años cincuenta. En ella el país se dividió en cinco regiones naturales. Norte Grande: regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta; Norte Chico: regiones de Atacama, Coquimbo y Valparaíso; Centro: regiones de Metropolitana y O'Higgins. Esta nueva forma de dividir al país si bien no corresponde a la política administrativa vigente, es muy útil desde la perspectiva del análisis ecológico, hidrográfico e incluso para la toma de decisiones de las inversiones en infraestructura, proyectos de energía, innovación y otros sectores económicos del país.

Gráfico 3
Consumo de agua continental en la minería del cobre por proceso
A. Total (En litros por segundo)
B. Distribución porcentual (En porcentaje)



Fuente: sobre la base de los datos del Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 1996-2015, COCHILCO, 2016e.

^a "otros" corresponde a agua utilizada en la mina para la supresión de polvo en caminos, agua potable utilizada en campamentos, y de servicios auxiliares.

El Norte Grande es la región de Chile en donde se registra el mayor consumo de agua en la minería del cobre (véase gráfico 4), misma región que presenta un gran estrés hídrico debido al clima desértico costero con nublados abundantes, desértico normal y desértico marginal de altura, en donde se emplaza el desierto más árido (no polar) del planeta. El promedio anual de pluviosidad de algunas zonas de del Norte Grande (provincia de Arica, límite con Perú) es inferior a 1 mm (17° latitud sur). En consecuencia, una de las preocupaciones de las empresas mineras localizadas especialmente en el Norte Grande es el manejo racional del agua; en efecto, la eficiencia en el uso del recurso es una variable que las empresas no dejan en segundo plano y sobre el cual constantemente hay estudios y aplicación de nuevas tecnologías y procesos.

Las regiones del denominado Norte Chico junto a la Zona Central, presentan consumos de agua relativamente similares como se puede apreciar; sin embargo, en la primera se debe considerar que una parte es cubierta por el desierto de Atacama, por lo tanto, zonas como Copiapó presentan sólo

²⁴ La Misión de CORFO es la diversificación productiva y el mejoramiento de la competitividad del país, fomentando la inversión, el emprendimiento y la innovación, además, fortalece las capacidades tecnológicas y el capital humano, de tal forma de alcanzar el desarrollo sostenible y territorialmente equilibrado.

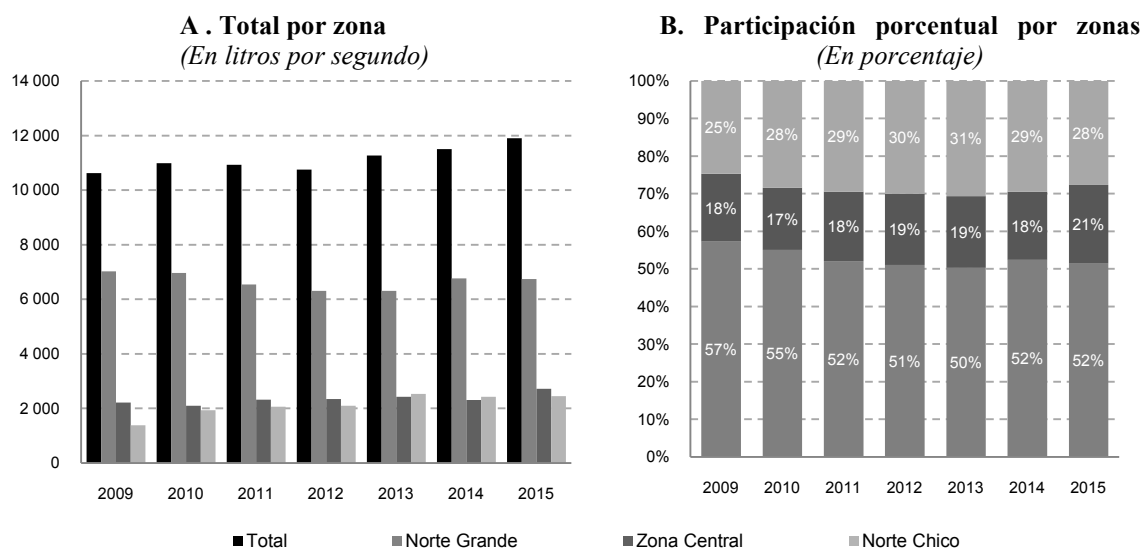
20 mm (27° latitud sur) de lluvia al año; mientras que en ciudades como San Felipe las precipitaciones promedio alcanzan los 250 mm (32° latitud sur). Finalmente la Zona Central del país, Región Metropolitana de Santiago, registra 360 mm promedio anual (33° latitud sur)²⁵.

Otra cuestión importante a tomar en cuenta respecto al consumo de agua por la industria minera en Chile son las fuentes de donde se extrae el recurso, fundamentalmente de aguas subterráneas y superficiales (véase gráfico 5), lo que históricamente ha generado dificultades y problemas con los grupos de interés asociados al consumo humano, conservación de la biodiversidad (bofedales altoandinos), turismo y otros.

La mayor fuente de agua continental en el Norte Grande es el agua subterránea, seguida por el agua superficial. En los últimos años ha aumentado sostenidamente la utilización de agua de mar, como se puede apreciar en el gráfico anterior, esto se debe a la demanda tanto en la construcción y puesta de proyectos, como también, a las operaciones existentes y nuevos proyectos, que repercute en el aumento del número de proyectos relacionados con la desalinización del agua de mar.

Por otra parte, en el Norte Chico y la Zona Central, la principal fuente de agua ha sido superficial y subterránea, respectivamente. En la zona del Norte Chico llama la atención que a partir del año 2013 se está utilizando una mayor cantidad de agua de mar (véase gráfico 6), cuestión que confirma la utilización de esta tecnología para accionar una nueva y renovada fuente de agua. Es relevante mencionar, que no son menores las voces de científicos y grupos técnicos en advertir las externalidades económicas negativas, especialmente desde el ámbito de la contaminación ambiental, así como de la biodiversidad costera, en relación al uso de agua de mar.

Gráfico 4
Consumo total de agua continental en la minería del cobre por zona

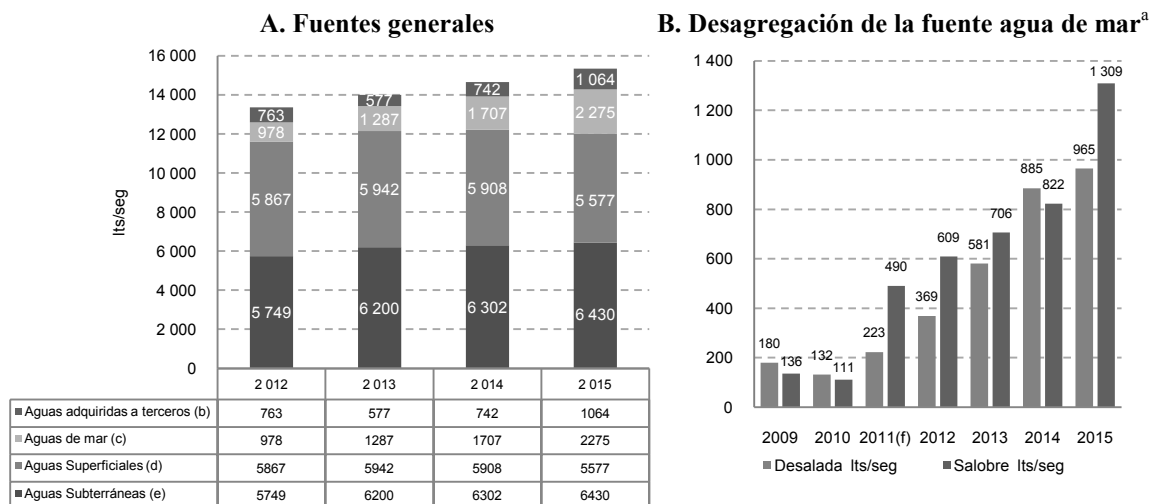


Fuente: Sobre la base de los datos del Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 1996-2015, COCHILCO 2016e.

Nota: Se simplifica las zonas considerando en la Zona Norte: Arica y Parinacota, Antofagasta, Tarapacá y Atacama; Norte Chico: Coquimbo y Valparaíso y; Zona Central: Metropolitana y Bernardo O'Higgins. Por lo tanto, los porcentajes pueden ser diferentes a los de la fuente.

²⁵ Instituto Nacional de Estadísticas (INE) Chile, Informe anual de medio ambiente 2014.

Gráfico 5
Fuente de extracción de agua en la minería del cobre
(En litros por segundo)



Fuente: Sobre la base de datos del Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Metales 1996-2015, COCHILCO, 2016e.

^aDe acuerdo a lo reportado por las empresas mineras.

^bAguas adquiridas a terceros hace referencia a un contrato con terceros donde se compra el agua directamente.

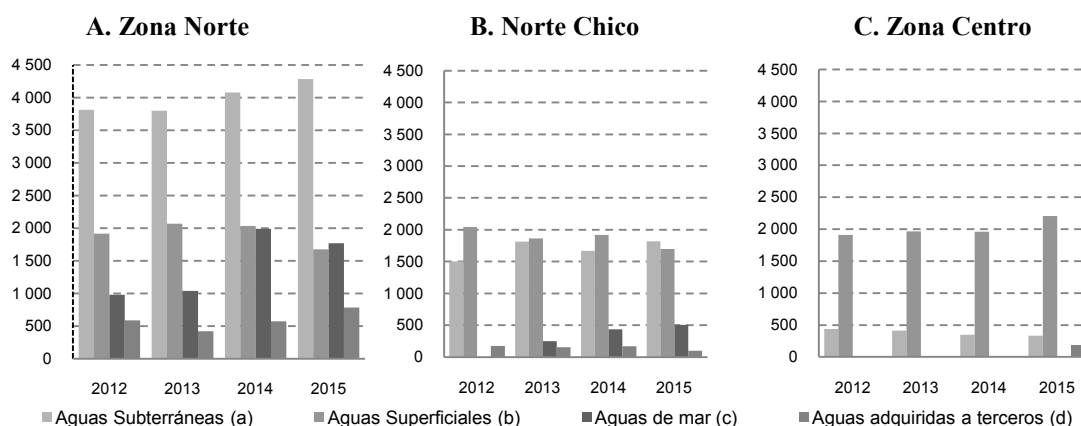
^cAgua de mar corresponde a toda agua de mar que es extraída desde la costa, ésta tiene dos vías posibles, ya sea utilizada directamente en los procesos y/o previa desalinización.

^dAguas superficiales son aquellas que corren por cauces naturales como vertientes, esteros, ríos y quebradas, o se encuentran acumuladas en depósitos como lagos, lagunas, pantanos, ciénagas, y/o embalses.

^eAguas subterráneas son aquellas que están ocultas bajo tierra, almacenadas en acuíferos o embalses subterráneos que requieren de labores previas de exploración.

^f2011 incluye la mina esperanza según reporte sustentabilidad de la empresa.

Gráfico 6
Extracción de agua en la minería del cobre según fuente de extracción y por zona
(En litros por segundo)



Fuente: Elaboración sobre la base de los datos del Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Metales 1996-2015, COCHILCO, 2016e.

^aAguas subterráneas son aquellas que están ocultas bajo tierra, almacenadas en acuíferos o embalses subterráneos que requieren de labores previas de exploración.

^bAguas superficiales son aquellas que corren por cauces naturales como vertientes, esteros, ríos y quebradas, o se encuentran acumuladas en depósitos como lagos, lagunas, pantanos, ciénagas, y/o embalses.

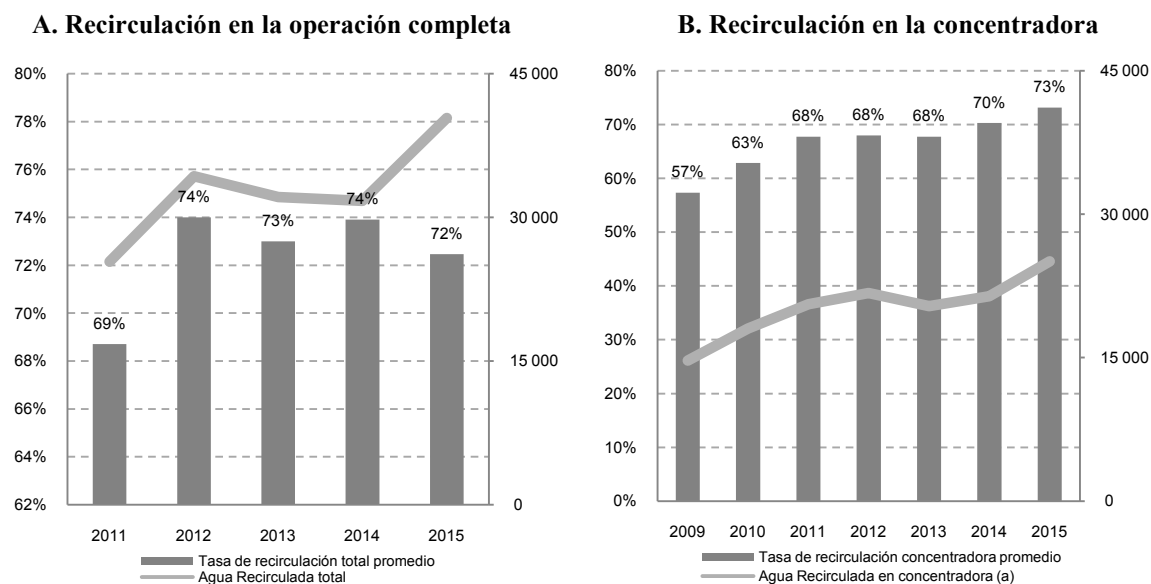
^cAgua de mar corresponde a toda agua de mar que es extraída desde la costa, ésta tiene dos vías posibles, ya sea utilizada directamente en los procesos o previa desalinización.

^dAguas adquiridas a terceros hace referencia a un contrato con terceros donde se compra el agua directamente.

La reutilización del agua en los procesos mineros, es una actividad que se practica desde hace más de diez años. La información que presenta COCHILCO, da cuenta del tiempo en que los registros son representativos; por ejemplo, respecto a la recirculación de la operación completa, existen datos desde el año 2011, mientras que la recirculación en la concentradora, desde 2009, (véase gráfico 7). Respecto a la recirculación en la concentradora, se observa un aumento del 16% entre los años 2009 y el 2015, lo que demuestra que las acciones realizadas permitieron ser más eficientes con el uso del recurso. Respecto a la recirculación total, se mantiene un promedio de 72%, considerando que ha incrementado la demanda de agua en los últimos años.

La desagregación de la producción entre la gran y mediana minería, y sus procesos asociados, indica el nivel de uso de recursos. Debido al contraste en la utilización del agua y la energía, cada proceso está definido por el tipo de mena explotada, es decir, los óxidos de cobre se benefician mediante la hidrometalurgia, mientras que los sulfuros de cobre con el proceso de flotación. Los consumos unitarios por tamaño de empresa y por proceso asociado, son parte importante de la estadística necesaria para la gestión y realización de políticas, (véase gráfico 8).

Gráfico 7
Recirculación de agua en la minería del cobre
(En litros por segundo y porcentaje)



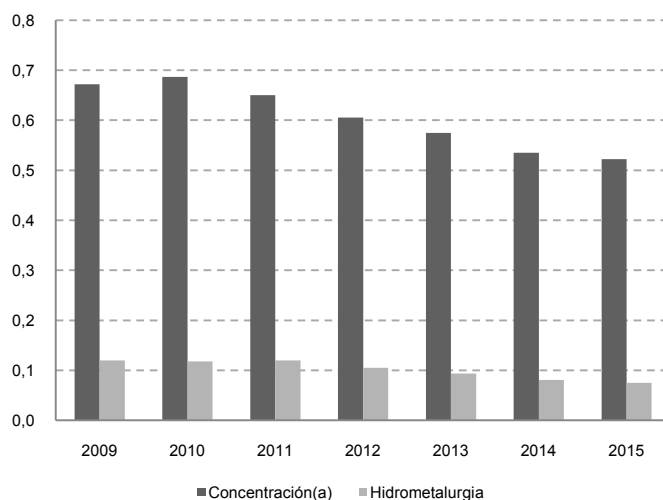
Fuente: sobre la base de datos del Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 1996-2015, COCHILCO, 2016e.

^aPromedio ponderado por mineral procesado en la concentradora por faena en cada región.

El consumo unitario de agua continental, se refiere a la cantidad de agua utilizada para procesar u obtener una unidad de materia prima o de producto. La tasa de consumo unitario es expresada en metros cúbicos de agua continental por cada tonelada tratada, según el informe de COCHILCO (2016d). Los consumos unitarios de agua continental están desagregados en minería de gran y mediana escala, y en relación al proceso, ya sea concentración o hidrometalurgia (véase gráfico 9).

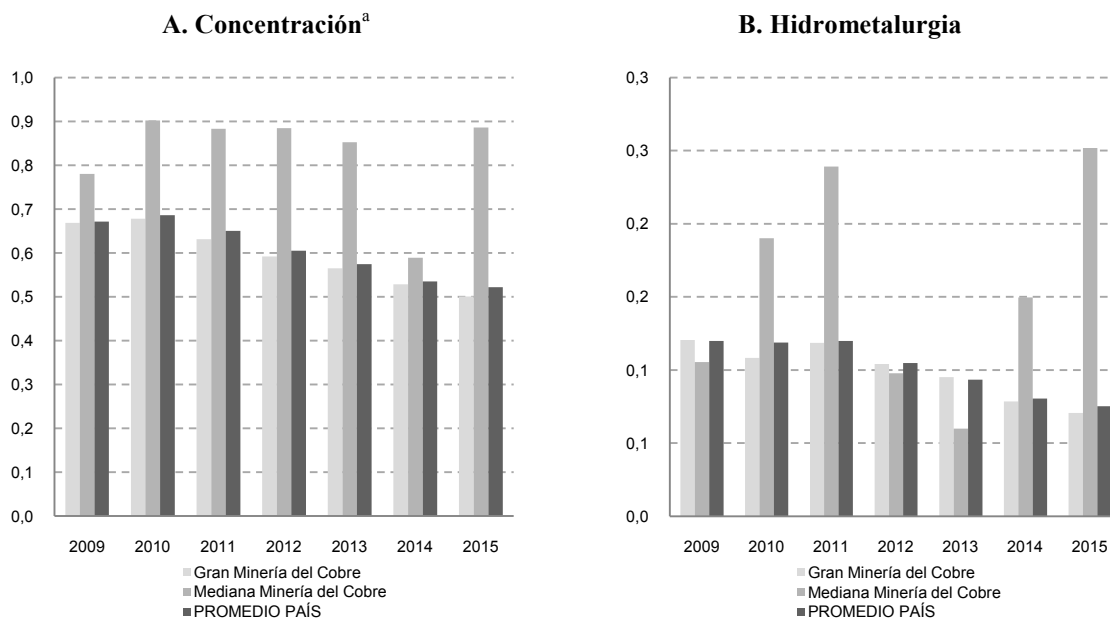
Respecto al consumo unitario de agua continental, a partir del año 2009 ha caído sostenidamente hasta el 2015 desde cerca de 0,7 a 0,5 m³/ton-min en el proceso de concentración, esto se debe a que se han realizado esfuerzos por el uso eficiente y además por incluir el agua de mar (salobre y desalada), de igual forma, la hidrometalurgia ha caído por el mejoramiento del uso del recurso.

Gráfico 8
Consumo unitario de agua continental por tonelada de mineral de cobre procesado en Chile
(En m³/ton-min)



Fuente: sobre la base de datos del Anuario de Estadísticas del Cobre y otros Minerales 1996-2015, COCHILCO, 2016e.
^aPromedio ponderado por mineral procesado en la concentradora por faena en cada región.

Gráfico 9
Consumo unitario de acuerdo al tamaño de empresa
(En m³/ton_min.)



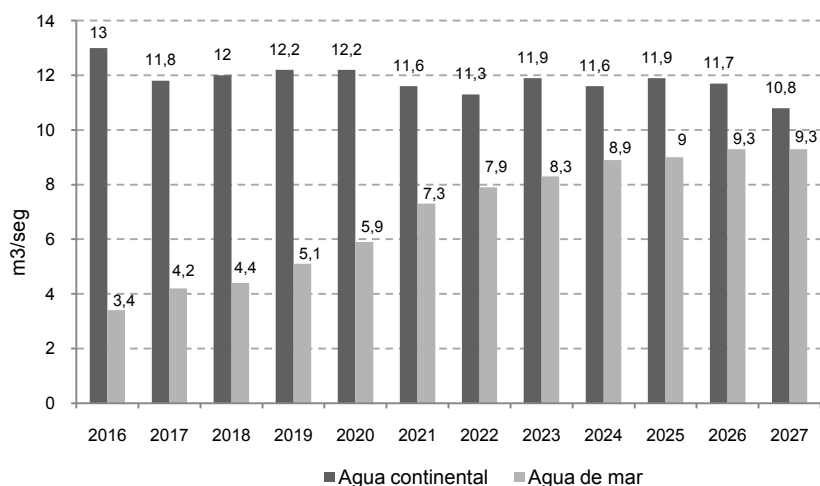
Fuente: Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 1996-2015, COCHILCO, 2016.
^aPromedio ponderado por mineral procesado en la concentradora por faena en cada región.

Estudios recientes de COCHILCO, se han focalizado en realizar una estimación del consumo de agua para los próximos años, el periodo comprende los años 2016 - 2027 (véase gráfico 10), para la minería del cobre, basados en la proyección de producción del cobre y los coeficientes unitarios de consumo de agua, de lo que se obtiene la demanda futura en un determinado período. Al mismo tiempo, se determina el consumo según fuente de origen en base a la cartera de proyectos, incluyendo los de desalinización e impulsión que se encuentran en el porfolio de futuros proyectos.

Una situación relevante es que en los próximos años se estima que habrá un cambio del producto final a comercializar, debido a una disminución de los minerales oxidados (tratados con hidrometalurgia), de los que se obtiene un cátodo de cobre a través del proceso SX-EW, y un aumento de los minerales de sulfuros, que deben ser procesados mediante flotación para obtener concentrado de cobre; además, se puede seguir su proceso aguas abajo a través de la fundición y refinación para obtener ánodos, y cátodos de cobre. Sin embargo, lo relevante es que el proceso de flotación es más intensivo en el uso de agua.

La proyección de consumo de agua total aumenta de 16,4 m³/seg el año 2016 a 20,1 m³/seg el 2027. La proporción de agua continental disminuye de 13 m³/seg a 10,8 m³/seg mientras que el agua de mar aumenta de 3,4 m³/seg a 9,3 m³/seg en el mismo periodo de tiempo. Las razones del aumento del consumo indicadas son principalmente el aumento de minerales sulfurados (aumento de la concentración por sobre la hidrometalurgia), y las bajas en las leyes que significan una mayor cantidad de material a tratar.

Gráfico 10
Proyección de demanda de agua en la minería del cobre, 2016-2027
(En m³/seg.)



Fuente: Sobre la base de datos de Proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2016-2027, COCHILCO (2016b).

2. Consumo de energía en la minería del cobre

Las instituciones gubernamentales, que se encuentran actualmente encargadas de la gestión, administración, y planificación de políticas públicas relacionadas con el consumo de energía en la minería son: Ministerio de Energía²⁶, institución de gobierno responsable de elaborar y coordinar de manera transparente y participativa los distintos planes, políticas y normas para el desarrollo del sector energético del país.

Comisión Nacional de Energía²⁷: órgano técnico encargado de analizar precios, tarifas y normas a las que deben ceñirse las empresas de producción, generación, transporte y distribución de energía, con el objeto de disponer de un servicio suficiente, seguro y de calidad.

²⁶ Información del portal de internet del Ministerio de Energía, <http://www.energia.gob.cl/sobre-el-ministerio/ministerio>. Consultado en marzo 2017.

²⁷ Información del portal de internet de la Comisión Nacional de Energía. <https://www.cne.cl/quienes-somos/>. Consultado en marzo 2017.

Superintendencia de Electricidad y Combustibles²⁸: órgano técnico encargado de velar para que las personas cuenten con productos y servicios seguros y de calidad, en los sistemas de electricidad y combustibles.

El mercado eléctrico en Chile está compuesto por las actividades de generación, transmisión y distribución del suministro eléctrico. Estas actividades están desarrolladas por empresas que son controladas en su totalidad por capitales privados, mientras que el Estado ejerce funciones de regulación, fiscalización y de planificación indicativa de inversiones en generación y transmisión.

La Ley faculta a la autoridad para obligar a la interconexión de las instalaciones eléctricas, con el objeto de garantizar la eficiencia y la seguridad del sistema. La coordinación del sistema de generación en su conjunto se establece a través de un centro coordinador denominado Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC), para cada uno de los principales sistemas del país: el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) y el Sistema Interconectado Central (SIC). Actualmente ambos sistemas se encuentran unidos íntegramente desde noviembre de 2017 constituyendo el Sistema Eléctrico Nacional.

Los Centros de Despacho Económico de Carga administrados por titulares de empresas generadoras y transmisoras, determina los planes de operación del conjunto de centrales generadoras, líneas de transmisión y subestaciones de poder que conforman el sistema, con el objeto de garantizar que el suministro global se efectúe con un adecuado nivel de seguridad y a un costo económico mínimo²⁹.

Según datos de diciembre de 2014³⁰, el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) cubre el territorio comprendido entre las ciudades de Arica por el norte y Antofagasta por el sur. En este sistema se encuentra el 28% de la capacidad total instalada en el país. La capacidad instalada es principalmente termoeléctrica (99.1% es generación a base de carbón, fuel, diesel y ciclos combinados a gas natural). La demanda está constituida principalmente por empresas mineras e industriales, las que no están sometidas a regulación de precios según la normativa legal.

El Sistema Interconectado Central (SIC) se extiende entre la localidad de Taltal en la segunda región, hasta la isla grande de Chiloé por el sur. Este sistema representa un 71% de la capacidad instalada total del país (55% térmica, 43% hidroeléctrica, y el resto por renovables no convencionales destacando la eólica y solar). El SIC es el mayor sistema del país, abasteciendo a más del 90% de la población total, como puede apreciarse en el siguiente diagrama (véase diagrama 2).

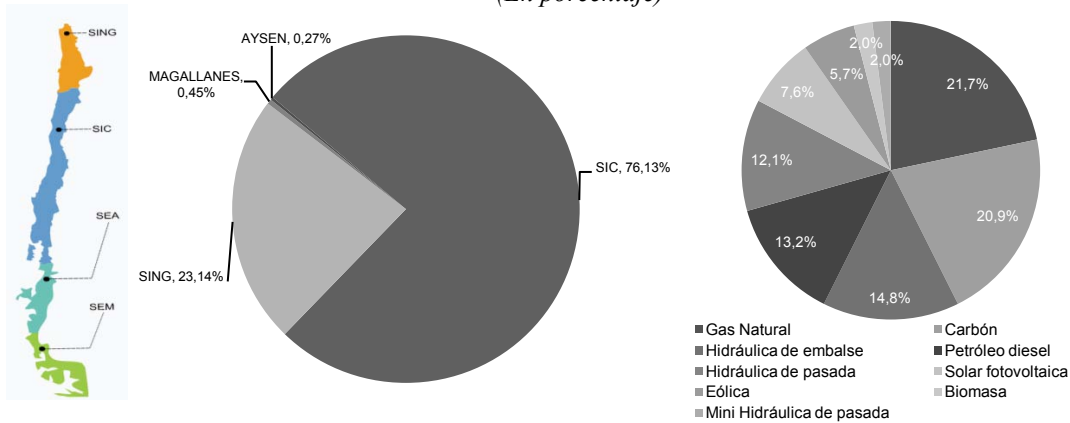
Respecto a la industria extractiva minera, una de las líneas de investigación de los insumos estratégicos utilizados en la minería de Chile, que lleva a cabo COCHILCO, es el consumo de energía. Esta información se genera sobre la base de datos reportados por más de 40 faenas productoras de cobre en el país, además de las fundiciones y refinerías existentes.

²⁸ Información publicada en el portal de internet de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles. http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,3481515&_dad=portal&_schema=PORTAL, consultado en abril 2017.

²⁹ Información publicada en el portal de internet del Ministerio de Energía de Chile. <http://www.energia.gob.cl/node/27>, consultado en abril de 2017.

³⁰ Análisis de consumo eléctrico en el corto, mediano y largo plazo, diciembre 2014. <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2015/07/Informe-Final-RESUMEN-EJECUTIVO.pdf>.

Diagrama 2
Distribución de la capacidad total instalada en Chile (22 992,32 MW)
(En porcentaje)

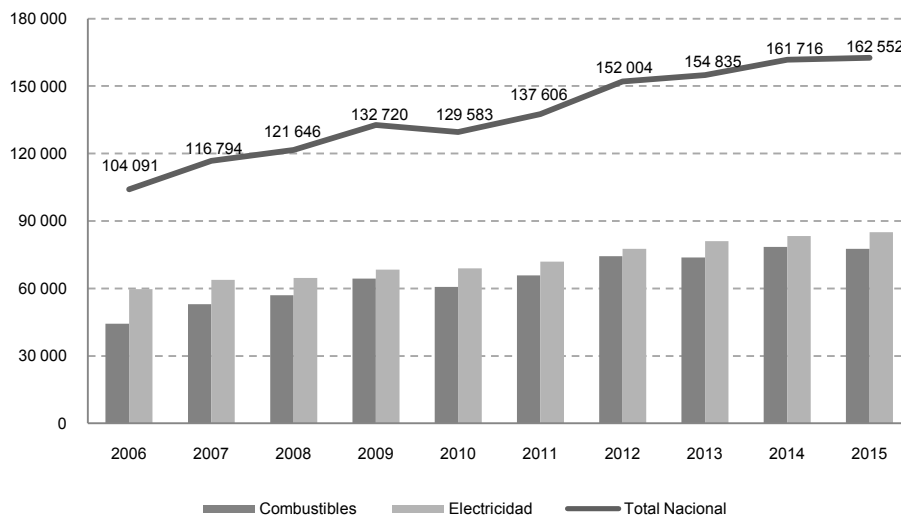


Fuente: Energía Abierta, Comisión Nacional de Energía, 2017, <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/capacidad-instalada>.

Los datos son solicitados a través de la encuesta de Producción, Consumo de Agua y Energía, que es aplicada por COCHILCO a inicios de cada año a las empresas. Uno de los análisis realizados es la clasificación según los sistemas interconectados del Norte Grande y Central, además, se analiza el consumo de combustible total y por proceso en la minería del cobre, así también, se determinan los coeficientes unitarios del consumo de energía, electricidad y combustibles, en los diferentes procesos.

Las fuentes de abastecimiento energético son la electricidad desde los dos sistemas interconectados más importantes del país, (SING) y (SIC), hoy Sistema Eléctrico Nacional, y los combustibles. Respecto a estos últimos, se identifican las fuentes de energía utilizada: carbón, gasolina, diesel, Enap 6, kerosene, gas licuado, gas natural, leña y butano. En el gráfico siguiente se puede apreciar el consumo nacional en la minería del cobre.

Gráfico 11
Consumo nacional de energía en la minería del cobre en Chile
(En terajoule)



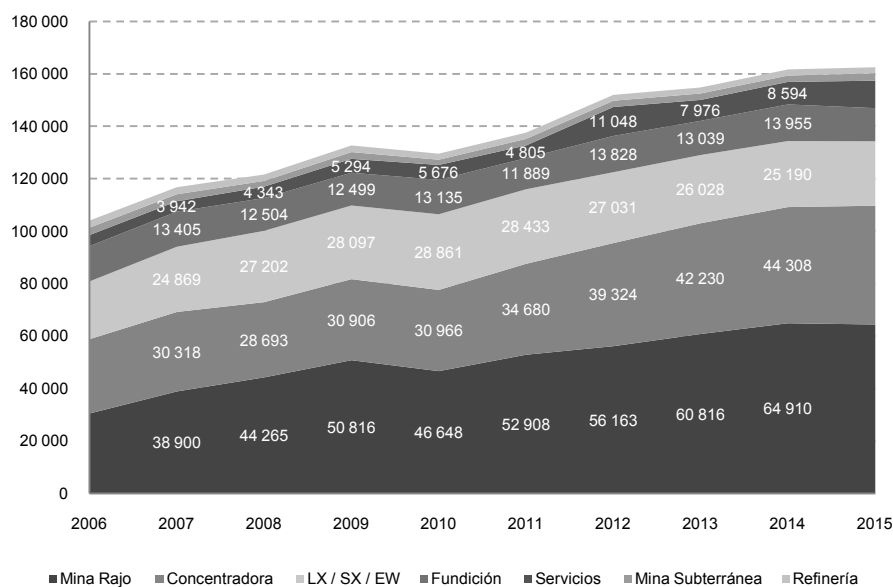
Fuente: sobre la base de datos del Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 1996-2015, COCHILCO, 2016e.

Según los datos desagregados de los procesos mineros, la concentración es el de mayor consumo eléctrico, ya que en el año 2015 representó cerca del 52% en el consumo total de energía eléctrica. Entre los años 2006 al 2015, este proceso ha tenido un incremento promedio anual del 6%, que se explica por el incremento en la electricidad usada en chancado y molienda dada la mayor dureza del mineral, aumento del volumen de mineral procesado en plantas concentradoras (debido a la baja en las leyes y una mayor producción de concentrados).

Luego, le sigue la lixiviación que el año 2015 alcanzó un consumo total de 20.460 TJ³¹, que corresponde al 24% del consumo total. Si se compara con el año 2010, su consumo ha disminuido un 8%, debido a la baja en la producción de cobre fino en cátodos mediante electro obtención. Desde el año 2012 se incluye en la encuesta de consumo energético el ítem de consumo eléctrico en plantas de desalinización e impulsión de agua de mar (ya sea directa o desalinizada), que explica el incremento del consumo eléctrico en el área de servicios.

Es relevante mencionar que si bien en los gráficos siguientes se observa que el proceso mina rajo utiliza la mayor cantidad de energía, ésta se basa principalmente en el uso de los combustibles y no en la energía eléctrica, por lo que al hacer un análisis desagregado, en promedio, el 91% corresponde a combustibles, mientras que el 9% a la energía eléctrica, como se aprecia en los gráficos siguientes.

Gráfico 12
Consumo nacional de energía en la minería del cobre por proceso en Chile
(En terajoule)

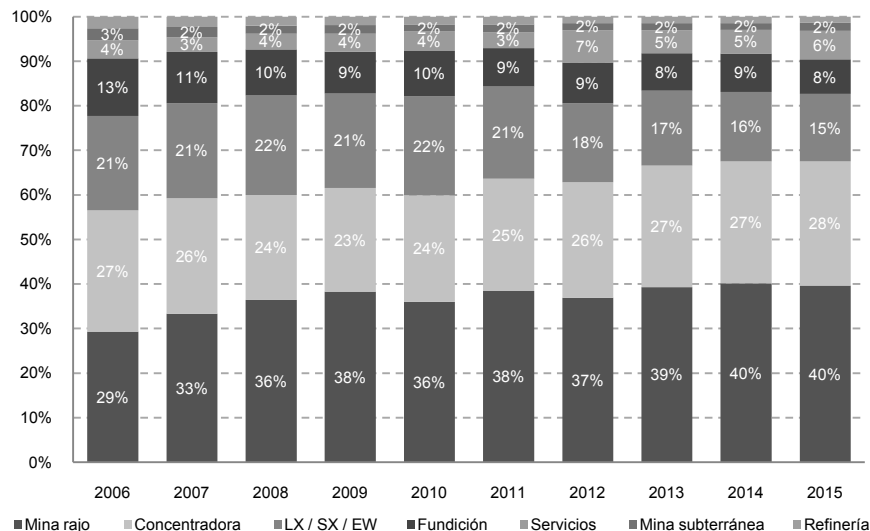


Fuente: sobre la base de datos del Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 1996-2015, COCHILCO, 2016e.

A continuación, se presenta una estimación de la demanda energética entre los años 2016 al 2027. Este es un análisis respecto del consumo eléctrico esperado a nivel nacional y en los sistemas interconectados SING y SIC. La metodología empleada es una simulación de Montecarlo que toma en consideración una proyección de producción de cobre al año 2027 en base a: i) cartera de proyectos vigentes y operaciones mineras actuales, y ii) estimación de producción futura de acuerdo a la condición y estado actual de dichos proyectos (véase gráfico 14).

³¹ 1 TJ (terajoule) = 1012 J, donde 1 J (joule) = 1 Ws = 4.1868 cal.

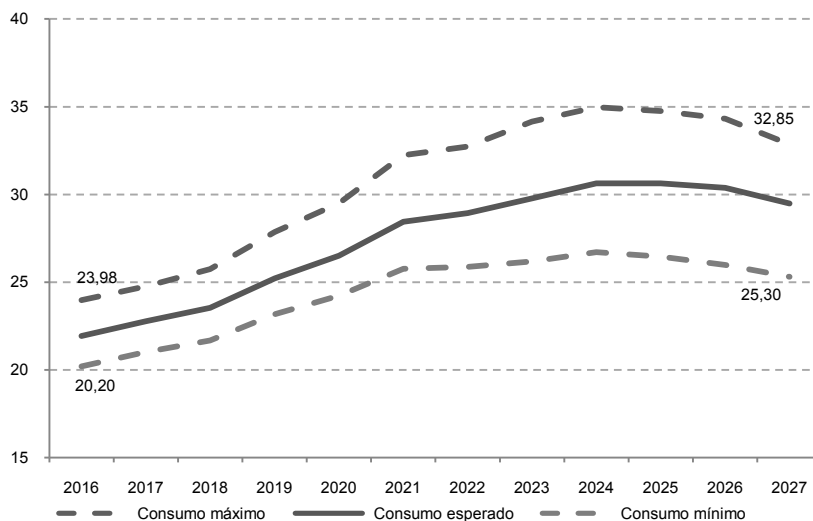
Gráfico 13
Proporción del consumo nacional de energía en la minería del cobre por proceso en Chile
(En porcentaje)



Fuente: sobre la base de datos del Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales 1996-2015, COCHILCO, 2016e.

En el gráfico siguiente se presenta la proyección para satisfacer la demanda energética esperada de la minería del cobre. Según estas cifras se requeriría agregar una capacidad de generación eléctrica de 1.093 MW en el período 2016 al 2027 para el actual Sistema Eléctrico Nacional.

Gráfico 14
Consumo eléctrico nacional de la minería del cobre en Chile, según casos máximo, esperado y mínimo, 2016-2027
(En tera Watts-hora)



Fuente: sobre la base de datos de la Proyección del consumo de energía eléctrica en la minería del cobre 2016-2027, COCHILCO 2016b.

Una de las iniciativas³² para la eficiencia en el uso de la energía en los procesos mineros, surgió con ocasión del convenio de cooperación entre el Ministerio de Energía de Chile y El Consejo Minero³³, celebrado en el año 2014. El objetivo principal de la iniciativa es impulsar el uso eficiente de la energía, mediante la promoción de la gestión energética, la incorporación a los procesos productivos de equipos y sistemas energéticamente eficientes, así como el fomento de una cultura de la eficiencia energética y la innovación en esta área.

Los requisitos a cumplir son los siguientes: i) política organizacional que incorpore la eficiencia energética, ii) creación de gerencia de alto nivel que promueva el tema en proyectos y procesos concretos; iii) realización de auditorías energéticas independientes, enfocadas a la revisión integral que mejore la operación en minas, establecer una línea base, protocolos de medición, reporte y verificación de indicadores de eficiencia energética, iv) Elaboración de un plan de eficiencia energética que considere etapas y resultados, y v) reportar anualmente los avances en el área.

Finalmente, una cuestión central de este convenio es incorporar la eficiencia energética en el diseño y evaluación de los proyectos de inversión. En este sentido, el Ministerio de Energía y la Comisión Nacional de Energía han puesto a disposición de los interesados instrumentos de apoyo para facilitar la implementación de las iniciativas y actividades en la industria. El Consejo Minero por su parte, mediante su Comisión de Energía y Cambio Climático, está a cargo de dar seguimiento al convenio. Uno de los aportes destacados es la contribución sustantiva que ha hecho el sector para las recomendaciones de Chile a la COP-21 en París (noviembre de 2015), así como el seguimiento de estos temas hasta el presente.

H. Situación en la utilización de agua y energía en minería en los países andinos: el caso de Perú

La industria minera peruana ostenta una larga historia que se remonta al siglo XV. Actualmente toda la actividad es realizada por privados, los que pueden acceder a las concesiones de exploración y explotación, así como otras concesiones como plantas de beneficio, de labor general y transporte minero.

A nivel mundial, Perú posee una oferta polimetálica, siendo el segundo país con las mayores reservas de cobre, tercero en zinc y primero en plata. Respecto a la producción³⁴, ocupa el segundo lugar en la producción de plata, tercer lugar en la producción de cobre y zinc, y cuarto lugar en la producción de estaño, plomo y molibdeno. De lo anterior, se deduce que es un país que ocupa un lugar destacado en la industria extractiva minera mundial.

Durante el periodo comprendido entre los años 2006 al 2015, la producción del cobre ha aumentado un 62,3%, plata 18,2%, mientras que el oro ha bajado en -28,1%. El PIB minero en Perú ha bajado su participación en 3%; mientras que la inversión minera presentó un aumento, a pesar de que durante el año 2015 se observó una caída importante de los precios internacionales, llegando a los 7.500 millones de dólares estadounidenses de inversión materializada (véase mapa 2).

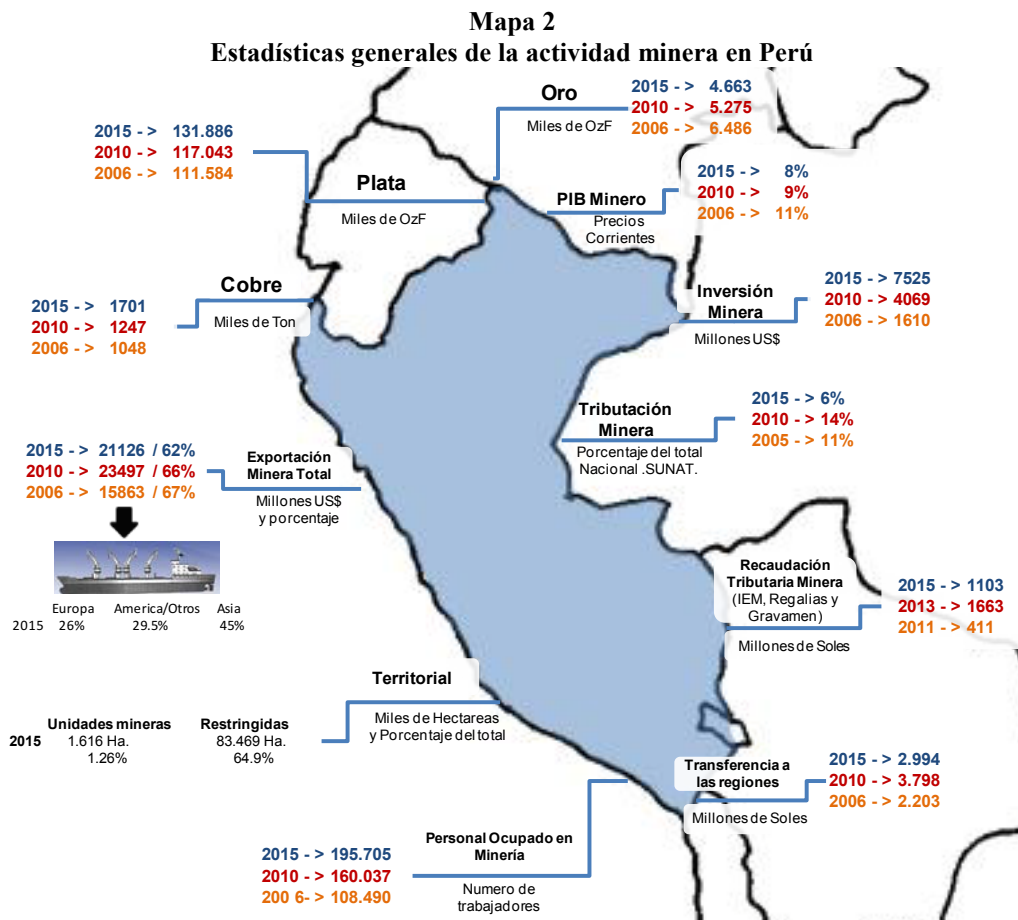
En Perú las exportaciones mineras representan más del 60% respecto al total, en tanto que la fuerza laboral promedio del sector prácticamente se duplicó de 108 mil trabajadores en el año 2006 a más de 195 mil trabajadores en el año 2015. La tributación minera al igual que en Chile ha caído desde 11% en el año 2006 al 6% el año 2015. La actividad industrial del país, incluyendo exportaciones y otros

³² Información del portal de internet del Consejo Minero, <http://www.consejominero.cl/ambitos-estrategicos/energia-y-cambio-climatico/aporte-del-consejo-minero-respecto-a-energia-y-cambio-climatico/>. Consultado en mayo 2017.

³³ El Consejo Minero es una institución privada que asocia empresas del rubro minero, que representan el 97% de la producción de cobre total en Chile, 55% oro, 71% plata y 97% de molibdeno.

³⁴ Anuario Minero del Perú, 2015. Ministerio de Energía y Minas.

datos como el PIB minero, dan cuenta que la economía peruana es altamente dependiente del sector minero; sin embargo, aquello no se refleja en la recaudación tributaria, cuestión que en parte es explicada por los bajos precios mundiales de los *commodities*. Tomando en cuenta lo anterior, es importante analizar si los instrumentos de recaudación han sido eficientes en alcanzar los objetivos, así como la posibilidad de evasión o elusión que eventualmente afecten a la recaudación fiscal del sector.



Fuente: sobre la base de datos estadísticos proporcionados por el Ministerio de Energía y Minas y SUNAT.

Nota: Los límites y los nombres que figuran en este mapa no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

1. Consumo de agua en la minería del Perú

La Autoridad Nacional del Agua (ANA)³⁵, es una institución del Estado adscrita al Ministerio de Agricultura y Riego. En conformidad con la Ley N° 29.338 (Ley de Recursos Hídricos), es el ente rector y máxima autoridad técnica normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, que es parte del Sistema Nacional de Gestión Ambiental. La ANA fue creada el 13 de marzo del 2008 con el fin de administrar conservar, proteger y aprovechar los recursos hídricos de las diferentes cuencas de manera sostenible, promoviendo a su vez la cultura del agua.

³⁵ Información publicada en el portal de internet de ANA. <http://www.ana.gob.pe/nosotros/la-autoridad/nosotros>. Consultado en abril de 2017.

Sus principales funciones son: i) administrar y vigilar las fuentes naturales de agua, ii) autorizar volúmenes de agua que utilizan y/o distribuyen los prestadores de servicios de agua (EPS³⁶ y Juntas de regantes), iii) evaluar instrumentos ambientales, iv) otorgar derechos de uso de agua, autorizaciones de vertimiento y reúso de agua residual tratada, v) autorizar obras en fuentes naturales de agua, y vi) conducir el Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos.

La Autoridad Nacional del Agua está organizada de forma descentralizada, con 14 Autoridades Administrativas de Agua (AAA), 71 Administraciones Locales de Agua (ALA) y 8 Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca (CRHC). Las funciones más destacadas son:

Autoridades Administrativas de Agua (AAA): manejo de los recursos hídricos a nivel de cuencas; aprobación de estudios y obras de aprovechamiento; otorgamiento de derechos de uso de agua y autorizaciones de reúso de aguas residuales tratadas y de ejecución de obras; vigilancia del uso y pago de retribución económica, y realizar estudios, inventarios, monitoreos y la gestión de riesgos en glaciares.

Administraciones Locales de Agua (ALA): administración de los recursos hídricos en sus respectivos ámbitos territoriales. Prestar apoyo a las AAA en sus funciones: acciones de sensibilización y campañas para promover la cultura del agua a nivel nacional.

Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca (CRHC): espacios institucionales de diálogo, para la gestión del agua en las cuencas (actores locales y regionales).

El cuerpo legal más representativo y vigente es la Ley de Recursos Hídricos de 2009³⁷. En ésta los principios que rigen el uso y gestión integrada de los recursos hídricos son: valoración del agua y de gestión integrada, prioridad en el acceso al agua, de participación de la población y cultura del agua, seguridad jurídica, respeto de los usos del agua por las comunidades campesinas y comunidades nativas, sostenibilidad, descentralización de la gestión pública del agua y de autoridad única, precautorio, eficiencia, gestión integrada participativa por cuenca hidrográfica y tutela jurídica.

En esta Ley se regula además, el concepto de dominio hidráulico público, el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, los usos de los recursos hídricos, los derechos de uso de agua, la protección del agua, el régimen económico por el uso del agua, planificación de la gestión del agua, infraestructura hidráulica, agua subterránea, aguas amazónicas, infracciones y sanciones.

En relación al dominio y uso público del agua se entiende que en Perú el agua es patrimonio de la Nación, siendo el dominio sobre la misma inalienable e imprescriptible. Además es un bien de uso público y su administración sólo puede ser otorgada y ejercida con y por el bien común, la protección ambiental y el interés de la Nación.

Este bien de uso público incorpora: cauces o álveos, lechos y riberas de los cuerpos de agua, incluyendo las playas, barriales, restingas y bajiales, en el caso de la Amazonía, así como los materiales que acarrea y deposita el agua en los cauces; las áreas ocupadas por los nevados y los glaciares, entre otros.

Consecuentemente, el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos es el conjunto de instituciones, principios, normas, procedimientos, técnicas e instrumentos mediante los que el Estado desarrolla y asegura la gestión integrada, participativa y multisectorial, el aprovechamiento sostenible, la conservación, la preservación de la calidad y el incremento de los recursos hídricos.

La ANA tiene carácter de órgano de participación en la determinación de políticas hídricas en los usos de agua, derechos de uso y planificación. La ley divide los usos de agua entre primario, poblacional y productivo; uso poblacional es la captación del agua de una fuente o red pública para su distribución; uso productivo, utilización del agua en procesos de producción o previos a los mismos,

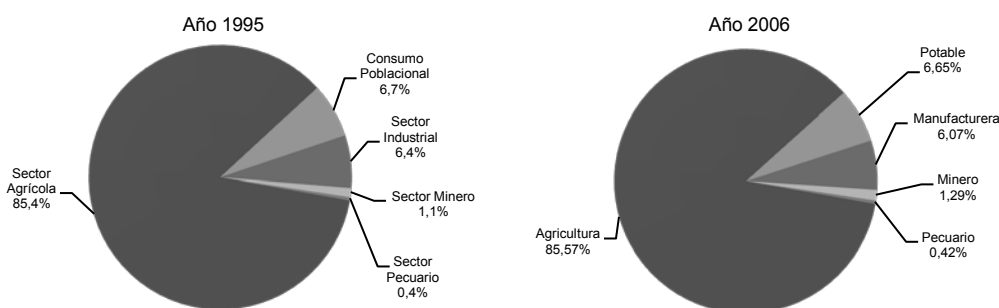
³⁶ EPS: Empresas Prestadoras de Servicio.

³⁷ La experiencia legislativa del decenio 2005-2015 en materia de aguas en América Latina. CEPAL, 2015.

acuícola y pesquero, energético, industrial, medicinal, minero, recreativo, turístico y de transporte, entre otros; licencia de uso, permiso de uso y autorización de uso de agua, se denomina también “concesión”. Es temporal y opera para épocas de superávit hídrico; autorización del uso del agua, tiene un plazo determinado no mayor de dos años, prorrogable por una vez, y para usar aguas relacionadas con la ejecución de estudios, de obras y lavado de suelos.

La protección del agua atribuye a la ANA la custodia de la protección, conservación y protección de sus fuentes, de los ecosistemas y de los bienes naturales asociados a ésta, y régimen económico por el uso del agua.

Gráfico 15
Distribución del consumo de agua por sectores en Perú, 1995 y 2006
(En porcentaje)



Fuente: Sobre la base de los datos del “Primer estudio del manejo del agua en la actividad minera del Perú”, Instituto de ingenieros de minas del Perú, año 2007.

Es importante mencionar que en relación a la utilización del agua en Perú, aparentemente no se ha producido información relacionada con este tema. En este sentido el "Primer estudio del manejo del agua en la actividad minera del Perú", del instituto de ingenieros de minas de Perú, publicado en el año 2007, establece que para el año 1995 el uso del agua en minería, en comparación a otras industrias, fue de 0,40% del total, mientras que para el año 2006, alcanzó el 1,29% (véase gráfico 15).

Para tener una idea de lo que ha sucedido en los últimos años, la utilización del agua se puede estimar a través de los registros de derechos de agua que ha venido otorgando la ANA. Según los tres tipos de derechos existentes (permiso, autorización y licencia), han registrado los volúmenes de agua medidos en hectómetros cúbicos. Si bien, no representan los usos consuntivos o no consuntivos, se pueden calcular los volúmenes utilizados en distintas industrias, en consecuencia, es posible obtener los totales a nivel nacional, así como los volúmenes otorgados a la industria minera mediante los distintos tipos de derechos establecidos por ley.

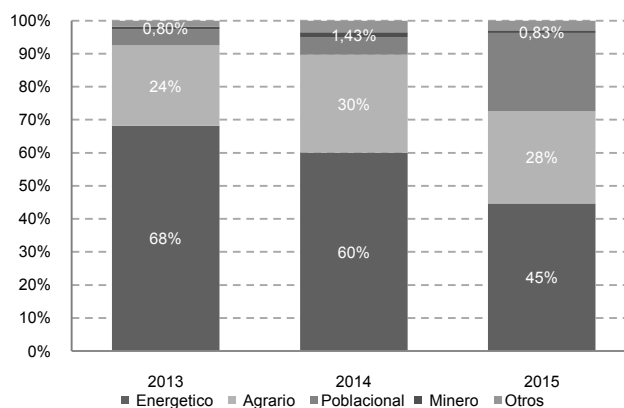
Según los datos de ANA, los volúmenes totales anuales otorgados, fueron aumentando paulatinamente entre los años 2013 al 2015. En el año 2013, el volumen total otorgado fue de 48.284 hm³, en el año 2014 ascendió a 61.448 hm³ y el 2015 llegó a los 70.488 hm³. Como es de esperar el consumo poblacional fue el de mayor aumento, con un incremento desde el 5,3% en el año 2014 al 23,7% el año 2015. Mientras los derechos de la industria energética, bajaron considerablemente su participación en el total anual, desde un 68,2 % en el año 2013 al 44,7% el año 2015. Respecto a la industria minera, la participación en el porcentaje a nivel nacional es bastante bajo, fluctuando entre el 0,8% al 1,4%.

Durante el año 2006 fue aplicada una encuesta a empresas mineras de la mediana y gran minería metálica de Perú, esta muestra representó el 81,5% del mineral total tratado, considerando 35 empresas, lo que permitió concluir la relación directa entre el consumo de agua fresca utilizada y el mineral tratado.

El total de agua identificada por las empresas encuestadas fue de 137.364.544 m³/año de agua fresca dulce superficial, y 299.907.462 m³/año de agua subterránea. Las operaciones metalúrgicas utilizaron 63.729.792 m³/año, con 24,2% del total de agua subterránea, teniendo un excedente de 236.177.670 m³/año de agua subterránea neta, que fue puesta en superficie. Este excedente de agua

fue mayor al de agua fresca superficial extraída de los cuerpos de agua, para las actividades minero-metalúrgicas. Un dato relevante es que el costo operativo y de transporte del agua subterránea puesta sobre superficie, se encuentra entre 1 a 2,5 US\$ /m³.

Gráfico 16
Volúmenes de derechos de agua otorgados en Perú según tipo de uso
(En porcentaje)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de la ANA Perú.

Respecto del uso del agua en procesos mineros, entre los años 1995 al 2006 hubo un incremento de 176% en el tratamiento de mineral, sin embargo, la cantidad de agua fresca superficial utilizada en la actividad minera, se incrementó en un 25,5% (207,0 a 277,9 Hm³/año). De lo anterior se concluye que el uso unitario de agua se redujo de 1,72 durante el año 1995 a 0,84 m³ de agua/ton de mineral el año 2006.

En el año 2006, considerando el 81,7% de la actividad minera total, se utilizó 227.042.896 m³/año, de los que 137.364.544 m³/año corresponden al agua dulce superficial, que representa el 60,50% del total, el agua dulce subterránea/mina fue de 63.729.792 m³/año, equivalente al 28,07%. Además, el agua salada extraída del Océano Pacífico, utilizada en la minería fue de 25.948.560 m³/año, representando el 11,43% del uso total de agua evaluada.

Las fuentes del agua fresca superficial utilizada para la actividad minera fueron la Vertiente del Atlántico con 67.887.107 m³/año, que representa el 49,42%. La Vertiente del Pacífico aportó 57.101.134 m³/año, que representa el 41,57%, mientras que la Vertiente del Titicaca registró un aporte de 12.264.021 m³/año equivalente al 9,01%.

Respecto a las aguas subterráneas, de los 299.907.462 m³/año aportados para la actividad minera, la Vertiente del Pacífico participó con 179.799.950 m³/año equivalente al 59,95%, seguida de la Vertiente del Atlántico con 117.742.312 m³/año representando el 39,26%, y la Vertiente del Titicaca con 2.365.200 m³/año que representa el 0,79% del total.

Un concepto utilizado en el país es el consumo real de agua fresca dulce superficial, que se define como: el agua que no regresa al medio ambiente ni a ningún cuerpo de agua después de su utilización, que está constituida principalmente por:

- El agua retenida en los depósitos de relaves de las plantas concentradoras de minerales metálicos y en los residuos del mineral molido y lixiviado para la extracción principalmente de oro y plata.
- El agua atrapada, mayormente, en los intersticios de las partículas de mineral y entre partícula y partícula del mineral lixiviado en las pilas de mineral oro y/o cobre de las plantas hidrometalúrgicas.

Los efluentes metalúrgicos por su parte son soluciones que contienen principalmente impurezas como iones disueltos metálicos y no-metálicos producidos durante las operaciones y procesos metalúrgicos, que son separados de este proceso. Estos efluentes se generan principalmente

en: plantas Concentradoras (flotación); plantas hidrometalúrgicas (lixiviación, concentración, purificación y electrodeposición); plantas de Fundición (fundición y refinamiento).

En relación al uso y el consumo unitario del agua (m^3/t), el primero se determina calculando el cociente de la cantidad de agua fresca superficial dulce total utilizada por las empresas mineras, más el agua salada de mar total utilizada en las operaciones mineras-metalúrgicas, dividido entre la cantidad de mineral tratado, su valor es de $0,84 \text{ m}^3/\text{t}$ para el 2006. Mientras que el segundo se determina considerando sólo el agua retenida en los relaves, residuos de lixiviación, los depósitos de relaves y el agua atrapada en los intersticios³⁸ de las partículas del mineral lixiviado en la pilas de lixiviación, más el agua salada retenida en los relaves de las operaciones mineras-metalúrgicas, su valor es $0,34 \text{ m}^3/\text{t}$ para 2006.

La llegada de grandes plantas de beneficio aumentó la capacidad de tratamiento de mineral a más del 176% entre los años 1995 al 2006, sin embargo, el número de éstas sólo se incrementó en un 14,4%, principalmente asociado a la gran minería. Pese al aumento del tratamiento de mineral entre los años 1995 al 2006, el agua dulce utilizada se incrementó sólo en 25,51%; es decir, de 207 a $278 \text{ hm}^3/\text{año}$ respectivamente. El uso unitario se redujo de $1,72 \text{ m}^3/\text{t}$ en el año 1995 a $0,84 \text{ m}^3/\text{t}$ en el año 2006, debido a la política de reciclar la mayor cantidad de efluentes metalúrgicos y evitar las pérdidas de agua, especialmente las plantas metalúrgicas que se encuentran en la Vertiente del Pacífico, donde algunas empresas vienen aplicando el criterio de efluentes cero en la gestión del manejo de agua.

Las cantidades otorgadas a la industria minera, a través de los tipos de derechos de utilización del agua, han sido bajos en comparación a otras industrias. En términos absolutos, en el año 2013 el volumen anual otorgado fue de $378,2 \text{ hm}^3$, el año 2014 fue de $876,8 \text{ hm}^3$ y de $588,5 \text{ hm}^3$ el año 2015.

La fluctuación de los volúmenes demandados responde a varios factores que inciden en las decisiones de los usuarios, dentro de los relevantes, ha sido el comportamiento de los precios de los *commodities*, que hasta el año 2014, mostraron un lento retroceso en sus precios, pero a fines del mismo año iniciaron una abrupta caída que recién se estabilizó a fines del año 2016. Esto generó que varios proyectos o expansiones se detuvieran hasta que el escenario de precios les permita realizar las inversiones, cuestión que para el segundo semestre del 2017 ha sido positiva.

Existen también, algunos impedimentos que tienen que ver con la logística y las necesidades de infraestructura asociada a la obtención del recurso. En términos generales, en gran parte del país se tiene acceso al recurso hídrico; es decir, hay disponibilidad del recurso en la naturaleza, el problema surge debido a la accesibilidad a éste, en donde las condiciones geográficas y topográficas hacen difícil el acceso seguro sumado a la falta de infraestructura adecuada. Por otra parte, la lejanía de los lugares de acceso respecto a la ubicación de la demanda, puede representar grandes distancias que encarecen los proyectos, aun cuando el recurso se encuentre disponible.

En Perú, como muestran los datos, la mayor demanda de derechos en la industria minera, se presentan en la Vertiente Atlántica, representando en promedio el 62% de la demanda total, luego la Vertiente Pacífica, y en mucha menor escala la Vertiente del Titicaca (véase gráfico 17).

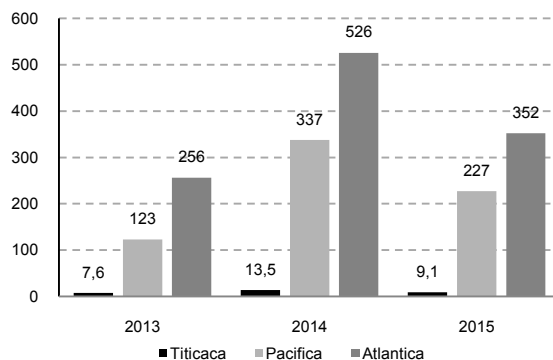
Dentro de los tipos de derechos otorgados, predomina en todos los años las licencias, que en promedio ascienden al 84%, luego le siguen las autorizaciones, que a pesar de representar una baja parte del consumo, muestra un lento pero sostenido ascenso. Finalmente los permisos representan un volumen poco significativo, principalmente en los últimos dos años (2014 y 2015) (véase gráfico 18).

Las condiciones climáticas de la zona sur de Perú, se caracterizan por estrés hídrico, debido a la poca disponibilidad, como también, a la escasa accesibilidad del agua. Son de relevancia las condiciones climáticas ya que en estas zonas se encuentran las instalaciones de los casos de estudio. Por lo tanto, es necesario conocer las condiciones del tiempo y clima al momento de definir y aplicar políticas en relación al uso de un recurso escaso, que compite tanto con el consumo humano, como

³⁸ El espacio que queda libre entre los átomos de los cristales sólo mide unos cuantos angstroms.

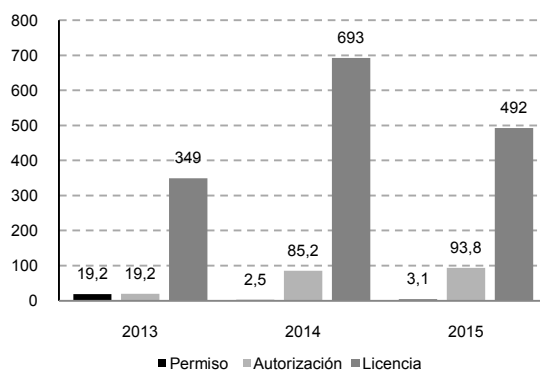
con otras actividades del país. A continuación, se presentan las características climáticas de Ayacucho y Arequipa, departamentos en donde se ubican los casos de estudio (SENAMHI).

Gráfico 17
Volúmenes de derechos de agua en minería por vertiente en Perú
(En hectómetros cúbicos)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de la ANA Perú.

Gráfico 18
Volúmenes otorgados a la minería por tipo de derecho en Perú
(En hectómetros cúbicos)



Fuente: Realizada por el autor sobre la base de datos de la ANA Perú. [http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/660,661 y 672](http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/660,661%20y%20672).

En Ayacucho, más del 90% del territorio pertenece a la región de la sierra, siendo el centro del departamento una de las regiones más secas de Perú. Las temperaturas máximas ocurren entre octubre y noviembre llegando a 30°C, y las mínimas a los 6°C en la capital.

En la provincia de Lucanas (Departamento de Ayacucho), según la clasificación climática de Werren Thornthwaite, presenta tres tipos de climática:

Lluvioso, semifrío, con deficiencias de lluvia en otoño e invierno.

Semiseco y frío, con ausencias de lluvias en otoño, invierno y primavera.

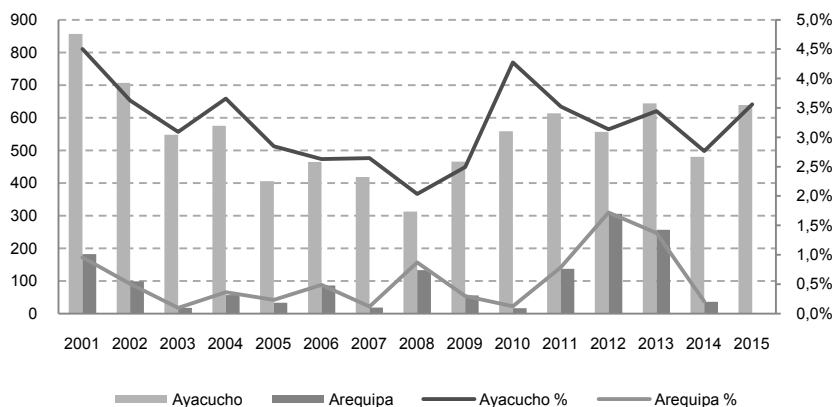
Árido, semicálido y con una humedad relativa comprendida entre 65% y 84%, con ausencia de lluvias en todas las estaciones del año.

Arequipa presenta en su geografía el Océano Pacífico, cordillera de la costa, luego pampas desérticas, y posteriormente la sierra. La costa presenta un clima nuboso, con escasa precipitación, situación que permite caracterizarla como una zona árida. La fluctuación de las temperaturas máximas y mínimas de toda la costa se encuentran entre los 19°C a 28°C mientras que las mínimas fluctúan entre los 12°C y 19°C.

Las pampas ubicadas sobre los 1.000 m.s.n.m. se caracterizan por ser desérticas, debido que a esa altitud es mayor que la altura de nubes estratiformes. Las temperaturas fluctúan entre los 22°C a 27°C las máximas, mientras que las mínimas entre los 8°C y 14°C.

Respecto a la sierra, dentro de su configuración presenta una meseta, una cadena de volcanes y una serie de cumbres en la parte occidental de la cordillera. Las precipitaciones incrementan conforme la altura geográfica, siendo lluvias y granizos; mientras que en los meses de invierno se presentan caídas ocasionales e intensas de nieve, que abarcan amplias áreas, (véase gráfico 19).

Gráfico 19
Precipitaciones anuales, Ayacucho y Arequipa
(En milímetros cúbicos anuales y porcentaje respecto al total del país)



Fuente: Sobre la base de datos de INEI Perú.

2. Consumo de energía en la minería del Perú

El Ministerio de Energía y Minas³⁹, es el organismo rector del sector energía y minas, y forma parte integrante del Poder Ejecutivo. Tiene como finalidad formular y evaluar, en armonía con la política general y los planes del gobierno, las políticas de alcance nacional en materia del desarrollo sostenible de las actividades minero-energéticas. Así mismo, es la autoridad competente en los asuntos ambientales referidos en estas actividades.

El Ministerio de Energía y Minas, tiene como objetivo promover el desarrollo integral de las actividades minero-energéticas, normando, fiscalizando y/o supervisando, según sea el caso, su cumplimiento; cautelando el uso racional de los recursos naturales en armonía con el medio ambiente.

Las principales funciones del ministerio son: i) ejecutar y evaluar el inventario de los recursos mineros y energéticos del país, ii) coordinar y promover la asistencia técnica en electricidad, hidrocarburos y minería, iii) otorgar, en nombre del Estado, concesiones y celebrar contratos, según corresponda, para el desarrollo de las actividades minero – energéticas; iv) promover el desarrollo de la competitividad en las actividades minero – energéticas, y v) fomentar el uso eficiente de la energía y el aprovechamiento y desarrollo de los recursos energéticos renovables.

El Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN⁴⁰) es una institución pública que regula y supervisa a las empresas del sector minero, eléctrico e hidrocarburos

³⁹ Información publicada en el portal de internet del Ministerio de Energía y Minas, consultado en mayo de 2017. http://www.minem.gob.pe/_detalle.php?idSector=10&idTitular=268&idMenu=sub266&idCateg=222.

⁴⁰ Plan Estratégico 2015-2021 OSINERGMIN, 2014.

con el propósito de que cumplan la normativa de las actividades que desarrollan. Desde el año 2007, mediante la Ley N° 28.964, amplía sus responsabilidades hacia el sector de la minería, y cambió su nombre a Osinergmin.

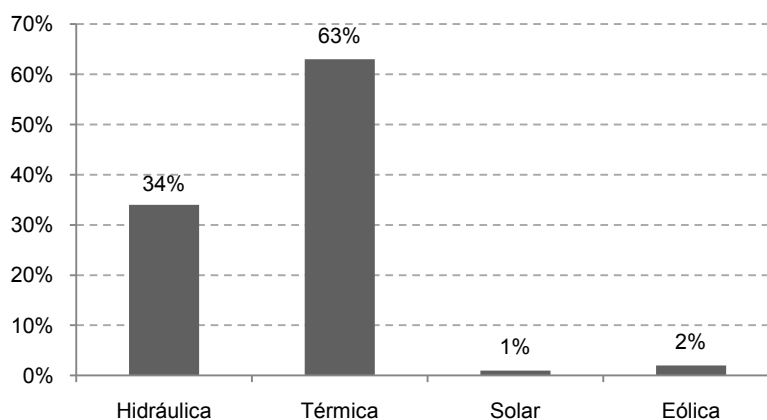
La Dirección General de Electricidad⁴¹ señala que la capacidad instalada de generación a nivel nacional ha crecido desde 6.200 MW en el año 2005 a 12.251 MW en el año 2015, lo que significa un incremento del 98%, con una tasa promedio anual de 7%, sobre la base de información de empresas integrantes del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), empresas que no pertenecen al SEIN y empresas generadoras para uso propio. Para el año 2015, el 63% correspondió a generación térmica, el 34% a hidráulicas y el 3% a unidades de origen solar y eólico. Respecto a los Recursos Energéticos Renovables (RER) no convencionales, en el SEIN se dispone de 96 MW de origen solar, 240 MW eólico y 80 MW correspondiente a biomasa y biogás.

La producción de energía eléctrica, tuvo un crecimiento promedio anual de 7% entre los años 2005 a 2015, las centrales térmicas presentaron un crecimiento promedio anual de 12%, debido a que el principal combustible en la generación térmica es el gas natural. De esta manera en el año 2015, la generación térmica tuvo una participación del 50% de la producción total de electricidad.

Las unidades hidráulicas crecieron a una tasa media anual de 3% y su participación en la producción total de energía eléctrica fue de 48% mientras que la generación RER no convencional (solar y eólica), participó con el 3%. Para los próximos años se espera un importante crecimiento en la generación de origen hidráulico, debido al reciente ingreso al SEIN de 480 MW de centrales hidroeléctricas.

El consumo nacional de energía eléctrica en el año 2015, conformado por la energía utilizada por los usuarios del mercado eléctrico y por la energía generada para uso propio (auto productores), se incrementó en 5% respecto al año 2014, y su crecimiento medio anual entre 2005 y 2015 fue de 7%. Respecto a la potencia instalada, sobre la base del anuario estadístico de Perú del año 2015, se indica la potencia generada por fuente con un total de 12.189 MW, (véase gráfico 20). Por otra parte, la demanda de energía eléctrica de la industria minera fue de 36% del total (véase gráfico 21).

Gráfico 20
Potencia instalada por fuente en Perú, sobre un total de 12.189 MW, 2015
(En porcentaje)

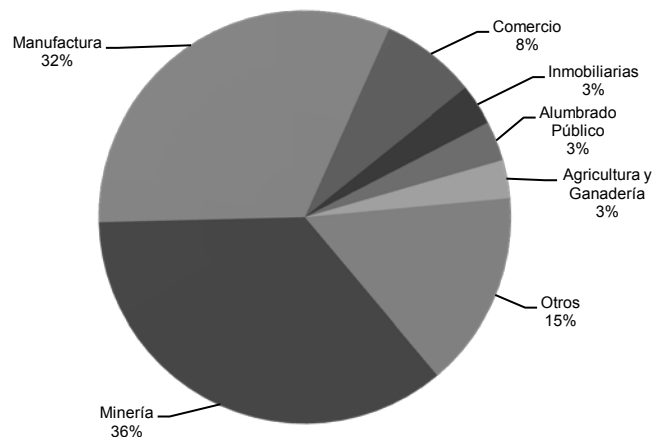


Fuente: Sobre la base de datos del Anuario estadístico de electricidad 2015, Ministerio de Energía y Minas del Perú 2016.

<http://www.osinergmin.gob.pe/sig/Documentos%20Institucionales/Plan%20Estrategico%202015-2021.pdf>

⁴¹ Evolución de indicadores del sector eléctrico 1995-2015, Dirección General de Electricidad de Perú, diciembre 2015.

Gráfico 21
Venta de energía eléctrica por actividad CIU en Perú, 2015
(En porcentaje)

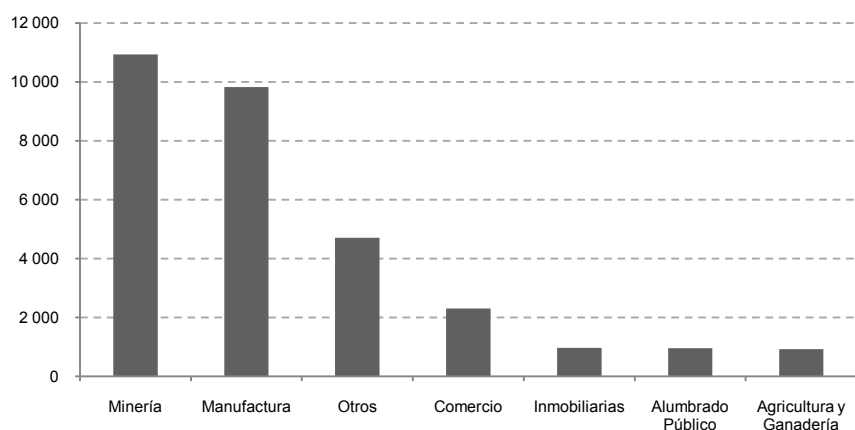


Fuente: Sobre la base de datos del Anuario estadístico de electricidad 2015, Ministerio de Energía y Minas del Perú 2016.

El precio medio total de la energía, entre el año 2005 y 2015 mantuvo un crecimiento promedio anual del 4%. Cabe precisar que en el año 2015, el incremento fue de 1% respecto al año anterior. En relación a las pérdidas de distribución, al término del año 2015 llegó a 7,5 %, porcentaje ligeramente superior al obtenido en el 2014 de 7,4%. En los gráficos siguientes se puede apreciar la importante participación del sector minero en el consumo eléctrico demostrando el impulso que representa el sector en el consumo eléctrico.

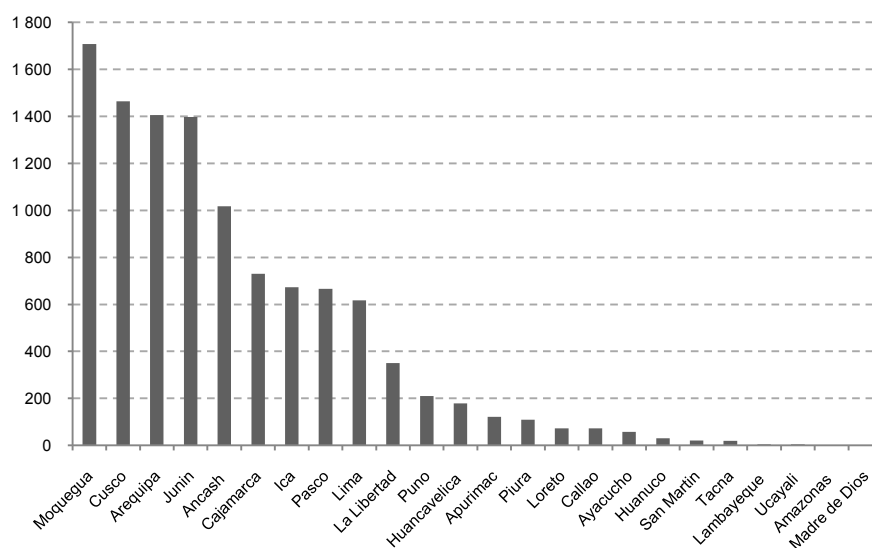
Respecto al consumo de energía eléctrica en la actividad minera, se observa que el mayor consumo lo representan los departamentos de Moquehua, Cusco, Arequipa y Junin, que lideran la venta a la industria minera, con una producción polimetálica en su oferta de metales (véase gráficos 22 y 23).

Gráfico 22
Venta de energía eléctrica por actividad CIU en Perú, 2015
(En GWh)



Fuente: Sobre la base de datos del Anuario estadístico de electricidad 2015, Ministerio de Energía y Minas del Perú 2016.

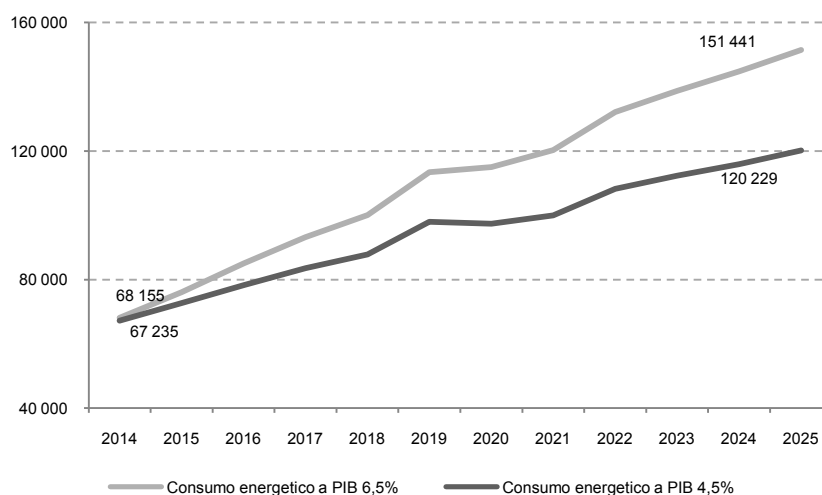
Gráfico 23
Venta de energía eléctrica para la minería por departamentos en Perú, 2015
(En GWh)



Fuente: Sobre la base de datos del Anuario estadístico de electricidad 2015, Ministerio de Energía y Minas del Perú 2016.

La estimación de la demanda energética fue realizada sobre la base de la cartera de proyectos del año 2014, y considera una variedad de 37 proyectos que incluyen ampliaciones de producción y nuevos proyectos. El horizonte de estimación se define para el año 2025, considerando dos escenarios de crecimiento del PIB, el primero a una tasa promedio de 4,5%, y el segundo a 6,5%. Se espera un incremento máximo en la demanda energética (con PIB promedio 6,5%) de 2.664 MW, en donde el de mayor relevancia es el proyecto de Ampliación Cerro Verde, que demandara 437 MW, luego los proyectos Toromocho-Chinalco con 216 MW y Queballeco-Angloamerican con 200 MW (véase grafico 24).

Gráfico 24
Proyección de consumo final de energía en la industria minero metalúrgico del Perú,
considerando un crecimiento del PBI de 4,5% y 6,5%, 2014-2025
(En terajoule)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de los datos del Plan energético Nacional 2014-2025, Ministerio de Energía y Minas del Perú.

Según la política energética Nacional del Perú, el DS #064-2010 estableció entre sus principales objetivos desarrollar una matriz energética diversificada, enfatizando la eficiencia energética y las fuentes renovables, permitir el acceso universal y que el desarrollo del sector sea amigable con el medioambiente, incluyendo bajas emisiones de gases efecto invernadero, entre otras.

El desarrollo de la energía hidroeléctrica, tiene mayores posibilidades en la Vertiente Atlántica (con un potencial sobre los 60.000 MW) en comparación con la del pacífico (con un potencial mayor a 8.000 MW). La alternativa Eólica se presentaría en el litoral, por efectos climáticos debido al anticiclón del pacífico y la cordillera de los andes, que genera vientos provenientes del suroeste en toda la costa⁴².

Respecto a la energía solar, los niveles de radiación solar que se presentan en el país, hacen factible la implementación de esta tecnología, muy útil en zonas aisladas. Sobre la energía geotérmica, desde los años setenta se han realizado estudios, que han concluido que en seis regiones del país existen campos geotermales que tienen un potencial significativo para aportar a la matriz energética.

En relación a la biomasa, se estima que los desechos agroindustriales, se podrían obtener fuentes de gas (en menor cantidad) y biomasa para sustentar centrales de generación, esto enfocado principalmente a los residuos en plantas de procesamiento de caña de azúcar, cascara de arroz, algodón, espárragos, trigo y forestales que provienen de aserraderos.

Para el 2013, en el Perú existían 18 yacimientos en bases sedimentarias con posibilidades de producir hidrocarburos (gas natural y petróleo), de acuerdo con los contratos entre privados y el Estado. El Perú cuenta con plantas de procesamiento y almacenamiento de hidrocarburos como el Oleoducto Norperuano y el sistema de transporte del Gas de Camisea.

⁴² Atlas Eólico del Perú, 2008.

II. Presentación de casos de estudio

El objetivo principal del capítulo es relevar los casos de estudios en los países seleccionados (Chile y Perú), donde se concretaron buenas prácticas en la utilización eficiente del agua y/o la energía. En los países elegidos, se presentan los casos en la gran minería del cobre de Chile y pequeña minería del oro en Perú.

A. Justificación

Los productos comerciables de la explotación de los recursos minerales van desde material rocoso con una cierta ley económica, cruzando por concentrados, hasta llegar a metales refinados de primera calidad. Cada uno de estos productos está asociado a la capacidad de quien los explota, para alcanzar un producto comerciable. Para la extracción de minerales en roca dura, se han establecido los procesos mina de perforación, tronadura, carguío y transporte. A ellos les siguen los procesos de conminución, clasificación y concentración. Posteriormente, continúan los procesos de fundición y refinación, si es que la obtención del producto final comerciable de interés lo requiere. Otra línea de beneficio, es la hidrometalurgia con lixiviación, extracción por solventes y electro obtención para obtener cátodos de cobre.

Los tratamientos en plantas de beneficio de minerales como el oro y cobre, tienen distintos procesos asociados; sin embargo, como se muestra en el capítulo anterior, el uso del agua en otros sectores de la economía (agricultura) es comparativamente mayor que en la explotación minera, en donde la flotación es el proceso de mayor utilización de agua. Por otra parte, en el ámbito de la energía el proceso de conminución es el de mayor consumo junto con la electro-obtención siendo procesos ampliamente usados en el beneficio de los minerales.

B. Procesos mineros—esquemas generales asociados a los casos de estudio

Los procesos en las explotaciones mineras y plantas de beneficio de los minerales metálicos, dependen de las características de las formaciones geológicas de emplazamiento. Consecuentemente, los procesos de enriquecimiento secundario de los yacimientos determinan las composiciones

mineralúrgicas del material extraído in situ. Todo ello incide en los procesos de beneficio para conseguir el producto comerciable.

Las cantidades contenidas del mineral de interés en el macizo rocoso, se presentan en proporciones bastante menores; por ejemplo, en el caso del cobre tiene leyes en porcentaje que son normalmente menores de 1% del contenido en roca mineralizada, o contenidos de gramos por toneladas (u onzas por tonelada) del oro y plata. Para lograr el producto comerciable desde su forma natural en el macizo rocoso, se realiza el proceso de conminución, que tiene como objetivo disminuir el tamaño de partículas para liberar el mineral de interés, de manera de poder clasificarlo y concentrarlo, mediante procesos de beneficio, y así obtener un producto comerciable.

Tanto el cobre como el oro, están emplazados en la corteza terrestre, normalmente en la zona supergena⁴³ de enriquecimiento secundario, el cobre se encuentra en forma de sulfuros secundarios y más cercanos a la superficie como óxidos de cobre, en tanto el oro, está asociado a procesos hidrotermales en zonas cercanas a volcanes o arcos continentales activos, y según las condiciones de clima, relieve, meteorización y transporte (fluvial, viento, hielo u otros) se definen las características de sus yacimientos. Cuando las zonas geográficas presentan baja meteorización y poco transporte, los yacimientos auríferos pueden presentarse en vetas, brechas, lentes masivos o stockworks⁴⁴. Los “placers auríferos” se presentan en zonas donde la meteorización y el transporte son mayores, al punto de generar estas concentraciones anómalas y superficiales de oro.

En relación al cobre, las características principales de los yacimientos de óxidos del mineral, es que se encuentran a poca profundidad, son cuerpos masivos, y se pueden explotar superficialmente sacando o extrayendo una capa de roca estéril, que se conoce como sobre carga o *pre striping*, para luego encontrar la roca mineralizada. Respecto al oro, cuando se encuentra en cuerpos vetiformes, normalmente es más rentable (“seguir la veta”) en una explotación subterránea.

Al profundizar en la corteza terrestre, se encuentra la zona hipógena, que está bajo los niveles freáticos, como también, bajo los sulfuros secundarios. En dicha zona se encuentran los sulfuros primarios de cobre, que para lograr el producto comerciable, una vez extraídos de la explotación minera, se inician los procesos de conminución asociado a equipos de chancado, seguido de la liberación realizado con molinos, para luego concentrar el mineral mediante celdas de flotación. Posterior al proceso de flotación el concentrado de cobre puede seguir a la fundición, en donde se obtienen los ánodos de cobre, y a continuación la refinación. Por otra parte, el proceso de beneficio puede detenerse en los concentrados de cobre, que son el producto comerciable de varias explotaciones mineras.

La conminución, es el proceso de mayor consumo de energía en las plantas de beneficio. Por esta razón, se realiza una descripción más detallada, para relevar e identificar las nociones principales de estos procesos. Una de las variables fundamentales en el proceso de conminución, es la resistencia que opone el mineral a la fragmentación, que afecta la razón de reducción, como también, la elección del tipo de equipo para el trabajo requerido.

La primera etapa de conminución, parte en la mina con la tronadura, luego sigue el chancado primario, que normalmente define el término de la denominada etapa mina. La etapa de planta de

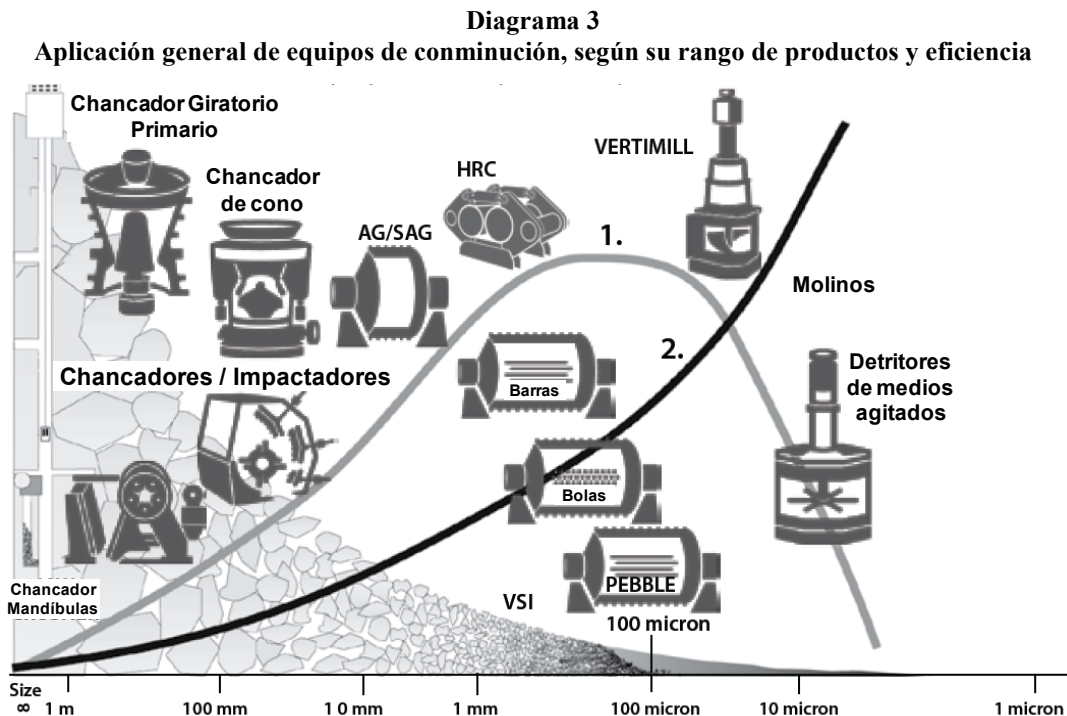
⁴³ Proceso de reequilibrio de la mineralogía hidrotermal a las condiciones oxidantes cerca de la superficie terrestre.

⁴⁴ Lentes masivos son depósitos epitermales en que la mineralización que ocurrió dentro de 1 a 2 Km. de profundidad desde la superficie terrestre y se depositó a partir de fluidos hidrotermales calientes. Los depósitos de alta sulfuración dan paso a yacimiento con este tipo de geometría, que se dan en un marco geológico subvolcánico a volcánico en calderas, complejos de domos de flujo, raramente en maars, bordes de diatremas y otras estructuras volcánicas; a menudo relacionados con stocks subvolcánicos, diques y brechas. Los pórfidos se conocen con muchos nombres, entre otros yacimientos diseminados (disseminated molybdenums) o Stockworks. Generalmente, los yacimientos del tipo pórfido afloran en márgenes continentales destructivos, especialmente en zonas de subducción (Albino, (1994); Berger, (1986); Henley, (1991); Heald, Foley and Hayba, (1987); Mosier y Menzie, (1986); Panteleyev, (1991); Sillitoe, (1993); White, (1991); White y Hedenquist, (1990)).

beneficio se inicia con el chancado secundario, pudiendo llegar hasta la etapa cuaternaria, que operan en seco (sin agua). Posteriormente, según un circuito habitual, se sigue con la molienda, que sería la última etapa de conminución mecánica. Ésta opera con pulpas, y una vez logrado los tamaños finos, transitan a los procesos físico-químicos de beneficio del mineral (hidrometalurgia o concentración).

El material proveniente de la mina tiene una granulometría variada, por lo que el objetivo de las etapas de chancado es obtener un tamaño uniforme máximo de media pulgada (1,27 cm). El proceso principalmente es triturar la roca mediante tensión, compresión, impacto, atrición y cizallamiento, y las superficies donde se realiza esta acción están construidas en aleaciones especiales de acero de alta resistencia.

La reducción del tamaño de la partícula debe lograr liberar el mineral de interés, esto se consigue normalmente en intervalos de tamaño de 100 a 10 micrones, luego, con el objetivo de maximizar el valor de la reducción de tamaño de minerales, se pueden dar una serie de combinaciones de chancado y molienda, según cada caso específico (véase diagrama 3).



Fuente: Fundamentos en el procesamiento de minerales, METSO 2015.

Según las necesidades, existen varios tipos de chancadores, que se dividen por el tamaño de fragmentación de roca. Para rocas de gran tamaño están los de tipo mandíbula y giratorios. Luego, para fragmentación intermedia, los de tipo cono y rodillo. Los de fragmentación de tamaño pequeño son de tipo rodillo, de martillos e impactadores de eje vertical. Todos los equipos de reducción de tamaño, tanto chancadores como molinos, tienen una relación diferente entre el tamaño de alimentación y descarga, a esta relación se le conoce como “razón de reducción”, que es limitada en cada uno de los equipos, por lo que existe una razón de reducción global que se logra a través de etapas.

Por ejemplo, para el caso que se necesite reducir un tamaño de roca $F_{80}^{45}=400$ mm (desde la voladura de rocas de la mina), hasta un tamaño deseado $P_{80}^{46}=16$ mm, para alimentar al molino. Luego, la razón de reducción total será $R=F_{80}/P_{80}=400/16=25$ (Portal Minero, 2006).

Razón de reducción etapa primaria $R1 = 3$

Razón de reducción etapa primaria $R2 = 4$

Razón de reducción en 2 etapas de chancado: $R1 \times R2 = 3 \times 4 = 12$.

Aun no es suficiente para alcanzar la razón de 25. Luego, se necesita una tercera etapa de chancado. Debido a que se deben utilizar 3 etapas, se le puede dar flexibilidad a la línea de chancado, disminuyendo la razón de chancado secundario de 4 a 3, esto es posible porque se puede regular el *close side setting* de salida de los chancadores, lo que puede hacer más eficiente la utilización del equipo. Considerando la última etapa con una razón $R3=3$, de lo anterior quedaría lo siguiente:

Las Razones $R1 \times R2 \times R3 = 3 \times 3 \times 3 = 27$, con que se logra sobrepasar la razón deseada de 25.

Típicamente, el valor de eficiencia en las plantas de chancado-molienda, es bajo 100 micrones, lo que equivale a malla 150 (número de malla de Tyler⁴⁷). Habitualmente el número de etapas de chancado se reduce dependiendo del tamaño de alimentación que acepta en la de molienda primaria.

Según la “ley de Bond” (Bond, 1952), se establece a través del W_i el consumo específico de energía por tonelada:

$$E = 10 \times W_i / \{ (1/(P_{80})^{1/2}) - (1/(F_{80})^{1/2}) \} \quad (1)$$

Donde

E: Es el consumo específico de energía del chancador [kWh/T]

W_i : Es el índice de trabajo de Bond [kWh/T]

F_{80} : Diámetro de partículas de entrada [micras]

P_{80} : Diámetro de partículas de salida [micras]

Debido a que es una ecuación aplicada a los molinos, en algunos estudios la han ajustado para la aplicación en los equipos de chancado de la siguiente forma: chancadoras de mandíbula 2 veces la energía necesaria; chancadoras giratorias 1,6 veces, y para los chancadoras cilíndricas 1,3 veces.

Otra forma de comparar la eficiencia es el cociente entre energía unitaria de trituración, Kwh/TC , y el radio de reducción, $R_{ri}=F_{80}/P_{80}$. Con este criterio, es posible concluir el principio básico de que la energía es más eficiente empleada en las etapas de chancado frente a la siguiente de molienda.

La molienda es otra etapa de la conminución, posterior al chancado, la que reduce el tamaño a partículas finas, con una granulometría máxima de 180 micrones (0,18 mm), la que permite la liberación de gran parte de los minerales metálicos en forma de partículas individuales y recuperables por procesos posteriores de beneficio. Éstos, son grandes equipos giratorios de forma cilíndrica que se

⁴⁵ El F_{80} significa que el 80% del tamaño de pasante es menor a los 400 mm en la alimentación hacia el chancador (u otro equipo), en la curva granulométrica.

⁴⁶ El P_{80} significa que el 80% de tamaño del pasante es menor a los 16 mm en la salida del chancador (u otro equipo), en la curva granulométrica.

⁴⁷ El tamizaje con mallas de alambre tejido es un método para determinar la distribución de tamaños en muestras de minerales, muestras de relaves u otros materiales. Los alambres se tejen de manera de formar aberturas cuadradas y el número de aberturas que existen en una pulgada en la dirección de los alambres se utiliza para especificar el número del tamiz. El número de tamiz determina la dimensión de la abertura, además es necesario conocer el espesor de los alambres. Las series estándar de tamices, especifican las dimensiones de las aberturas. Algunas series de tamices bien conocidas son la serie U.S.A. Estándar (ASTM) y la Tyler Estándar.

clasifican en tres esquemas diferentes de molienda: convencional, unitaria y semi autógena (SAG). En esta etapa se agrega agua suficiente para formar un fluido, y normalmente, los aditivos necesarios para los procesos de beneficio aguas abajo (Portal Minero, 2006).

Este proceso es el que consume mayor cantidad de energía en la conminución. Por esta razón, ha habido un desarrollo tecnológico para lograr una mejor eficiencia energética, a través del rediseño de equipos, considerando entre lo más relevante el gigantismo, el que permite moler una mayor cantidad de mineral.

La molienda convencional se realiza a través de molinos que utilizan bolas, en circuitos cerrados con clasificadores hidráulicos, para la molienda fina de minerales, en etapas únicas o múltiples, integrados con molinos de barra o molinos SAG. Su principal ventaja en líneas chancado-molienda, es su menor consumo energético en comparación al SAG o a molienda autógena.

Los molinos de barra son cilindros metálicos que utilizan en su interior barras de acero de 3,5 pulgadas de diámetro. Para evitar que las barras se enreden con la carga, la razón de longitud/diámetro se mantiene entre 1,4 a 1,6. Su alimentación de entrada es de tamaño máximo de 50 mm o 2 pulgadas, y entregan un producto de tamaño entre 3.300 a 300 micras (-6M a -48M). La longitud máxima de la barra se limita a 6,1 m, operan a menor velocidad que los de bolas, debido a que las barras sólo ruedan y no se levantan para caer en cascada como las bolas. La velocidad periférica de este molino se encuentra generalmente entre los 280 a 480 pies/min.

La velocidad operacional de un molino de barras está determinada por la velocidad periférica de la carga dentro del molino. Se definen las siguientes variables (Portal Minero, 2006):

$$PS = 3.14 \times D \times RPM$$

Donde

PS = velocidad periférica (pies/min)

D = diámetro interno del molino (pies)

RPM = velocidad operacional del molino en revoluciones por minuto (rpm)

Estos molinos trabajan con un volumen de carga entre el 35% y 65%. Los límites en el nivel de carga son fijados por el nivel de la abertura del trunnion⁴⁸ de descarga del molino y por el nivel de carga máxima que no provoque que las barras adentro del molino se enreden. La regla general de estos equipos es funcionar a máxima velocidad de rotación que la operación permita para obtener el tamaño deseado en la producción de descarga.

Los Molinos de bolas son cilindros metálicos, cuyas paredes están revestidas con corazas de aleación acero cromo-manganeso mejoradas, sus dimensiones interiores son hasta de 16 pies x 24 pies (4,9 m de diámetro x 7,3 m de largo). El 36% de su capacidad interior está ocupada por bolas de acero de entre 1 hasta 4 pulgadas de diámetro, y el 80% del material es reducido a tamaño máximo de 180 micrones. Su velocidad habitual está entre 4 a 20 rpm dependiendo del diámetro, a mayor diámetro menor es su velocidad. El rango de la velocidad crítica es cuando la fuerza centrífuga hace que las bolas se adhieran al cilindro del molino. Utilizan como clasificador un hidrociclón⁴⁹, aunque se reconocen en algunas aplicaciones con clasificadores como harneros, de espiral y de aire. Su acción de molienda la realiza por el efecto cascada de las bolas de acero, que cayendo desde una altura

⁴⁸ Los molinos relacionados con las faenas mineras presentan estructuras de soporte llamados trunnions.

⁴⁹ Hidrociclón: su función es la separación de sólidos suspendidos en la pulpa de alimentación, el flujo de descarga lleva sólidos en suspensión más gruesos que un determinado tamaño de corte, mientras que el flujo del rebose lleva los sólidos en suspensión con tamaño fino.

determinada producen el efecto de molienda y reducción de tamaño por efecto del impacto contra el mineral mezclado con el agua (pulpa).

Actualmente son utilizados en forma regular para molienda primaria y remolienda de los concentrados rougher⁵⁰ de la flotación primaria y su velocidad crítica es calculada de la siguiente forma (Portal Minero, 2006):

$$CS = 76.63 / (D)^{1/2}$$

Donde:

CS = velocidad crítica de un molino (rpm/pies)

D = Diámetro interno del molino (pies)

La velocidad crítica se utiliza para determinar la velocidad de funcionamiento ideal del molino de bolas. Están diseñados para moler mineral hasta ¼ de pulgada y llevarlo a un tamaño de partícula entre 20 a 75 micrones. Para obtener una eficiencia razonable, estos equipos se operan en circuitos cerrados, con recirculación del sobre tamaño.

Existen softwares que permiten simular y evaluar el proceso de conminución, que son diseñados por proveedores, compañías especializadas y centros de investigación de universidades o institutos tecnológicos. Basados en modelos matemáticos y algoritmos, se aplican en modernos centros de control, para estimar requerimientos energéticos o las inversiones necesarias, sin necesidad de costosos ensayos en planta.

Se puede realizar un uso eficiente de la energía en conminución, fundamentado sobre la base de diversos estudios, que han concluido que es más eficiente la energía utilizada en las etapas de chancado que en las de molienda. Además, éstos identificaron los insumos con mayor incidencia en los costos de la operación: i) energía, ii) revestimientos, y iii) medios de molienda. Como también, la incidencia de los medios de molienda (bolas) y los revestimientos como consecuencia directa de la energía aplicada, y a su vez, la consecuencia directa de la granulometría del mineral que entrega la etapa del chancado.

Según el tipo de molienda, los costos de energía van desde el 49% (molino de bolas secundario) al 63% (molino autógeno); luego, los medios de molienda entre un 0% (molino autógeno) hasta 45% (molino de bolas secundario), y los revestimientos desde un 6% (molino de bolas secundario) hasta un 40% (molino de pebbles secundario), (Portal Minero, 2006).

Cobre: sulfuros de cobre

Como se ha mencionado, el proceso de los sulfuros de cobre, sigue las operaciones unitarias mina: perforación, tronadura, carguío, transporte y chancado primario, luego en la etapa de la planta de beneficio, puede seguir etapas de chancado, desde secundaria hasta cuaternaria, siguiendo la molienda con molinos de bolas, o puede seguir otra configuración, pasando desde el chancado primario directo a un molino SAG en circuito cerrado hasta alcanzar el tamaño deseado o con un molino de bolas para el sobre tamaño del SAG, sin embargo, según las características mineralúrgicas y las capacidades de tratamiento, existen distintos tipos de configuración para la conminución.

También, se puede extraer de los relaves (de concentrados), una cantidad importante de agua, mediante el proceso de clarificación y espesamiento, con equipos denominados espesadores, que ayudados con aditivos químicos como los floculantes, decantan las partículas sólidas, con la consiguiente recuperación de agua por rebalse, que es reutilizada en el proceso de la planta, mientras que los relaves “secos”, son depositados en tranques acondicionados para este tipo de desecho.

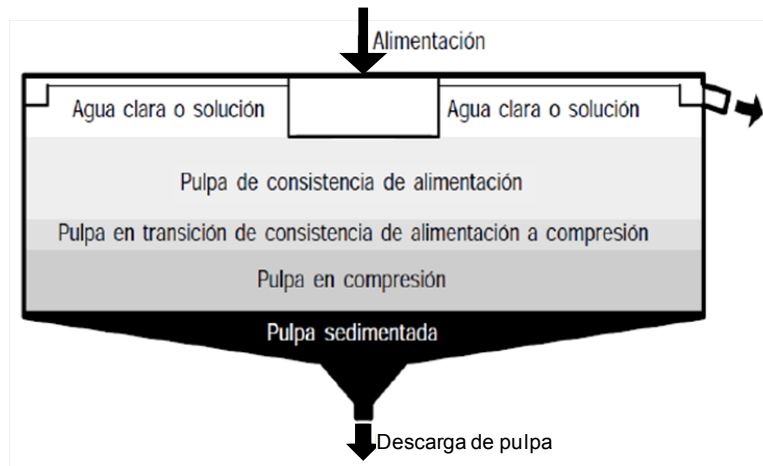
⁵⁰ La flotación rougher (o primaria) es la que maximiza la recuperación, o estrictamente dicho, produce un relave lo más desprovisto posible de las especies de interés.

Proceso de espesamiento: Los productos de la flotación contienen habitualmente entre un 50% y 70% de sólidos. Gran parte del agua contenida en las pulpas producidas por la flotación es retirada en los espesadores de concentrado y cola, los que realizan simultáneamente los procesos de sedimentación y clarificación. El producto obtenido en la descarga de los espesadores de concentrado puede contener entre 50% y 65% de sólidos. El agua remanente en estos concentrados espesados es posteriormente retirada mediante filtros hasta obtener un valor que va desde un 8% hasta un 10% de humedad en el producto final⁵¹.

Por otra parte, existen variados equipos (espesadores) según las necesidades y tipos de pulpas que se generan en los distintos tipos de industrias. En las plantas de beneficio de la gran minería, habitualmente se utilizan los espesadores (véase diagrama 4).

Espesador convencional: es el espesamiento continuo para dar la concentración de sólidos requerida en el flujo inferior, que depende del equilibrio del caudal de sólidos volumétricos a una concentración crítica con el diámetro del equipo espesador. El Dimensionamiento del espesador está basado en el área unitaria, definida como m^2 de área de espesador requerida por toneladas por hora (tph) de sólidos (METSU, 2015).

Diagrama 4
Esquema general de un equipo de espesamiento



Fuente: Fundamentos en el procesamiento de minerales, METSU 2015.

Una variable relevante es el torque que se necesita para mover los rastrillos de los espesadores, que por distintos motivos operacionales pueden variar, y cuando llegan a un umbral podría significar riesgo de malfuncionamiento del equipo, e incluso llegar a detenerse con el objeto de proteger el equipo. El torque se monitoriza electrónicamente, y cuando aumenta es un signo de que la carga de sólidos en el espesante puede estar aumentando. Esto podría indicar un problema de proceso (cambio en la alimentación, desbordamiento bloqueado, u otros). En todos estos casos hay que proteger los rastrillos y el accionamiento.

⁵¹ Proceso de flotación, nivel técnico–universitario, CODELCO. https://www.codelcoeduca.cl/procesos_productivos/tecnicos_flotacion.asp.

Oro: Métodos con cianuración

Dependiendo de las menas y los minerales asociados al oro, normalmente se pueden incluir tanto óxidos como sulfuros al proceso de lixiviación por cianuración; sin embargo, existen algunas proporciones de oro refractario, que hace ineficiente este proceso. Las causas principales del oro refractario son: i) la encapsulación física de partículas de oro diseminado, dentro de un mineral no reactivo e inmune a la lixiviación, y ii) la interferencia química por uno o varios de los componentes en el proceso de lixiviación con cianuro.

Para mitigar la encapsulación física, mediante un análisis mineralúrgico, el oro en minerales sulfurosos puede liberarse mediante oxidación usando técnicas como tostación, lixiviación a alta presión y temperatura o lixiviación bacteriana. Por otra parte, se puede requerir de la conminución (chancado y molienda) para lograr un tamaño de partícula que pueda liberar el oro encapsulado en sulfuros.

El proceso de lixiviación con cianuro por agitación

Este proceso se inicia habitualmente, posterior a una conminución de la mena, que debe lograr una granulometría adecuada para el proceso, luego la lixiviación se realiza en el interior de estanques con capacidad para agitar las soluciones, cuyo volumen es determinado en función del tiempo de residencia, que se define a través de ensayos de laboratorios. La agitación puede ser mecánica, mediante el insuflado de aire (Ellis y Senanayake, 2004), o mediante la aplicación de ambas (Marsden y House, 1992). Se han establecido una serie de reacciones químicas, que generan la disolución del oro en las soluciones de cianuro. Existe un consenso en que la reacción global de la disolución es:



La provisión de los reactivos está dada normalmente por la adición de cianuro de sodio y la cal en la etapa de molienda. Este es un sistema simple, debido a que el oro se disuelve con facilidad, manteniendo y controlando ciertas condiciones en la reacción, como por ejemplo que el oro esté libre y limpio, se mantenga un nivel adecuado de oxígeno en la solución durante todo el proceso, así como evitar impurezas en la solución de cianuro que inhiban la reacción.

Precipitación con Zinc: luego de cumplido el tiempo de estadía en los tanques de lixiviación por agitación, sigue el proceso convencional CCD (counter current decantation) o decantación en contra corriente y filtración, en donde a la pulpa se le separa de los sólidos por decantación y sucesivos lavados en contracorriente, para inmediatamente después ser filtrada. El producto de los filtros es una torta con un 10% de humedad, la que es conducida a los tranques de cola, previa neutralización del cianuro. El otro producto de la filtración logra una solución rica en oro, la cual es clarificada, des-aireada, para la recuperación del oro a través de su precipitación con polvo de zinc fino. Cuando la solución contiene un exceso de cianuro, esto provoca un consumo elevado de zinc; en el caso que contenga un exceso de cal, tiende a retrasar la precipitación. Para evitar esta situación se debe añadir acetato de plomo para acelerar la precipitación del oro, lo que da lugar a una precipitación más rápida y menor consumo de zinc. Una vez terminada esta etapa, inicia la fusión, donde el producto resultante son barras de metal doré.

Adsorción con carbón activado: en este tipo de recuperación, los átomos de la superficie del carbón atraen y retienen moléculas de compuestos e iones que contienen el oro. Se debe tener en cuenta que cada materia prima le da características y calidades distintas al producto. Existen dos métodos de activación: i) La activación térmica, es la carbonización de un material orgánico como madera, cáscara de coco, entre otros, realizada a baja temperatura (400°C) para que no se favorezca la grafitación. ii) La activación por deshidratación química sólo puede aplicarse a ciertos materiales orgánicos, relativamente blandos y que están formados por moléculas de celulosa, como la madera.

Según Cárdenas (1994), la relación Ag/Au contenida en las pulpas es relevante, dado que cuando dicha relación es demasiado alta, mayor que 12, no es recomendable la aplicación para recuperar los metales una vez disueltos, debido a la competencia de la plata con el oro por la adsorción sobre el carbón activado en algunos procesos.

Extracción por Solventes: Consiste en la extracción del anión cianuro de oro que se encuentra en una solución de cianuración, mediante la adición de un solvente orgánico (receptor) el cual es inmisible en la fase acuosa. Generalmente, en este proceso las fases orgánicas y acuosas, fluyen a contracorriente y son introducidas por la parte inferior del mezclador, donde se lleva a cabo la transferencia del anión de cianuro de oro. Posteriormente esta mezcla homogénea es descargada en un separador, y por diferencia de densidades, la fase orgánica portadora del anión de oro, es separada de la fase acuosa o licor de cianuración agotado. La fase orgánica resultante es mezclada con una solución acuosa, que debe tener la propiedad de extraer el anión de cianuro de oro y a la vez regenerar la fase orgánica. Esta solución acuosa es un electrolito concentrado y libre de impurezas; mediante procesos específicos (electrólisis, precipitación, u otro) obtiene como producto un metal de alta pureza.

Los equipos, procesos y procedimientos indicados en este capítulo, indican en términos específicos, cómo se desarrollan las actividades mineras en algunos de los procesos de una planta de beneficio “habitual” de minerales como el cobre y oro. Al final de este análisis se concluye que no existe algún equipo o proceso a escala industrial con una tecnología nueva e innovadora que reemplace a los expuestos. Lo más probable es que en el mediano plazo se observen mejoras en los sistemas motrices, que sean más eficientes y de menor consumo; en los materiales utilizados para la elaboración de los equipos, perfeccionamiento de la infraestructura y diseño de las plantas; mayor sofisticación en los procesos y procedimientos debido a los modelos o herramientas de control telemático, basados en la data e información de tiempo real (Big Data) obtenida por instrumentación/sensores de los mismos equipos y procesos productivos, como se verá en el caso de estudio de Chile.

C. Presentación Caso de estudio en Chile, CODELCO

La Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO), es una empresa de propiedad del Estado chileno creada en 1976. Se especializa en la exploración, desarrollo y explotación de recursos mineros de cobre y subproductos, incluyendo su procesamiento hasta convertirlos en cobre refinado, y su posterior comercialización. Además, todas sus acciones están fiscalizadas por la Contraloría General de la República y la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO).

En la actualidad está conformada por ocho (8) Divisiones: División Chuquicamata, División Radomiro Tomic, División Ministro Hales, División Gabriela Mistral, División Salvador, División Ventanas, División Andina y División El Teniente. CODELCO realiza actividades de exploración en el ámbito nacional e internacional para mantener y expandir su base minera. Todas las exploraciones de CODELCO, se realizan de acuerdo a los estándares y compromisos corporativos (responsabilidad social corporativa) y las legislaciones locales.

Los principales productos comerciables son los cátodos y concentrados de cobre, concentrado de molibdeno tostado, barros anódicos y como subproductos oro, plata y ácido sulfúrico. El volumen de ventas de cobre en el año 2015 alcanzó un total de más de 2 millones de toneladas, de las que un 66% correspondió a cobre refinado, y su destino se distribuyó en 64% en Asia, 15% en Europa, 11% en Sudamérica, 9% en Norteamérica, 1% África y 1% en Oceanía.

CODELCO cuenta con un sistema de gestión integral, y dentro de sus políticas corporativas ha definido la Política Corporativa de Sustentabilidad⁵², su numeral 2 es “Cuidar el medio ambiente”, y se describe como: “Gestionar de manera preventiva y transparente los riesgos medioambientales, cumpliendo la normativa, considerando los efectos del cambio climático, aumentando la eficiencia hídrica y energética, disminuyendo el consumo de agua continental y la emisión de gases y material particulado”.

⁵² Política Corporativa de Sustentabilidad, CODELCO. https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/artic/20160609/asocfile/20160609115040/politica_corp_sustentabilidad_2016.pdf.

Tiene estándares⁵³ asociados a la política, unificando las cuestiones ambientales y comunitarias. De los 11 estándares, 8 son ambientales y 3 comunitarios. Los estándares que son directamente relevantes para este estudio, son el número 2 de la eficiencia energética y cambio climático, y su principio es la gestión energética que optimice tanto física como económicamente el uso de la energía, considerando la eficiencia energética y energías renovables, contribuyendo a la mitigación de los efectos del cambio climático y promoviendo medidas de adaptación a este último.

El estándar número 3 se vincula a los recursos hídricos y RILes⁵⁴, y su principio es el aseguramiento de la gestión sustentable del recurso hídrico actual y futuro, para las operaciones, proyectos y negocios, considerando los aspectos territoriales y los impactos ambientales y sociales asociados. De forma indirecta los estándares número 1 de emisiones a la atmósfera, el 5 de residuos mineros masivos y el 4 de residuos sólidos, podrían impactar de forma positiva en el uso eficiente del agua y la energía.

Cada estándar cuenta con un principio, criterios asociados e indicadores estratégicos. Los criterios del estándar 2 sobre la gestión de la energía son la reducción de la intensidad energética y la optimización de su uso en los procesos productivos incluyendo los criterios de eficiencia energética; uso de energías renovables y combustibles alternativos; promoción de estrategias específicas de adaptación al cambio climático y el potenciamiento del uso del cobre en soluciones energéticas bajas en emisiones de carbono. Los indicadores asociados son la intensidad energética por proceso y las emisiones de GEI (gases efecto invernadero).

Los criterios del estándar 3 son la cuantificación, catastro y monitoreo de fuentes de recursos hídricos subterráneos y superficiales, catastro de captación y derechos de agua, catastro de descargas con su caracterización físico-química y microbiológica respectiva, mantener el balance de agua de los procesos, de las divisiones y de los distritos mineros. Su criterio de gestión de impacto, se encarga de identificar y evaluar opciones de uso eficiente de agua, captar los recursos de acuerdo al plan de explotación de agua, sobre la base de modelos hidrológicos e hidrogeológicos con concepto de cuencas; reducir y mejorar en todas sus formas los RILes.

El criterio de anticipar el futuro se encarga de contar con un balance de agua de la cuenca con modelos actualizados en fuentes de acuíferos y cuerpos receptores de infiltración, incorporar en la planificación variables de disponibilidad y restricción del agua, evaluar impactos en las comunidades y ecosistemas asociados en torno de las operaciones de nuevos recursos hídricos, y finalmente contar con un catastro y monitoreo de los glaciares que se encuentren en el área de influencia de las operaciones (proyectos, exploración y explotación).

En el año 2016, la empresa invirtió US\$ 496 millones (valor nominal), en distintas iniciativas relacionadas con el medioambiente, salud y seguridad ocupacional, mejoras en la captación de gases, tratamiento de escorias, manejo de relaves y otros proyectos de innovación.

Para marcar una tendencia, el año 2016 lanzó su Plan Maestro de Sustentabilidad (CODELCO, 2017a), que tiene como propósito lograr en el mercado un “sello CODELCO” que diferencie a esta Corporación por sus procesos y productos sustentables, así como su trazabilidad. Se trata de una hoja de ruta a 25 años de plazo, que pretende una transformación virtuosa en los territorios aledaños donde explotan, aspirando a la estabilidad social, evitando inequidades en las comunidades, incluyendo un diálogo permanente y efectivo. Los principales propósitos son:

- Incorporar la sustentabilidad en la visión del Plan de Negocios y Desarrollo.
- Asegurar la rentabilidad del negocio en el largo plazo.

⁵³ Estándares Ambientales y Comunitarios de CODELCO. https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/artic/20160609/asocfile/20160609115040/estandares_ambientales_y_comunitarios.pdf

⁵⁴ Residuos Industriales Líquidos, aguas resultantes especialmente de los procesos productivos industriales, idealmente tratados antes de ser vertidos al alcantarillado, lagos, ríos y mar.

- Ser un facilitador del cambio en la forma de pensar y hacer minería, de manera virtuosa, sustentable e inclusiva.

La Corporación con el propósito de mejorar procesos y compartir experiencias, está alineada voluntariamente con diversas iniciativas mundiales de carácter económico, social y medioambiental, algunas de ellas son: el principio precautorio del artículo 15 de los Principios de Río; Declaración Universal de los Derechos Humanos de las Naciones Unidas; Convenio de los Derechos del Niño de las Naciones Unidas; Carta de negocios para el desarrollo sustentable de la Cámara Internacional de Comercio; Principios del Pacto Mundial de las Naciones Unidas; Convenio N° 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) sobre pueblos originarios y tribales en países independientes y, convenios 87, 98, 100, 111 y 138 de la OIT, entre las más relevantes.

El principal desafío en la gestión del agua para el año 2020 es la reducción en el consumo de agua fresca en 10% por tonelada tratada, aumentando la reutilización, que en el año 2016 alcanzó un 75,3%, y disminuyendo el consumo, que el mismo año tuvo una disminución respecto al 2015 de 1,8%.

El sistema de gestión de energía, se enfoca en mejorar los indicadores específicos del uso de energía en los procesos para reducir el consumo, e incentiva el uso de energías limpias en futuros contratos de suministros. Su estructura se define en cuatro lineamientos: i) eficiencia energética en proyectos de inversión, ii) gestión de contratos existentes; iii) energías renovables y, iv) gestión de eficiencia energética en procesos.

D. Presentación Caso de estudio en Perú SOTRAMI

La Sociedad de Trabajadores Mineros S.A.- SOTRAMI S.A, se constituyó en noviembre de 1991, mediante la Resolución Jefatural No 1085-98-RPM del 27 de marzo de 1998, en donde adquirió un título de Concesión Minera sobre un área de 1.000 hectáreas denominada "Concesión Minera SANTA FILOMENA". Actualmente cuenta con una participación de 165 socios, y la empresa celebró un contrato de arrendamiento con la comunidad de Sancos, en donde la superficie de arrendamiento es de 15 hectáreas, que están destinadas a la explotación minera por un tiempo de 30 años.

Está ubicada al sur del Perú, en el Departamento de Ayacucho, Provincia de Lucanas, en el Distrito de Sancos, quebrada Santa Rosa, paraje de Santa Filomena. Su ubicación geográfica es Longitud Oeste 74°16'30", Latitud Sur 15°21'40" y una altitud de 2.475,38 msnm.

SOTRAMI, fue constituida sobre la base de una antigua explotación minera de nombre "Mina Santa Filomena", que era propiedad de San Luis Gold Mines Company. Actualmente, explota principalmente mineral oxidado desde la mina subterránea, que son tratados en la planta de beneficio que se encuentra aproximadamente a 12 kilómetros de distancia de la mina, para producir barras de oro por el método de agitación y desorción.

Existe una cantidad importante de vetas en el área de Santa Filomena, en donde se pueden observar afloramientos de 30 a 40 unidades, que presentan desarrollos de túneles antiguos para la extracción del oro, que van en longitud de entre 100 a 1.000 metros de largo, como también el ancho de sus potencias se encuentran en el rango de 0,10 a 0,25 metros.

La explotación se realiza con el método subterráneo de corte y relleno, y cuentan con 13 niveles de explotación. El mineral es transportado por locomotora a baterías y vagones U35, una vez llegado a la chimenea (pique), es retirado a superficie a través de un huinche, en donde se extrae la

mena y la ganga⁵⁵ restante que no se utiliza en el relleno. En total la infraestructura de los desarrollos cuenta con todos los túneles horizontales y los 4 piques de extracción.

La producción de la mina es de 1.500 toneladas de mineral por mes, con leyes promedio de 15-20 gr/ton; además, los acopiadores aportan en promedio 500 toneladas de mineral al mes. La planta de beneficio produce entre 40 a 50 kg de barras de oro por mes, con una capacidad de 150 ton/día, una ley de cabeza de 15 gr/ton y su recuperación es de 97,5%.

La alimentación de la planta considera 50 ton/día desde la mina y 17 ton/día desde los acopiadores. Este material no es suficiente para alcanzar la capacidad máxima de tratamiento de planta. Las características del material a la planta son principalmente oxidados, además, se recibe una cantidad de material sulfurado, que es mezclado con el oxidado para aumentar su recuperación y bajar o lograr la ley de cabeza de la planta.

El proceso de la planta considera dos etapas de chancado, dos etapas de molienda con molinos de bolas, logrando un material 80% bajo los 200 micrones. Luego, utilizan el método de lixiviación con cianuro por agitación, que pasan por 8 tanques durante aproximadamente 40 horas. Posteriormente, recuperan el oro de las soluciones cianuradas con carbón activado, en una proporción de hasta 8 kg de oro por tonelada de carbón. La desorción del carbón la realizan con soluciones cianuradas en caliente con la agregación de alcohol, que es precipitado electrolíticamente. Finalmente los lodos auríferos se secan y son fundidos con bórax para producir barras de oro.

Respecto al suministro energético, inicialmente utilizaban grupos electrógenos alimentados por diesel, hasta octubre del año 2015, fecha en la que realizan la conversión de fuente energética conectándose al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), que consideró la infraestructura necesaria de 20 kilómetros de líneas primarias aéreas de 30-22,9 kV, desde la Villa de Jaqui hasta la planta de beneficio. Una red subterránea de 30-22,9 kV, desde el último poste que se encuentra en frente de la propiedad, hasta el interior de la planta, y una estación tipo caseta 30-22,9/0,46-0,23 kV de 500 Kva.

La explotación minera requiere de 280 kW para su funcionamiento, lo que considera operaciones mina, oficinas administrativas y campamento. La planta de beneficio es alimentada por la línea conectada al SEIN, sin embargo, no se indican consumos específicos.

El transporte del mineral desde la mina a la planta es realizado por camiones en un tramo de 12 kilómetros en pendiente, demora aproximadamente una hora, y el consumo de diesel de los camiones es de 6.157 galones el año 2014, y 9.819 galones el año 2015.

En relación al suministro hídrico, cuenta con dos fuentes de agua, la primera a través de la compra directa con camiones aljibe y la segunda es la recuperada desde el proceso de recirculación de la cancha de relaves. Los camiones aljibes llevan el agua hacia un tanque ubicado en la zona alta del sector, permitiendo la distribución por gravedad hacia la población, los campamentos y oficinas. Una cantidad de estos camiones aljibe, llevan el agua para el uso de las operaciones mineras, aunque la principal fuente del recurso hídrico es el agua recuperada de la cancha de relaves. En el sector de la operación minera, el agua es almacena en pozos ubicados en la bocamina, que son distribuidos hacia el interior de la mina a través de cañerías. El costo asociado al agua es de 63,49 soles/m³ colocado en mina.

El consumo de agua en la explotación minera es de 50 m³/día, considerando operaciones mineras, oficinas y campamento. SOTRAMI provee agua a la población, que tiene un consumo de 15 m³/día. El consumo promedio de la planta de beneficio es de 60 m³/día.

⁵⁵ Mena: mineral metalífero, tal como se extrae de la mina antes de limpiarlo. Ganga: material sin valor que acompaña a los minerales metálicos, o mena.

E. Presentación Caso de estudio en Perú MYSAC

La minera Yanaquihua S.A.C. (MYSAC), es una empresa minera cuya actividad comercial es la explotación y beneficio de recursos minerales, que cuenta con la calificación de Pequeño Productor Minero (PPM), otorgado por el Ministerio de Energía y Minas del Perú, mediante Registro N°1188-2008 y la aprobación del estudio de impacto ambiental para las operaciones mineras metalúrgicas a escala de pilotaje de la mina Alpacay, instrumento ambiental que fue aprobado por Resolución Directoral N° 201-2001-EM/DGAA.

La unidad Productiva es Alpacay, que está ubicada en altura entre los 1.500 a 2.700 metros sobre el nivel del mar. Se localiza en el distrito de Yanaquihua, provincia de Condesuyos, departamento de Arequipa, en el gobierno regional de Arequipa.

Este es un pequeño productor de oro de Perú, que después de 15 años de diálogo y entendimiento, consiguió que la operación creciera en conjunto con los acopiadores, logrando formalizar sus procesos de minería artesanal, básicamente porque se determinó que no era una extracción económicamente rentable debido a que los contratistas mineros regulares no cuentan con técnica para evitar la dilución (mezcla de mineral y residuos) de vetas con anchos entre 5 a 10 cm. Por estas razones, deciden realizar trabajos con micro-contratistas.

Los micro-contratistas son mineros artesanales, que conocen las técnicas selectivas de minería subterránea, para extraer el mineral desde vetillas con espesores de 5 a 10 cm sin dilución. Estos mineros están organizados en 3 asociaciones que incluyen 800 mineros, recibiendo capacitación en explotación, seguridad y medioambiente por parte de la empresa MYSAC, quienes han utilizado el modelo de negocio de tercerización (contratistas), para poder formalizar a los mineros artesanales que trabajan en sus propiedades, prestando apoyo jurídico, financiero y logístico para lograr su formalización.

Desde la perspectiva geológica, este es un yacimiento aurífero de origen mesotermal localizado en un área de exploración y extracción minera. Contiene depósitos de Au-Cu ubicados en el Batolito Andino costero (y en menor cantidad en stocks), forman vetas angostas de 5-30 cm de ancho conformadas por cuarzo, pirita, arsenopirita, galena, calcopirita y pequeños depósitos diseminados. El oro se encuentra como oro nativo, Au-telurios y como inclusiones sólidas en sulfuros. La ley oscila entre 1 a 3 oz/ton en las vetas y en algunos afloramientos más de 3 gr/ton.

El Método de explotación subterráneo utilizado es el de corte y relleno ascendente, que es altamente utilizado en vetas de mineral irregular. Donde la veta es muy reducida (menor a 30 cm) se realiza el circado, que es la extracción selectiva del mineral y en ocasiones perforan con taladro de percusión. El manejo de mineral se realiza con carretilla y locomotora con carros mineros U35.

La planta de beneficio procesa hasta 200 toneladas métricas (TM) diarias de mineral aurífero con leyes alrededor de 16 gr/ton, con una proporción de 50:50 entre óxidos y sulfuros. La recuperación de oro en la planta de beneficio es alrededor de 96%. El 65% de este material proviene de dos minas (Alpacay y Soledad), propiedad de MYSAC, y el 35% restante es comprado a los mineros artesanales. El material es tratado en cuatro etapas principales: chancado, molienda con tamaño de partícula 80% bajo los 80 micrones, lixiviación por cianuración en tanques y adsorción con el método carbón en pulpa. El producto final es carbón activado con un contenido entre 8 a 10 kg de oro/ton. El tratamiento posterior se hace en la ciudad de Lima, capital del país mediante la desorción del oro y refinación, comercializándose directamente hacia el mercado internacional.

Respecto al suministro energético, actualmente posee la interconexión eléctrica con la Sociedad Eléctrica de Arequipa Ltda. (SEAL) con una potencia contratada de 900 kW, con tensión media de 22,9 kV, que tiene una conexión vía aérea de longitud de 51,9 km.

El consumo de energía en las operaciones mineras (ventiladores, winches, compresoras, bombas, y otros) tienen un requerimiento de 150 kW. El consumo energético de la planta de beneficio, según el SEAL es de 320 kW.

Respecto al suministro hídrico, cuenta con tres fuentes de agua para cubrir las necesidades de la mina. El agua utilizada para el consumo industrial, proviene desde el río Piñog ubicado en la quebrada del mismo nombre; y el punto de captación Cañipaco de la Quebrada Andaray. Con respecto al consumo doméstico, el agua es captada del manantial Socosani, ubicado en el valle de Socosani en Arequipa.

El agua es transportada desde los puntos de captación hacia sus diferentes destinos, por gravedad mediante tuberías, para evitar el contacto con el medio ambiente. Respecto al aporte de Cañipaco, existe bastante concentración de carbonatos en el agua, alrededor de 450 ppm, que dificulta el circuito de la planta de beneficio.

El consumo de agua de mina es de 59 m³/día. El consumo en la planta de procesos es de 157 m³/día. Durante el proceso, 288 m³/día de agua con relave son transportados por tuberías hacia la presa, 216 m³/día de agua son recuperados para reutilización en el proceso, evaporándose 72 m³/día en la piscina de relaves.

III. Análisis de los casos de estudio

A. Casos de estudio

Los casos de estudios presentados en el capítulo anterior, fueron elegidos para identificar que a distintas escalas de explotación es posible una auditoría de uso de agua y energía, así como analizar un proceso específico, identificar problemáticas, definir oportunidades de mejora, y hacer más eficiente el uso de insumos estratégicos, entre otros. Gracias a la aplicación de estos instrumentos de evaluación y auditoría, es posible proponer un abanico de soluciones (especialmente tecnológicas) asociadas a procedimientos que conjuguen tanto el mejoramiento de los procesos productivos como la aplicación de herramientas funcionales e innovación en minería. Todo lo anterior con el objeto de lograr eficiencia y eficacia en el uso de estos recursos, probablemente los más determinantes en los procesos mineros presentes en los países andinos.

1. Caso de estudio A de Chile (CODELCO)

El caso de estudio de CODELCO se ha denominado: “Alerta Temprana Espesadores de Relaves”, diseñado y operado desde y por la Casa Matriz, en el Centro Integrado de Información (CII), en la ciudad de Santiago de Chile. Todo el proyecto está bajo el marco teórico de la Big Data Science Analytics. En términos generales, como su nombre lo indica es recibir, identificar y procesar en forma remota (a más de 2.000 kilómetros, en algunos casos), una gran cantidad de datos en tiempo real proveniente de cientos de sensores instalados estratégicamente en los espesadores de las distintas divisiones (plantas) de la empresa, para tomar decisiones sensibles e informadas⁵⁶ respecto al comportamiento y funcionamiento eficiente de los espesadores, especialmente frente a la seguridad de los trabajadores y el uso eficiente del agua y la energía utilizados en estos procesos, entre otras decisiones y funciones⁵⁷.

⁵⁶ Decisiones que son informadas y consensuadas con el equipo de trabajadores locales, quienes son directamente responsable de las faenas mineras. Con todo, el sistema es totalmente autónomo en relación al procesamiento de datos y el permanente monitoreo del funcionamiento de los espesadores en planta.

⁵⁷ Para más información consultar la información disponible sobre el Big data en CODELCO, <https://goo.gl/woV6Sg>.

Problemáticas	Oportunidades de Mejora
<p>Actualmente, en las zonas áridas, o de difícil acceso al agua, se ha convertido en un insumo crítico para la planta concentradora, debido a que la cantidad y disponibilidad es esencial para abastecer un consumo de 1,6 m³/h por tonelada de mineral tratado. Este tratamiento comprende la conminución, concentración, transporte y depósito de relaves. La mayor parte del agua que es recuperada, es recirculada en el sistema.</p> <p>En las zonas de explotación, la provisión de agua es limitada y existe fuerte presión de los <i>stakeholders</i> ya que es cada vez menor. En consecuencia la recuperación del agua se extrae de los relaves, de tal forma de disminuir al mínimo su contenido, para que la mayor cantidad de agua pueda ser recirculada. El proceso de recuperación del agua recibe el nombre de espesamiento y porteo, mientras que los equipos industriales son llamados espesadores. El agua clarificada sale por rebalse, mientras que en la parte inferior queda la “descarga” que es una pulpa espesada. La operación de estos equipos es tan crítica, que una detención de éstos obligaría a reducir la capacidad de tratamiento de toda la planta o incluso detener la producción.</p> <p>Esta es una operación que debe ser manejada con una estrategia de control multivariados de permanente atención. Existe un alto riesgo de embanques y daño de las rastras por alto torque, debido a que la operación manual de terreno, presenta una alta variabilidad en sus perturbaciones y largos tiempos de respuesta, lo que hace difícil estabilizar y controlar el proceso.</p>	<p>La utilización de la Big Data Science Analytics, en un caso de Prueba de Concepto, PoC (Proof Of Concept), y Validación de Inteligencia de Negocio, BI (Business Intelligence), aplicado a un proceso delimitado minero, permite visualizar el potencial de la herramienta, tanto en procesos específicos, como a escala. En este caso, se toma el proceso de espesamiento de relaves, para relevar el potencial respecto a las posibilidades que subyacen a esta propuesta. Una aplicación central es la operación del sistema desde la casa matriz a distancias mayores a 2.000 kilómetros, en el caso de las divisiones (minas) ubicadas en el norte del país. Además, se identifican desviaciones en los procesos, y el mejoramiento continuo de éstos, en la medida que el análisis de la información arroje nuevos hallazgos.</p> <p>Es importante destacar que la empresa nacional evalúa a este proyecto como un caso de negocio e innovación; con la premisa clara que éste genere factibilidad de funcionamiento y los resultados posibles de replicar. Entre funcionarios que llevan adelante este proyecto tienen seguridad que esta herramienta, que actualmente está demostrando gran utilidad para la toma de decisiones, contribuyendo significativamente a la eficiencia del uso de los insumos y activos, como también, un aporte relevante en otros procesos productivos en mina.</p>

Fuente: Presentación realizada por CODELCO en el marco del proyecto BGR/CEPAL: uso eficiente del agua y la energía en los procesos mineros, marzo de 2017.

Soluciones tecnológicas Caso de estudio A de Chile (CODELCO)

Según los planteamiento de la Corporación, se requiere de “analítica de data, O&M, fallas y mejores prácticas”, para conseguir los resultados esperados en este caso de negocio (véase cuadro 2).

Cuadro 2
Planteamiento del problema, impactos, inputs requeridos y resultados esperados

Problema	Impacto	Información requerida	Salidas
Durante los últimos años se han advertido oportunidades de mejoras en la operación y mantenimiento de los espesadores de relaves	Mejorar continuidad operacional.	Variables del proceso.	Definición y despliegue KPI's por cada División.
Total 25 espesadores en Divisiones:	Reducir pérdidas de producción.	Información de operación y mantenimiento.	Alertas tempranas automáticas de predicción de fallas.
1. Chuquicamata (9)	Mejorar el <i>Make Up</i> .	Proyectos relacionados.	Análítica de data, fenomenología del Activo, mejores prácticas y recomendaciones de solución.
2. Ministro Hales (2)	Mejorar la capacidad de tratamiento con restricciones de agua.	Balance agua.	
3. Salvador (3)	Pro eficiencia en el uso del agua y la energía.	Plan recuperación de agua.	
4. Andina (3) y		Especificaciones técnicas de espesadores.	
5. El Teniente (8)		Detalle de instrumentación y actuadores disponibles.	
		Organización responsable.	
		Procedimientos operacionales.	

Fuente: presentación realizada por CODELCO en el marco del proyecto BGR/CEPAL: uso eficiente del agua y la energía en los procesos mineros, marzo de 2017.

La extracción de sólidos de los relaves, para lograr una pulpa apropiada de espesamiento se realiza por la sedimentación natural ayudada por floculantes cuyas dosificaciones son determinadas en laboratorios, y adiciona a escala de gramos por toneladas en el “*feedwell*” que es un cilindro concéntrico que está en la parte central de la alimentación del equipo.

Los criterios de selección del caso de negocio fueron: i) impacto significativo en el negocio, ii) problema transversal a las divisiones y, iii) solución implementable en el corto plazo y escalable.

Objetivos y alcance:

- Detectar la eventual ocurrencia de alguna condición de riesgo operacional en un espesador y generar alerta temprana a los operadores para controlar la situación.
- Identificar mejores prácticas de gestión en los activos-operación/mantenimiento, O&M, de Espesadores, con potencial de ser transferencia de información y conocimiento entre las divisiones y oportuna toma de decisión, en una estrategia de benchmarking.
- Facilitar el desarrollo de procesos de análisis de data, en el caso de ocurrencia de eventos en espesadores no detectados en forma previa por el nivel de alarmas.
- Validar el sistema de alerta temprana espesadores de relaves como gestión predictiva/proactiva/preventiva-nivel/prescriptiva y optimizante a un nivel por sobre la gestión productiva de las (5) divisiones.

Variables previstas (7): torque, presión de cama, inventario, altura de rastra, nivel de agua clara, CP % sólido de descarga y flujo de floculante.

El propósito según la metodología planteada, es identificar condiciones de riesgo; por ejemplo, los tiempos excesivos fuera de rango, expresados en los datos tomados en tiempo real desde la operación (véase diagrama 5).

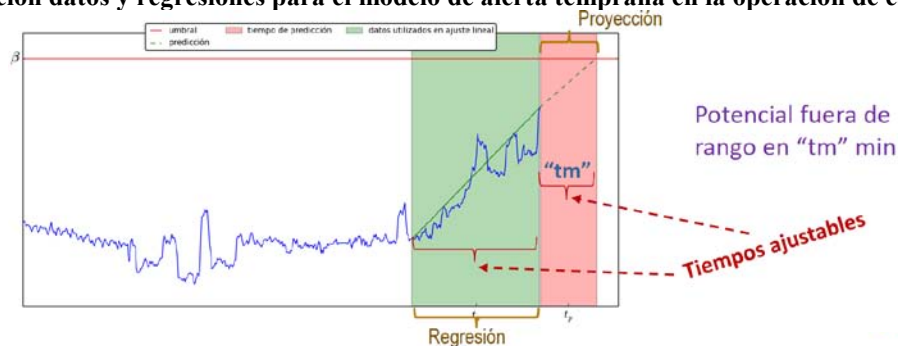
Diagrama 5
Vista de parámetros fuera de rangos normales en la operación de los espesadores



Fuente: Presentación realizada por CODELCO en el marco del proyecto BGR/CEPAL: uso eficiente del agua y la energía en los procesos mineros, marzo de 2017.

Como también, el potencial fuera de rango en “tm” minutos, que mediante regresiones, podría eventualmente realizar proyecciones (véase diagrama 6).

Diagrama 6
Visualización datos y regresiones para el modelo de alerta temprana en la operación de espesadores



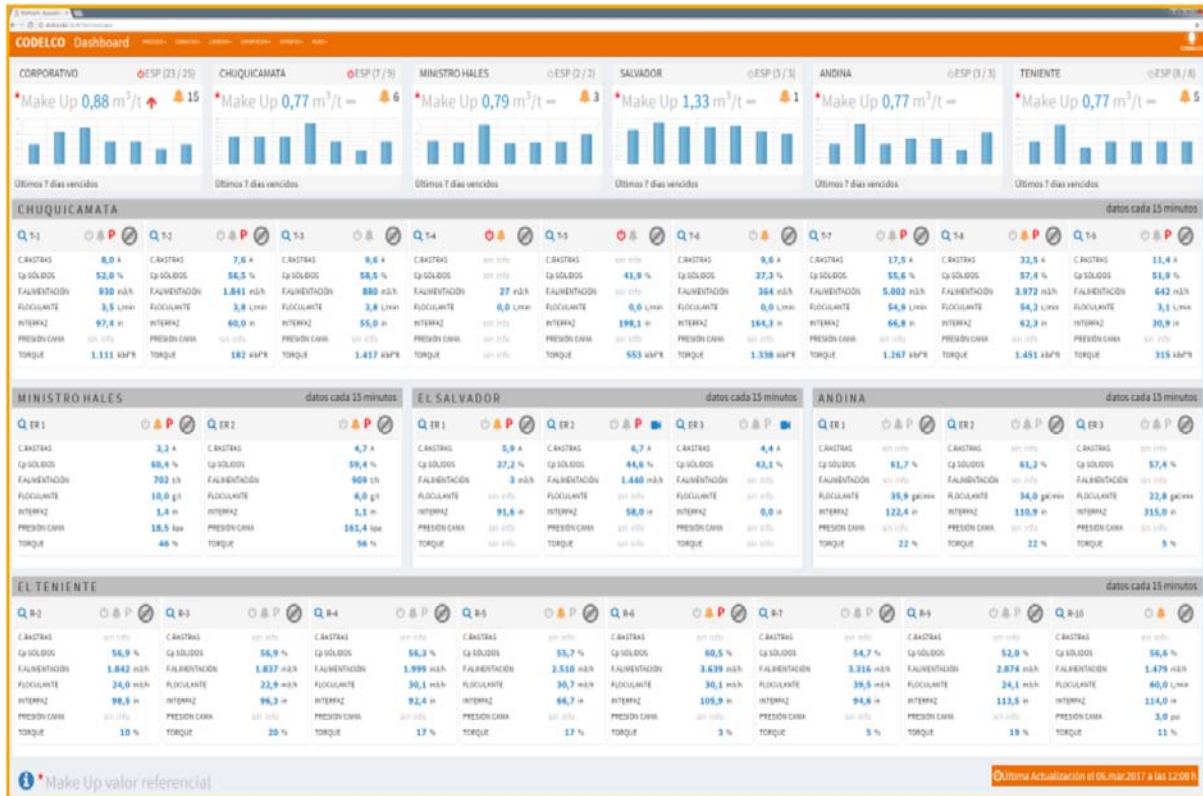
Fuente: presentación realizada por CODELCO en el marco del proyecto BGR/CEPAL: uso eficiente del agua y la energía en los procesos mineros, marzo de 2017.

En el proceso de la implementación, se puede observar que actualmente los espesadores de relave de las Divisiones se dividen en las siguientes unidades:

- División Chuquicamata, DCH: 9 unidades
- División Ministro Hales, DCH: 2 unidades
- División Salvador, DSA: 3 unidades
- División Andina, DAN: 3 unidades
- División El Teniente, DET: 8 unidades

Estos equipos se encuentran conectados, con intercambio de datos en tiempo real, y un Dashboards o visualización gráfica de distintas métricas, sobre la base de las (7) variables significativas para el seguimiento y los KPI asociados. Entre los tipos de visualización, existen una serie de opciones, que van desde una variable específica de un espesador dado, hasta la visualización de las alertas tempranas definidas en el caso de negocios. Algunos ejemplos de visualizaciones se muestran a continuación.

Diagrama 7
Visualización de las variables numéricas en operaciones de espesadores de relave, en tiempo real, en cada División de CODELCO



Fuente: presentación realizada por CODELCO en el marco del proyecto BGR/CEPAL: uso eficiente del agua y la energía en los procesos mineros, marzo de 2017.

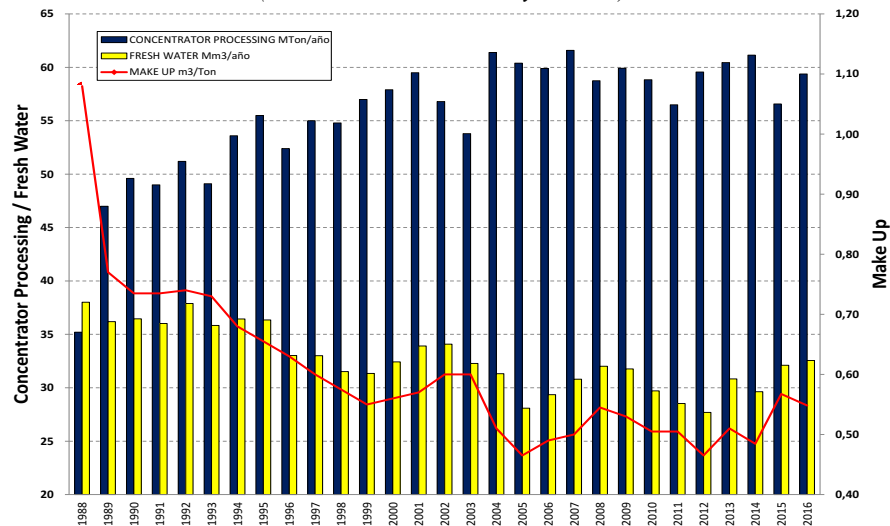
Los diagnósticos y conclusiones de la implementación de este proyecto, aún se encuentran en continuo análisis, sin embargo, el hecho de llegar a un sistema de alerta temprana con base en la data registrada de los equipos, en las distintas divisiones, muestra el potencial real, y abre el camino hacia una nueva forma de monitorear los procesos, a distancia, en tiempo real, con mayor conocimiento, mejores prácticas, lo que se traduce en un uso más eficiente de la energía, como también, mayor eficiencia y gestión en la recuperación del agua para su reutilización, menores costos y mayor productividad⁵⁸.

2. Caso de estudio B de Chile (CODELCO)

Este análisis se vincula a la evolución del consumo de agua en la División Chuquicamata en los últimos 30 años. El consumo del agua en esta división ha variado en relación con el aumento de la producción, esto se refleja principalmente en la disminución del consumo de agua fresca por unidad de mineral tratado. El aumento del mineral tratado en sus plantas concentradoras fue superior al 70%, pasando de 35 millones de toneladas al año (97 ktpd) hasta 60 millones de toneladas por año (más de 170 ktpd).

Para gestionar el consumo del agua se utiliza el indicador “*Make Up*”, éste mide el consumo de agua unitario en el tratamiento del mineral en la planta de beneficio. Entonces, si se considera el incremento en el tratamiento de mineral indicado, en un escenario de mantener las prácticas anteriores, es decir, sin realizar acciones para mejorar la eficiencia en la recuperación de agua en los procesos, se tendría un incremento de uso de agua en la misma proporción, por lo tanto, el *Make Up* se mantendría en un mismo nivel. A fines de la década de los ochenta, el *Make Up* de la concentradora de Chuquicamata era del orden de 1,1 m³/Ts, es decir, para tratar una tonelada seca en la planta concentradora se necesitaba 1,1 m³ de agua fresca. El gráfico siguiente muestra la evolución del tratamiento de mineral en las plantas concentradoras de Chuquicamata en Ts/año, el volumen de agua fresca utilizado por año para tratar ese mineral y el *Make Up* en m³/Ts.

Gráfico 25
Revolución del proceso de concentración, utilización de agua fresca y el *Make Up*,
en la División Chuquicamata de CODELCO, 1988-2016
(En Mton/año, Mm³/año y m³/Ton)



Fuente: Datos suministrados por CODELCO, julio 2017.

⁵⁸ La Corporación del Cobre ha indicado que este trabajo tiene el carácter de estratégico, por lo que esta información tiene un espacio reducido de difusión.

Problemáticas	Oportunidades de mejora
<p>Década de los años ochenta</p> <p>1) En la década de los años ochenta, se verificó que los recursos minerales existentes en la Mina Chuquicamata permitían aumentar la tasa de tratamiento en las plantas concentradoras, presentando millones de toneladas como reservas, sin embargo, se tenía que resolver una serie de problemas relacionados con el acceso a una mayor cantidad de recursos hídricos y energéticos. Aunque CODELCO tenía los derechos de agua, se tomó conciencia que las fuentes cordilleranas, difícilmente podrían abastecer las necesidades de agua necesarias para aumentar el nivel de tratamiento.</p>	<p>Década de los años ochenta</p> <p>1) Una de las decisiones más importantes fue que la fuente de abastecimiento de agua, para ser suministrada en el aumento del tratamiento de mineral, viniera en gran parte de recursos hídricos existentes en procesos donde era descartada. En consecuencia, se dio paso al aumento de la recirculación de agua desde los procesos, de tal forma de poder continuar con el proyecto de la planta concentradora A2, para aumentar la capacidad de tratamiento de mineral, desde 90.000 T/d a 140.000 T/d.</p> <p>Entonces, las oportunidades de mejoramiento se concentraron en aumentar la eficiencia en el proceso de espesamiento de relaves y la recuperación de agua desde el Tranque de Relaves Talabre⁵⁹ y la planta de aguas servidas del Campamento Chuquicamata, entre otros.</p>
	<p>Década de los años noventa</p> <p>2) Posterior a la implementación del aumento de tratamiento, los operadores de las plantas concentradoras iniciaron un proceso de aprendizaje, que los encaminó a identificar y proponer optimizaciones en las plantas de beneficio. De la misma forma, los operadores de los espesadores y del Tranque de Relaves, identificaron una serie de mejoras en los procesos.</p>
<p>Década de los años dos mil</p> <p>2) Entre el término de la década del noventa e inicio de la del dos mil, se intentó aumentar nuevamente los niveles de tratamiento, pero los equipos no podían rendir mejor. En este mismo periodo se identificaron trazas de mineral con porcentajes mayores de arcillas, lo que generó que los niveles de espesamiento empeoraran con respecto a lo que se venía logrando, por lo tanto, el <i>Make Up</i> llegó a valores de 0,60 m³/Ts.</p> <p>Consecuentemente, se sumó en el mismo periodo, la construcción de la V (quinta) etapa de peralte de muros en Talabre, que utilizaba como material de construcción el mismo relave que se enviaba a depositación, pero tomando aproximadamente el 33% del relave y enviándolo a un proceso de cicloneo. El porcentaje de agua equivalente que va en ese 33% de relaves se debía dedicar a la misma construcción de muros, imposibilitando recuperar ese caudal para los procesos de operación de las plantas concentradoras, desmejorando en consecuencia el <i>Make Up</i>.</p>	<p>Década de los años dos mil</p> <p>3) Después de un análisis exhaustivo, se concluyó que el aumento de los niveles de tratamiento en las plantas concentradoras sólo podía alcanzarse mediante nuevos proyectos de inversión para mejorar la utilización del recurso hídrico. Esto permitió identificar oportunidades, como aumentar la potencia de algunos equipos, así como proponer algún diseño innovador en el depósito de relaves, evitar la evaporación de agua y un posible aumento de tratamiento debido a estas oportunidades de mejora.</p>
<p>Año 2007</p> <p>3) La construcción de los muros del tranque de Talabre llevó al empeoramiento del <i>Make Up</i>.</p>	<p>Año 2007</p> <p>4) La oportunidad identificada fue una nueva forma de construir los peraltes de los muros en Talabre de manera de no seguir utilizando el mismo relave, y por lo tanto, poder disponer de esa fracción de agua para las plantas de beneficio.</p>
<p>Año 2013</p> <p>4) En el año 2013, se determinó que las plantas concentradoras de Chuquicamata fueran alimentadas en complemento con mineral de la Mina Radomiro Tomic. El problema fue que ese mineral contiene mayor porcentaje de arcillas, que impacta negativamente la optimización en el uso del recurso hídrico, llevando el <i>Make Up</i> nuevamente a valores por sobre 0,55 m³/Ts.</p>	<p>Año 2013</p> <p>5) Mejorar la gestión de recuperación de aguas en el depósito de relaves.</p>

⁵⁹ Depósito de relaves, ubicado en las cercanías de la ciudad de Calama, II región de Antofagasta, Chile.

Soluciones tecnológicas Caso de estudio B de Chile (CODELCO)

La tendencia de mejoramiento del *Make Up*⁶⁰ ha sido evidente, en la medida que se ha aumentado el tratamiento de mineral, éste ha ido disminuyendo, lo que significa una menor cantidad de agua fresca utilizada para tratar cada tonelada de mineral. Este significativo desempeño en mejorar la eficiencia en el uso del agua ha sido uno de los pilares que posibilitó aumentar la producción en la División Chuquicamata.

De manera cronológica se presentarán las soluciones tecnológicas que han permitido a la División encumbrarse a lo más alto de la gestión hídrica en los procesos mineros.

A fines de la década de los años ochenta, se construyó un nuevo espesador de 100 m de diámetro, pero con mayor tecnología y potencia en sus equipos electromecánicos en comparación a los existentes, de manera de aumentar la concentración en peso en la descarga general de los relaves, y así aumentar la recuperación de agua en estos equipos. También, para aprovechar una gran cantidad de agua almacenada en el Tranque Talabre, se aumentó la capacidad de recirculación de agua desde el depósito de relaves, triplicando el caudal de diseño y la utilización de este sistema de impulsión. Además, se construyó un sistema de recuperación y recirculación de agua desde las plantas de aguas servidas del Campamento Chuquicamata hacia las plantas concentradoras. Con esto, se logró mejorar el *Make Up* pasando de 1,1 a valores entre 0,70 y 0,80 m³/Ts.

A mediados de la década de los años noventa, el conocimiento adquirido por los operadores de los equipos y recirculación implementados permitió mediante sus recomendaciones para operar de mejor forma, nuevos reactivos y mayor control, esto es: permitir al *Make Up* alcanzar niveles de 0,55 m³/Ts para el año 1999. Además fue posible aumentar la capacidad de tratamiento a valores cercanos a las 155.000 Ts/d.

En el inicio de la década de los años dos mil, se desarrollaron proyectos de re-potenciamiento en algunos de los espesadores, cuyo objetivo fue transformarlos desde espesadores convencionales a equipos de alta capacidad (High Capacity, HiCap). También se desarrolló un proyecto que fue pionero en la industria que logró que el depósito de relaves fuera sectorizado en diversas áreas de depositación, logrando que el área de evaporación disminuyera, bajando las pérdidas, y en consecuencia, la evidencia de aumento del agua recuperada. La operación de este proyecto ha sido estudiada por diversas mineras que han buscado la transferencia de experiencias y conocimientos para aplicarlo en sus operaciones, dado el éxito del bajo consumo de agua en el tratamiento del mineral.

Entre los años 2006 al 2009 se construyó la Etapa VI de Peralte Muros en Talabre, se llegó a valores cercanos a 0,53 m³/Ts. (pero no a niveles de 0,60 m³/Ts como fue anteriormente). Es relevante mencionar que los minerales arcillosos de la Mina Chuquicamata estaban prácticamente controlados con cambios en los reactivos de flotación, por lo que su efecto en el *Make Up* era bastante menor que el efecto de la construcción de muros en Talabre.

Una vez finalizada la construcción de muros, se vio un periodo de aproximadamente 5 años en que el *Make Up* fue mejorando, llegando a marcar valores entre 0,47 y 0,50 m³/Ts.

Para evitar la merma del *Make Up* debido a la construcción de muros, se decidió que se utilizaría para los peraltes de muros el material de los botaderos de lastre. Se realizaron estudios y se consiguieron las autorizaciones, como también su aprobación. A la fecha ya se construyó la etapa VII del peralte de muros con esta metodología. En la actualidad se está construyendo la etapa VIII. Con esta modificación, las construcciones de muros ya no afectan la recuperación de agua en el depósito de relaves. La gestión en éste fue optimizando la sectorización del mismo, lo que ha elevado sus niveles de producción de manera notable.

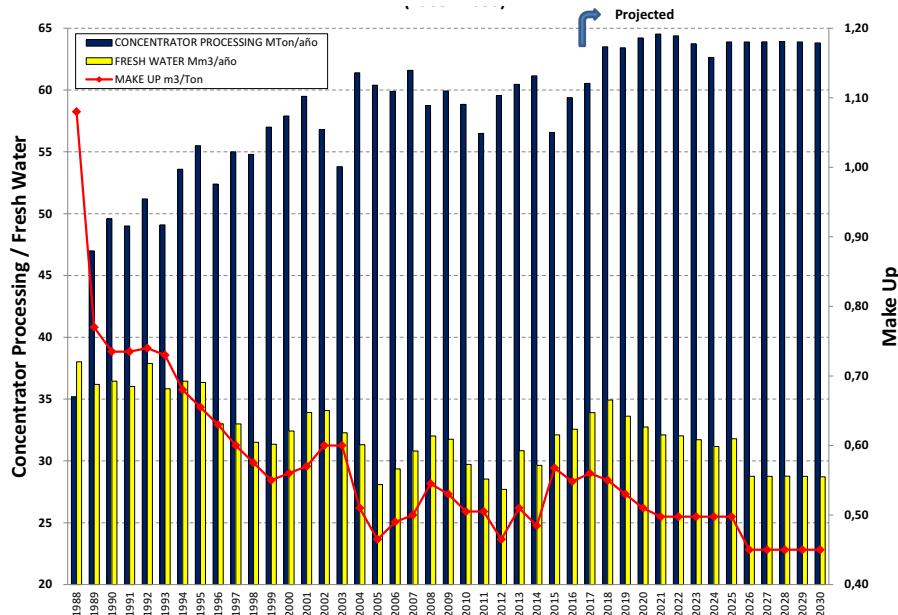
⁶⁰ Proceso que mide el consumo de agua unitario en el tratamiento del mineral en la planta de beneficio.

En el año 2017, Codelco lanzó su Plan Maestro de Sustentabilidad. Respecto de los recursos hídricos ha planteado mayores exigencias en relación a los planes ambientales anteriores, estableciendo metas complejas, como el compromiso de reducir en 10% el indicador de consumo unitario *Make Up* al año 2020. Sobre la base de este compromiso, la División Chuquicamata ha establecido diversas iniciativas de gestión e inversiones que harán que el *Make Up* llegue a valores cercanos a $0,51 \text{ m}^3/\text{T}$ s para el año 2020.

Con todo, este indicador espera mejorar. Las leyes del mineral siguen disminuyendo y, por lo tanto, para mantener los niveles de producción se deberá aumentar el nivel de tratamiento en las plantas. Se están haciendo diversos estudios para definir cuanto mineral adicional se podría ingresar a las plantas concentradoras de Chuquicamata, esperando que el nivel de tratamiento en estas plantas alcancen valores entre 180.000 a 200.000 T/d, lo que evidentemente necesitará mayor consumo de agua y, por lo tanto, se han estado estudiando nuevas formas de aumentar la recuperación de agua desde los procesos.

La alternativa que lleva ventaja es la de transformar la depositación de relaves en Talabre, desde un depósito convencional sectorizada a una depositación de relaves espesados. Este proyecto pretende construir espesadores de alta densidad en las cercanías del tranque Talabre para depositar los relaves espesados sobre los relaves convencionales, utilizando prácticamente el mismo footprint que el depósito actual. Se estima llevar el *Make Up* de Chuquicamata a niveles cercanos a $0,45 \text{ m}^3/\text{T}$ s. Como puede apreciarse en el gráfico 26.

Gráfico 26
Proyección del proceso de concentración, utilización de agua fresca y el *Make Up*,
en la División Chuquicamata de CODELCO, 2016-2030
 (En Mton/año, $\text{Mm}^3/\text{año}$ y m^3/Ton)



Fuente: Datos suministrados por CODELCO.

Se encuentra en estudio la tecnología de filtrar relaves, que podría mejorar la recuperación desde éstos. Si se aplica esta tecnología, se podría llevar el *Make Up* a niveles bajo $0,40 \text{ m}^3/\text{T}$ s, lo que sería un nuevo gran éxito para esta operación.

3. Caso de estudio A de Perú (SOTRAMI)

A continuación se presenta el caso A (SOTRAMI), sobre la base de auditorías realizadas por especialistas de BGR⁶¹, se han planteado una serie de hallazgos con problemáticas asociadas, que definieron oportunidades de mejoras de distintas índoles en relación al uso eficiente de los recursos en los procesos mineros.

Problemáticas	Oportunidades de mejora
El empleo de diesel para el funcionamiento de grupos electrógenos que suministran a la planta de beneficio y la mina A (Santa Filomena), con las dificultades asociadas de logísticas de distribución, costo y la generación de CO ₂ y gases efecto invernadero.	El cambio de suministro de energía hacia energías renovables no convencionales, o acoplarse al sistema interconectado nacional.
La escasez de agua limita el desarrollo de la población cercana (con gran presencia de trabajadores de la mina) y a las necesidades productivas de la mina. La mina A (Santa Filomena) se encuentra en una zona desértica con escasos recursos hídricos, si se considera que la vertiente más cercana se encuentra a 1.200 m más abajo de la mina y del poblado. El agua es captada desde la localidad de Laytaruma y transportada cuesta arriba en camiones.	Para la provisión de agua, una mejora significativa se ha planteado identificar los recursos (monetarios y técnicos) para permitir la conexión vía red de cañerías y bombeo. Se ha elaborado un plan para la construcción de un sistema de pequeños embalses de capacidad suficiente para proveer las necesidades, de la población, la mina y la planta de beneficio. Con estándares altos para la región y el tipo de mina.
Existe una distancia no menor entre la planta y la mina, esta es de aproximadamente 12 kilómetros. Se deben considerar las dificultades sanitarias y de eficiencia en el gasto energético, entre otros, ya que los camiones que bajan con mineral (desde la mina hacia la planta), son los mismos que llevan el agua que consume la mina y el poblado.	La reubicación de las instalaciones podrían lograr sinergias operativas, que disminuyan el tiempo del retorno de la inversión realizada, debido a la significativa disminución en los costos operativos, y una mayor eficiencia de los insumos de agua y energía utilizados.
En la presa de relaves, éstos se depositan con alto contenido de agua, desperdiciando el recurso (por evaporación de agua) de aproximadamente 60 m ³ /día.	Recuperar la mayor cantidad posible de agua de las colas de relave de la planta de beneficio, para reutilizarla en el tratamiento de minerales y otros procesos productivos de la mina. Esto reportaría un importante uso eficiente del recurso, demostrado en otras minas de la región.
El personal de operaciones de mina, realiza un esfuerzo físico desgastante, al ingresar a sus labores bajando por escaleras, con una distancia vertical de 500 m, un proceso de por lo menos 30 minutos al ingreso, y terminado el turno de trabajo. De igual forma, el proceso de evacuación puede llegar a tardar 45 minutos. Esto, además de constituir una demora evidente con pérdidas acumulativas en el tiempo; reviste un enorme riesgo para el personal de mina, toda vez que el ingreso a ella es altamente peligroso al enfrentar accesos que no siempre cuentan con los estándares adecuados para que una fuerza de trabajo pueda ingresar rápida y con seguridad a la mina.	Mecanizar el acceso/salida de la mina, podría significar un aumento en la productividad de la mina, y un uso más eficiente de la energía en el proceso mina. Pero sin duda lo más importante es que estas mejoras estén apoyadas y justificadas por un principio fundamental de las medidas de seguridad en mina. Es esencial que los administradores de los yacimientos no sólo cumplan con la legislación vigente vinculados a la seguridad en las labores de mina. Sino también exista capacidad para construir una cultura de la responsabilidad social corporativa que incluya como eje central la creación de reglamentos y guías (con estándares nacionales y/o internacionales), no sólo para mejorar procesos, sino cuidar su activo más importante, los trabajadores.
El aire comprimido es uno de los servicios más importantes de la mina. El pulmón de aire que abastece equipos neumáticos en la operación, se encuentra ubicado en el Nivel 9 a una distancia aproximada de 200 m al frente de trabajo del nivel 13. La capacidad del aire comprimido es limitada, cuando la demanda es simultánea, la presión baja a un nivel que los equipos neumáticos no trabajan a un rendimiento aceptable.	Rediseñar el sistema de aire comprimido mina, podría significar mejorar de forma sustantiva el uso eficiente de la energía requerida para el sistema, como también mayor productividad. Con todo y lo más importante ofrecería una mejor calidad de condiciones a los trabajadores, incluso si se mide desde la perspectiva de días no trabajados por enfermedades respiratorias.
Según las cifras del balance de agua en el año 2015, se ha perdido el 18% del agua pagada en la localidad de Chulbe (pérdida de 10.750 m ³ de un total pagado de 58.750 m ³).	Un sistema de cañerías y bombeo para el suministro de agua, disminuiría las pérdidas y haría más eficiente el uso de este recurso. Esta sería una inversión que se recuperaría en el mediano plazo.

Fuente: Informe de Mina A (SOTRAMI), BGR mayo de 2017.

⁶¹ Por sus siglas en idioma alemán Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales.

Soluciones tecnológicas Caso de estudio A de Perú (SOTRAMI)

En relación a las medidas orientadas a las soluciones tecnológicas el proyecto de interconexión con la red eléctrica nacional, se realizó en dos etapas: i) la electrificación de la planta con una construcción de una línea de alto voltaje desde el poblado de Jaqui hasta la planta (aprox. 20 km) y ii) La conexión de la mina y planta con una línea de alto voltaje secundaria de alrededor de 8 km de largo.

Ambas fases se han co-financiado mediante fondos del premio para el comercio de oro directo con fundaciones de Suiza mediante el programa “Better Gold Initiative”⁶².

Los costos para la electrificación han sido alrededor de USD 800.000 en la primera fase y USD 500.000 para la segunda fase. Estos costos incluyen la planificación, las líneas de alta voltaje así como las inversiones en maquinaria eléctrica.

La situación posterior a la Implementación de las medidas, significó el cambio de fuente energética y redujo la cantidad de emisiones anuales de carbono en un 62%, bajando de 790 ton equivalentes de CO₂ al año a 301 ton equivalentes de CO₂. Esta situación permite también, monitorear anualmente las emisiones de GEI⁶³ con el fin de establecer indicadores ambientales y estrategias en el mediano y largo plazo, de esta manera la mina A (Sotrami S.A.) contribuye al compromiso de Perú en los acuerdos internacionales de reducir sus emisiones de GEI en un 30% para el año 2030, destacándose como un ejemplo en la región y el país en relación a estos compromisos.

Consecuentemente, el consumo mensual de diesel 2 para la generación de energía durante el año 2015 en promedio alcanzó 7.000 gln/mes, sin embargo, al conectarse la mina A (Sotrami S.A.) al Sistema Eléctrico Interconectado (SEIN) del Perú, el consumo de diesel 2 disminuyó a menos de 1.000 gln/mes. Actualmente se conservan los grupos electrógenos, pero son usados solamente en caso de que el abastecimiento de energía falle por algún imprevisto o mantenimiento programado de la red eléctrica.

El ahorro en el consumo de energía se puede indicar con la comparación del costo anual del año 2014 usando diesel 2 en los grupos de generación eléctrica, con un valor total de S/. 976.945,50 (Soles peruanos), frente al gasto anual proyectado en la compra de electricidad tomando los meses de octubre y noviembre del año 2015, con un total de S/. 791.055,00. Esto representa un ahorro del 19% del costo de energía de la empresa, que equivale a S/. 185.890,50 anuales.

En segundo lugar, el desarrollo del Proyecto de Bombeo de agua Chulbe - Santa Filomena, permitirá bombear agua con el fin de cubrir la demanda necesaria para el pueblo cercano y la mina. La empresa logró obtener mediante la Resolución Directoral N° /939-2016-ANA-AAA-CH.CH la licencia del uso de agua de la localidad de Chulbe, que es uno de los objetivos del proyecto.

La implementación del proyecto prevé las siguientes obras e inversiones:

Cantidad	Descripción
6 500 m	Construcción de línea de conducción MA – TP
01	Construcción de tranque de almacenamiento
03	Construcción de reservorios de 80 m3
04	Instalación de bombas electrobombas de 50-60 HP
04	Reservorios de concreto de capacidad de 80-150 m3
7 000 m	Instalación de tuberías HDPE 4”

⁶² La iniciativa Oro Responsable fue impulsada en el año 2013 como una alianza público-privada entre la asociación Suiza de Oro Responsable (Swiss Better Gold Association - SBGA) y la Cooperación Suiza - SECO. Los miembros de la SBGA están comprometidos en adquirir oro producido responsablemente y contribuir con USD 1 por gramo al llamado “Fondo de Responsabilidad Social”. Este fondo se utiliza para apoyar proyectos sociales y ambientales en las comunidades mineras de origen del oro. La primera inversión de este fondo es el proyecto de cambio climático y de eficiencia energética que ha desarrollado la minera Sotrami S.A.

⁶³ GEI: Gases de Efecto Invernadero.

40	Construcción de cajas para protección de medidores
04	Subestaciones aéreas de 75 KVA
02	Aforos de caudales
01	Entrega y recepción del proyecto
01	Informe final

Fuente: Informe de Mina A (SOTRAMI), BGR mayo de 2017.

El presupuesto sería:

Items	Descripción	Monto S./(Soles)	Monto US\$ (dólares)
1	Instalación zona de trabajo-almacén	35.000,00	10.606,06
2	Instalación-construcción de línea de media tensión 22.9 KV y subestaciones de 75 KVA	358.790,43	108.724,37
3	Instalación del sistema de bombeo de agua con electrobombas de Chulbe al centro poblado Santa Filomena	1.410.147,87	427.317,54
Total costo del proyecto		1.803.938,30	546.647,97

Fuente: Informe de Mina A (SOTRAMI), BGR mayo de 2017.

Con esta iniciativa se logró un uso eficiente del agua con un estándar superior a los años anteriores. La comunidad beneficiada consta de 4.000 personas para cubrir necesidades básicas (higiénicas, sanitarias y medioambientales) pertenecientes a la comunidad de Santa Filomena, además, debido a la nueva disponibilidad de agua, SOTRAMI S.A podrá incrementar su producción, como también, generar 250 puestos de trabajo adicionales. El suministro de agua será permanente, 24 horas en el día, los 7 días de la semana.

El bombeo de aguas ha sido formulado considerando la energía eléctrica proveniente de la red nacional. Las bombas operarán periódicamente, abasteciendo reservorios de agua con capacidad para responder a necesidades actuales. Por otra parte las bombas consideran alternativamente el uso de energía fotovoltaica para el financiamiento, lo que ahorraría los gastos de inversión hacia las líneas de alto voltaje y los transformadores.

El proyecto 4E busca establecer mercados para energías renovables a gran escala, orientados al aprovechamiento de energía con sistemas termo solar concentrado (CSP) y sistemas fotovoltaicos (PV). Las líneas de trabajo incluyen temas como capacitación, integración de energías renovables no-convencionales de gran escala a las redes eléctricas, identificación de nuevas aplicaciones tecnológicas y difusión de las experiencias de Chile en estas temáticas a nivel internacional. Este plan de cooperación técnica forma parte de un acuerdo entre Chile y Alemania, que tiene también un componente financiero cubierto por el Banco Alemán de Fomento KfW. Los capitales para este proyecto también son fondos climáticos del Ministerio de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Construcción y Seguridad Nuclear (BMUB) de Alemania.

En tercer lugar, la consideración del traslado de la planta de beneficio hacia un lugar cercano de las operaciones de la mina, optimizaría la logística y mejoraría la gestión entre la administración, mina y planta. Se resume los costos y beneficios de esta recomendación (véase cuadro 3).

Cuadro 3
Análisis conceptual de costos y beneficios, traslado de planta SOTRAMI

	Costos	Beneficios
Económicos	Traslado de planta y de su equipo. Costos para el transporte de material acopiado desde fuera de la zona de Sotrami S.A.	Ahorros en gastos de transporte para el mineral. Mayor número de viajes de mineral de mina a la planta.
De gestión		Coordinación facilitada entre administración, mina y planta.
Efecto Ambiental	Impacto a la superficie por nuevas instalaciones cerca de la mina.	Reducción de emisiones de GEI por el transporte de minerales en bruto. Reducción de emisiones de polvo por las movilidades.

Fuente: Informe de Mina A (SOTRAMI), BGR mayo de 2017.

En cuarto lugar, realizar la separación sólido-líquido de los relaves de la planta y recirculación del agua. La presa de relaves se encuentra en un área descubierta, a temperatura extrema y la incidencia directa de los rayos solares. Como se mencionó, se pierden alrededor de 60 m³/día de agua por evaporación en el dique de colas. Existen algunos casos donde las relaveras son cubiertas con plástico con el fin de evitar la radiación del sol y evaporación. Debido a las exigencias de la legislación ambiental minera en el Perú, los diques de colas deben ser impermeabilizados con geotextiles. Esto lleva a una situación donde los sedimentos no se secan. Además, existe el peligro de licuefacción en el caso de ocurrencia de terremotos. Finalmente, la capacidad actual del dique está limitado y su extensión es costosa. Para aprovechar del contenido de agua en los relaves se recomienda una separación sólido-líquido de los relaves mediante espesado y filtro prensa. El producto del filtrado se puede depositar en seco. Esta técnica es implementada exitosamente en varias minas peruanas, y actualmente en el proceso de construcción en Yanaquihua (véase cuadro 4).

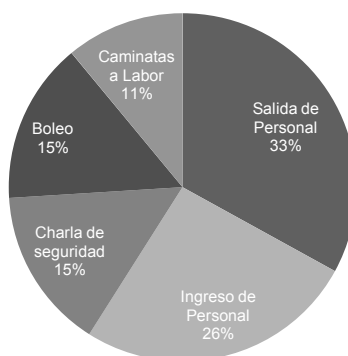
Cuadro 4
Análisis conceptual de costos y beneficios, separación sólido-líquido SOTRAMI

	Costos	Beneficios
Económicos	Inversión en equipo y maquinaria y su instalación.	Reciclaje de 60 m ³ de agua por día, sólo tomando en cuenta la capacidad actual de la planta (ahorro de costos para agua). Ahorro de costos para la expansión del dique.
De gestión		Deposición del relave en seco (más seguro).
Efecto ambiental		Reducción de emisiones de GEI por el transporte de agua. Reducción de emisiones de polvo por las movildades.

Fuente: Informe de Mina A (SOTRAMI), BGR mayo de 2017.

En quinto lugar, evaluar el transporte mecanizado del personal por medio de una jaula en el pique existente o planificar la construcción de una rampa hacia los niveles inferiores, debido a los retrasos del ciclo productivo de la mina, que disminuye las horas netas de trabajo. En la distribución de tiempos “muertos” de la mina, el tiempo utilizado en el ingreso y en la salida de la mina representa el 59% del total, véase gráfico 27.

Gráfico 27
Distribución de tiempos “muertos” del turno laboral, en Mina Caso A de Perú
(En porcentajes)



Fuente: Informe de Mina A (SOTRAMI), BGR mayo de 2017.

Se indica una estimación de los costos y beneficios de esta recomendación (véase cuadro 6). En sexto lugar, reubicar el pulmón de aire comprimido, que se encuentra en el nivel 9, al nivel 13, para disminuir la distancia entre pulmón y los equipos que es de aproximadamente 200 m, además, considerar tuberías de 4” hasta el lugar de operaciones. Para debe evitar cambios bruscos de dirección de las tuberías, se debe utilizar conexiones tipo T de 4” a 2” de diámetro.

Cuadro 5
Análisis conceptual de costos y beneficios, acceso mecanizado mina, SOTRAMI

	Costos	Beneficios
Económicos	Inversión en equipo y maquinaria y su instalación.	
	Disrupción del transporte de mineral durante del transporte de personal.	Ahorro de hasta 1,5 horas por día del personal.
De gestión		Aumento de la calidad de vida y de trabajo de los obreros.
		Minimización de riesgos de accidentes en el traslado de personal.
		Minimización de fatiga de los obreros gracias al acceso complejo.
Efecto ambiental	Aumento de uso de energía por el transporte mecanizado de personal	

Fuente: Informe de Mina A (SOTRAMI), BGR mayo de 2017.

Otras recomendaciones para la red neumática son el sellado de las conexiones para evitar fugas, programación secuencial de las horas de perforación, agregar válvulas para cerrar secciones inactivas de la red neumática, entre las más relevantes. Con las medidas antes señaladas, se podría reducir considerablemente la potencia de los compresores, evitar pérdidas de energía de los equipos que utilizan la red neumática y hacer más eficiente el uso de la energía.

En séptimo lugar, reemplazar el transporte de agua por gravedad en un canal abierto por tubería (alimentación planta) para evitar contaminación y pérdidas. Reemplazando el transporte en cunetas de mampostería este tramo de 6,5 km por una tubería podría bajar considerablemente las fugas de agua, y de esta forma minimizar los costos de agua.

4. Caso de estudio B de Perú (MYSAC)

De la misma manera respecto al caso anterior del Perú, en este caso B (MYSAC), las auditorías realizadas por especialistas de BGR dieron como resultado una serie de hallazgos y problemáticas asociadas, conducentes a proponer oportunidades de mejoras, de distintas índoles en relación al uso eficiente de los recursos en los procesos mineros.

Problemáticas	Oportunidades de mejora
En el tranque se depositan relaves con alto contenido de agua, evaporándose aproximadamente 75,2 m ³ /día. Dentro de las limitaciones existentes, el tranque tiene una capacidad limitada, existen restricciones en las condiciones topográficas, geotécnicas y geodinámicas, así como el riesgo sísmico y climático, que podrían restringir su ampliación, debido a la intensiva inversión y altos costos de operación que se necesitarían. Por otra parte, existe un riesgo de exposición de los trabajadores por la manipulación del cianuro de sodio en los relaves.	Una oportunidad de mejora es filtrar los relaves como alternativa a la depositación de éstos con altos contenidos de agua. Esta opción haría más eficiente el uso del agua y el cianuro utilizados en la planta de beneficio, mitigaría la exposición de los trabajadores al cianuro de sodio, disminuiría su concentración en las colas de relaves, y dispondría un material más denso y menos permeable, que mejoraría la estabilidad física y optimizaría la capacidad del tranque. Esta solución se está aplicando con mayor frecuencia en áreas en las que la disponibilidad de espacio y agua es limitada. Los relaves filtrados se pueden depositar en áreas en las que las condiciones topográficas, geotécnicas y geodinámicas, así como los riesgos sísmicos y climáticos son habituales.
La dilución es la disminución de la ley de la mena por el incremento de material sin contenidos de minerales con valor económico, generado por la roca de “caja” o la roca que se encuentra en el entorno de las vetas mineralizadas. Esto aumenta	Una oportunidad de mejora es minimizar paulatinamente la pérdida de finos ⁶⁴ generados durante los procesos de explotación, para mantener e incrementar la ley de cabeza. Una buena gestión, sería mejorar los planes de producción, realizar

⁶⁴ Los “finos” son un material de granulometría pequeña que contienen una alta cantidad de oro, no necesitan ser chancados y producto de la propia actividad minera se pierde, ya que se depositan en la superficies interior mina como puntos de traspaso, en el mismo acarreo interior mina o en los maderos usados para fortificar las labores mineras.

<p>el tonelaje de material a remover y tratar, aumentando los costos operativos en la planta por el incremento del proceso de chancado, además, reduce la eficiencia del molino. En el año 2013 la dilución alcanzó el 46%, con una ley de oro 7,53 gr/ton.</p> <p>En la labor minera, la veta normalmente debe estar en la parte central; se observó que éstas se encontraban al lado izquierdo, lo que significa que se produjeron desviaciones en la dirección planificada del túnel minero.</p>	<p>seguimiento en la construcción de los túneles mineros para que los cuerpos mineralizados (vetas), queden ubicados al medio de la frente del túnel minero, que posibilite realizar un circado y evitar la dilución. Es fundamental el seguimiento y control a los planes mineros, para identificar desviaciones y realizar las correcciones oportunamente, de tal forma de cumplir con las métricas establecidas.</p>
<p>El alto grado de dureza del agua tiene un efecto negativo sobre la capacidad del carbón activado para adsorber los ciano-complejos del oro.</p>	<p>Dado los volúmenes de agua a tratar, reducir la dureza del agua de proceso hasta valores alrededor de 200 ppm de CaCO₃ en solución.</p>
<p>El contenido de cobre en la solución a lixiviar es perjudicial para la efectividad de la adsorción aurífera en el carbón activado. La fuente del cobre son los sulfuros de minerales cupríferos (calcopirita, bornita, etc.) y sus productos de la oxidación; éstos se diluyen parcialmente en la solución del proceso y se acumulan por el reciclaje de aguas del tranque de relave o de la separación sólido líquido de los relaves. Actualmente, el tenor de cobre en solución es alrededor de 1.200 ppm.</p>	<p>Reducir el tenor de cobre a la mitad, es decir 600 ppm, de tal forma que el cobre no actué como un cianocida en la lixiviación aurífera.</p>
<p>La mina tiene cuantificado su consumo energético global pero no tiene medios para establecer un balance de los diferentes equipos principales (compresores, aspiradora, molinos, celdas para cianuración, separación sólido-líquido, planta de tratamiento de aguas servidas del campamento).</p>	<p>Medir la energía eléctrica en las líneas troncales y documentar el consumo energético, de tal forma de realizar un balance energético de los equipos críticos, que permitirá el diseño de un plan de ahorro de energía.</p>
<p>El consumo eléctrico de los equipos está cerca del límite del suministro acordado con SEAL. Los mayores problemas se producen con los picos de demanda en el arranque de equipos y maquinarias.</p>	<p>Reducir los picos de demanda aplicando gestión en la utilización de los activos y las actividades operativas.</p>
<p>La Mina B (MYSAC) tiene un acceso limitado al suministro de energía eléctrica con el SEAL, lo que imposibilita aumentos del consumo en los procesos de mina y planta. La cartera de proyectos tiene previsto aumentar la demanda de energía eléctrica, sin embargo, algunos consumos proyectados se realizarán de forma periódica.</p>	<p>Considerar alternativamente el uso de energía fotovoltaica, tomando en cuenta que algunos procesos operaran de forma periódica, fomentando el uso de energías renovables en la industria minera.</p>
<p>En interior mina, las tuberías de aire comprimido recorren distancias mayores a 500 m desde la sala de compresores hasta los frentes de trabajo, teniendo caídas de presión relevantes por fugas y pérdidas debido a rozamientos dentro de la red de mangueras o tubos de distribución.</p>	<p>Mejorar la instalación del sistema de aire comprimido, acortando las distancias desde la salida del suministro hasta las frentes de trabajo, por otra parte, se debería homogenizar el flujo de aire y reducir las pérdidas de presión, como también, mejorar la red de cañerías de distribución.</p>

Fuente: Informe de Mina B (MYSAC), BGR mayo de 2017.

Soluciones tecnológicas Caso de estudio B de Perú (MYSAC)

En primer lugar, la separación sólido-líquido de los relaves con la instalación de un equipo espesador, que se estima recuperará un 40% del agua contenida en el relave. El sistema considera aguas abajo del espesador, dos filtros que recuperan aproximadamente el 50% del agua restante contenida, quedando finalmente un relave con aproximadamente 10% de humedad, llamado “torta”. En la etapa de filtrado se incluiría el lavado del relave, lo que removería la mayor parte del cianuro soluble remanente en la “torta”.

La mayor restricción al uso de relaves filtrados es el costo de capital y operación, en comparación con depositar de forma convencional las colas de relave (véase cuadro 5).

El nuevo sistema permitirá disminuir las pérdidas de agua en el relave al reducir el contenido de agua desde el 60% hasta un rango entre 10% a 15%. De esta manera, se reduciría el consumo de agua fresca en la planta, desde una cantidad promedio de 138,57 m³/día, hasta cerca de 28,16 m³/día. Además se debe rediseñar el depósito de relaves, que albergará el nuevo relave seco y compactado, con una mínima concentración de cianuro soluble producto del espesado y filtrado.

La Mina B (MYSAC) está financiando el proyecto a través de una Línea de Crédito Ambiental (LCA), que es una iniciativa a nivel de países latinoamericanos apoyados por el gobierno Suizo. El organismo de tutela es el Centro de Ecoeficiencia y Responsabilidad Social (CER), que ha

evaluado el proyecto y aprobado su financiamiento. Algunas restricciones para los relaves filtrados son cuando se aplica en zonas de precipitaciones altas a moderadas, y cuando se necesita compactación. Además, tiene la ventaja de reducir el agua y los volúmenes utilizados para su depositación. Finalmente, incluye un grado de mitigación de riesgos ambientales.

Cuadro 6
Valoración del proyecto de separación sólido-líquido, MYSAC

Rubro	Descripción	Costo Total (USD)
	01 Holding tank	14 857,58
Sistema de separación sólido/líquido	02 Espesador vertical $\phi=4.50\text{m} \times h=10.0\text{m}$	86 831,00
	03 Montaje de espesador vertical	25 108,00
	04 Filtro prensa (*)	246 280,00
Sistema mejorado de preparación de solución de cianuro	01 Tanque preparación de cianuro	47 983,00
	02 Montaje de tanque preparación de cianuro	16 107,00
	03 Compresora eléctrica 200s-200h	66 770,00
Rediseño de depósito de relaves	01 Equipamiento complementario filtros prensa (*)	44 260,00
Obras civiles		234 151,89
Nacionalización		36 317,50
Valor neto del proyecto		818 665,97
Servicios del CER durante todo el proceso LCA (8%, no incluye IGV)		65 493,28
Valor total del proyecto		884 159,25
(*) Equipamiento sometido a proceso de nacionalización (importación de China)		

Fuente: Informe de Mina B (MYSAC), BGR mayo de 2017.

En segundo lugar, las áreas de geología y mina de MYSAC elaboraron el Plan de Acción-Control de Dilución de la mina en cumplimiento de los programas de producción y leyes. Las herramientas de gestión implementadas en la operación mina son cartilla de leyes, planos de muestreo, cartilla de medición de dilución y reportes de lotes, que permiten la clasificación adecuada del mineral enviado a la planta de beneficio. Además, realizar seguimiento y control del plan de acción propuesto, para identificar las desviaciones respecto a lo planificado, y realizar las correcciones oportunamente, de tal forma de cumplir con las métricas establecidas. Algunas herramientas en la operación son marcar la veta en las labores, para identificar la zona mineralizada de tal forma que la realización de la perforación y voladura sea correcta. Por otra parte se realizó un programa de capacitación a todo nivel sobre las mejoras a implementar.

Se implementó un muestreo sistemático en una red muy densa (cada 2 metros), se instruyó a los mineros sobre la situación de la veta, se implementa una explotación selectiva, que consta de las siguientes etapas: i) volar solamente la veta, ii) limpiar el material y, iii) ampliar el tajo por la caja, dejando el material estéril como relleno (selección positiva). Se utilizaron avances cortos, realizando perforaciones cortas de 2 a 3 pies de largo, así como con un pallaqueo del material extraído (selección negativa).

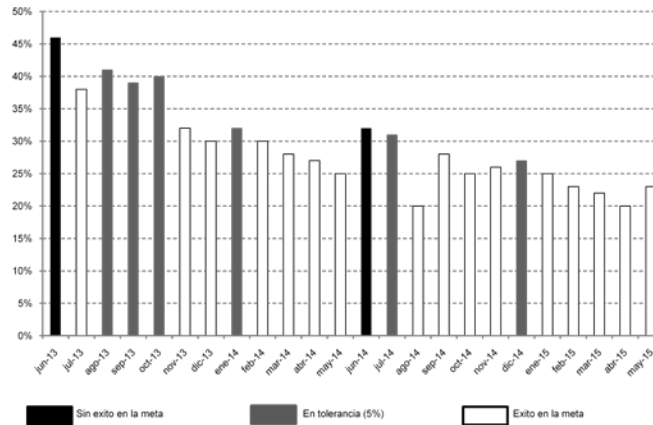
Se minimizó la pérdida de finos mediante el uso de orebags⁶⁵, que retienen los finos de las tolvas de madera instaladas en los tajos de explotación, cuando tienen la cantidad suficiente de finos, son abiertos para acumular el material en los carros mineros.

La mina integro un sistema de succión HVT30EMV, que permite recuperar material húmedo, seco y polvo mediante la succión de un área específica en la mina/planta. Solo con los finos colectados, se ha podido recuperar su inversión de US\$ 70.000, en el lapso de dos meses, aumentando la ley de cabeza.

⁶⁵ Los orebags son pedazos de caucho instalados al borde de la tolva.

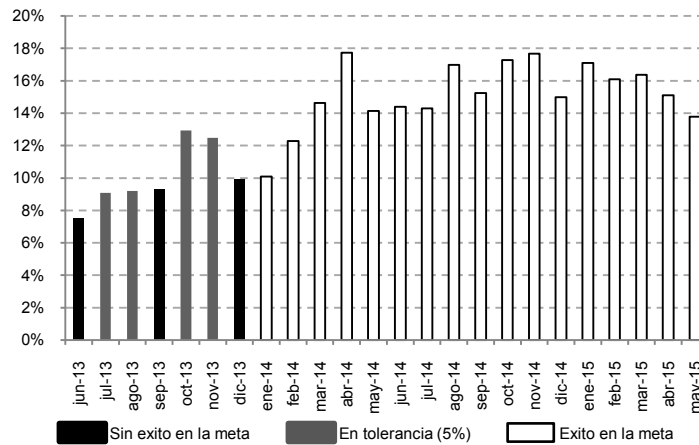
De todas las acciones realizadas, los resultados obtenidos son la reducción de la dilución hasta el 23%, como también, un aumento de la ley a 13,78%. La evolución tanto de la dilución como las leyes se observan en los siguientes gráficos.

Gráfico 28
Indicador de dilución de ley Mina Caso B (MYSAC)
(En porcentaje)



Fuente: Sobre la base de datos del informe de Mina B (MYSAC), BGR mayo de 2017.

Gráfico 29
Leyes de mineral Mina Caso B (MYSAC)
(En porcentaje)



Fuente: Sobre la base de datos del informe de Mina B (MYSAC), BGR mayo de 2017.

La disminución de la dilución aumenta la cantidad de mena y disminuye la ganga, procesando menor cantidad de material estéril en la planta, lo que hace más eficiente el proceso de molienda y de lixiviación. El consumo unitario de energía fue de 14 kwh/t en la molienda y de 20 kwh/t en la concentración total. Respecto a la utilización de agua se llegó a 0.9 m³/t de mineral tratado.

En tercer lugar, la reducción de la dureza del agua se lleva a cabo utilizando el equipo para desorción de la cal del carbón activado. La solución propuesta de carbón activado y la adición de orto fosfatos es químicamente favorable, porque requiere un medio básico, que existe dentro de las soluciones de cianuración. Se debe analizar si los reactivos serán perjudiciales en el proceso de lixiviación de oro. La adsorción de calcio mediante carbón activado es aplicado en Mina B (MYSAC), sólo faltaría la instalación de equipos de desorción mediante ácido clorhídrico para poder reutilizar el carbón activado.

En cuarto lugar, realizar un tratamiento a las soluciones barren recicladas (reducción de Cu en solución). Técnicamente, se podría considerar una deposición electro-química del cobre. Este proceso podría ser realizado periódicamente, utilizando energía solar.

En quinto lugar, instalar medidores de energía eléctrica y establecer un balance energético. La instalación de medidores de energía eléctrica, debería realizarse en las líneas troncales, como también el almacenamiento y documentación de los datos del consumo energético, para poder realizar el balance energético de los equipos críticos.

En sexto lugar, instalar tableros para cada equipo eléctrico, de tal forma de poder secuenciar el arranque de maquinaria y reducir picos en la demanda. A través de los tableros, establecer un orden programado para arranques secuenciales, además, estos deben ser tableros con capacitadores para poder minimizar los picos durante el arranque.

En séptimo lugar, como se indicó en el caso A de Perú, intercambiar experiencias con el proyecto 4E en Chile y estudiar opciones para generación de energías renovables para procesos minero-metalúrgicos.

En octavo lugar, instalar un pulmón de aire comprimido cerca de los frentes de trabajo en el nivel de producción. La instalación de un nuevo pulmón interior mina y su conexión con el otro pulmón/compresor existente mediante un tubo de gran diámetro (4 o 6 pulgadas). Además, se recomienda el desarrollo de una programación secuencial para las perforaciones.

B. Problemáticas en el uso eficiente de agua y energía

Existen varias problemáticas que se generan si es que no se aplican las acciones necesarias para lograr el uso eficiente de estos recursos. En primera instancia, los usos para variados fines del agua, hace que normalmente sea un recurso escaso, por una parte por los derechos asociados a su utilización, y por otra, por los distintos usos asociados como los asentamientos humanos, agricultura, industria y otros.

El cambio climático impone un desafío relevante, debido a que las predicciones meteorológicas con base en el comportamiento pasado de algunas cuencas, actualmente no tengan una relación tal de predecir un comportamiento futuro. Por esta razón, en zonas históricamente sin problemas de disponibilidad hídrica, se han estado registrando varias temporadas declaradas con sequía. Asociado a lo anterior, la disminución de niveles freáticos, o incluso el agotamiento de algunas napas subterráneas, son indicadores que se presentan con mayor frecuencia.

Además, tormentas de corta temporalidad, pero con muchas precipitaciones asociadas, en conjunto con una subida de la isoterma cero en las montañas, pueden generar deshielos de glaciares, que en conjunto con la gran cantidad de agua caída, generen aluviones en zonas normalmente áridas, de poco caudal en sus quebradas y ríos, causando destrucción de viviendas e infraestructura, que no han sido construidas con diseños que permitan soportar este tipo de eventos, como también, no han sido ubicadas en zonas de mayor seguridad respecto a la probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos naturales.

Desde otra perspectiva, la extracción minera ocurre habitualmente en cabeceras de cuenca, donde captan las aguas, las utilizan en sus procesos, y si los efluentes o aguas utilizadas no son tratadas pueden generar aguas abajo un impacto relevante en el ambiente, con consecuencias sobre el consumo humano, el consumo agrícola y a la biodiversidad presente en esas zonas.

Desde hace décadas que se generan relaves provenientes de los procesos de beneficio minero, que fueron depositados con condiciones mínimas de diseño y alto potencial de daño, en tiempos anteriores cuando la normativa no consideraba este tipo de cuestiones. Hoy en día se han transformado en pasivos ambientales mineros (PAMs), debido a que no tienen un responsable legal, por lo que el Estado debe encargarse de ellos, desde la generación del financiamiento, pasando por la gestión asociada y las consiguientes obras necesarias para asegurar su estabilidad, y establecer el seguimiento y control que deben realizarles en el tiempo.

Tanto en la zona norte de Chile, como en la parte sur del Perú, existe escasez hídrica, que ha ido aumentando en paralelo con el aumento de la cantidad de producción minera. Este tipo de situaciones debe gestionarse con todos los grupos de interés, de tal forma que las problemáticas relevadas, se puedan disminuir con las acciones del uso eficiente de este recurso. Respecto a la energía, es un insumo escaso y dificultoso de generar. Normalmente las explotaciones mineras se encuentran como enclaves en lugares inhóspitos (altura geográfica, desiertos, cordilleras) o alejadas de los núcleos urbanos, donde se encuentran disponibles la generación de energía. Luego, para poder acceder al insumo, las alternativas pasan por la construcción de hidroeléctricas (si se tienen los recursos económicos, hídricos y físicos), termoeléctricas o generadores eléctricos a base de combustibles fósiles. Actualmente, se han incluido energías renovables no convencionales, que han aportado a la potencia generada, pero que en algunas zonas tienen ciertas restricciones que dificultan su aplicación.

El consumo de energía, como se ha planteado en los procesos mineros, es intensivo y continuo durante todo el año, por lo que se necesita estabilidad y confiabilidad en el suministro, respondiendo a las características de esta industria. Las exigencias ambientales cada vez están más presentes en los grupos de interés, por esta razón, las políticas se están orientando para disminuir la generación de CO₂, uno de los componentes principales de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), como también, que las energías limpias, además de amigables con el medio ambiente, tengan menores costos de capital y de operación, de tal forma que sean opciones reales y atractivas respecto al interés económico. La eficiencia energética estaría orientada casi exclusivamente en el ahorro de energía sobre la base de una mejora tecnológica dentro del proceso de beneficio y obtención del *commodity*, más que en un cambio de conducta en el consumo de los productos comerciables de la explotación minera.

C. Oportunidades de mejora para el uso eficiente de agua y energía

Los distintos tipos de sectores económicos, en la producción de sus bienes o servicios tienen asociados una cantidad de procesos y subprocesos, que a menudo no son analizados o re evaluados mientras entregan resultados dentro de lo esperado. Cuando existen ciclos económicos desfavorables, o cuando un insumo estratégico se vuelve escaso, normalmente racionalizan el capital humano, o ajustan la producción para responder a sucesos exógenos que afectan la rentabilidad.

Sin embargo, cuando suceden acontecimientos de cambio, que se transforman en una nueva normalidad, es necesario re pensar o plantearse nuevos paradigmas que logren un cambio de enfoque, de tal forma de realizar de manera distinta las acciones coordinadas para lograr el producto o servicio, lo que significa un cambio tanto en las conductas de las personas (que realizan estas acciones), como también, cambios en la forma de realizar el trabajo, con eficiencia, cumpliendo con las exigencias socio-ambientales y que sean sostenibles. Las oportunidades de mejora se van identificando en la medida que se realizan acciones enfocadas a ciertos objetivos, en este caso, las auditorías realizadas relacionadas al uso de los recursos de agua y energía en los procesos mineros; Como también, al analizar, diagnosticar y evaluar algún proceso crítico, aplicando nuevas tecnologías, como es el caso de las TICs.

Cualquiera sea la forma que se utilice para analizar el estado de situación de la eficiencia en el uso de los recursos, es necesario identificar las acciones, procesos o equipos críticos, que definen los mayores consumos de agua o de energía, para cuantificar y caracterizar el proceso y sus equipos asociados; posteriormente, relevar las oportunidades de mejora que tengan mayor impacto, proponiendo cambios, que en algunos casos (pequeña y mediana minería) no necesariamente signifiquen la aplicación de tecnologías disruptivas o innovaciones. Esto se da en mayor medida en los casos en que los equipos son obsoletos, las técnicas son obsoletas o la infraestructura deficiente, por lo tanto, a estas oportunidades de mejora, se les pueden recomendar soluciones de tecnologías ya probadas (en la gran minería), que llevan un tiempo en utilización, pero que para ciertas explotaciones mineras, pueden significar un avance sustantivo en el uso eficiente de los recursos.

D. Soluciones tecnológicas y procedimientos innovativos para el uso eficiente de agua y energía

Actualmente no se observa una tecnología disruptiva en la industria minera, que signifique un quiebre en la forma de lograr el producto comerciable. Si se toman los proyectos y se aprecia la forma de como lograrán el producto comerciable, los equipos y los procesos son muy similares a los que actualmente se encuentran a plena producción. Desde el último salto tecnológico, asociado al gigantismo de equipos (en la década de los 90), la industria extractiva minera no ha visto cambios significativos en los equipos utilizados, aunque si mejoras en su diseño, generación de potencia motriz, materiales, utilización y algunos aún más grandes. Sin embargo, la utilización del mejoramiento continuo con sistemas de gestión como el Six sigma, o la metodología LEAN, han permitido mejoras significativas en la gestión de los procesos, además, la inclusión de las TIC's y sensores/instrumentación, ha potenciado los resultados favorables en la gestión de la disponibilidad y utilización de equipos, de los recursos humanos, en todo tipo de procedimientos, mayor productividad, disminución de la accidentabilidad, mejor control de los rises y los riles, de las emisiones permisibles de elementos contaminantes y en los costos de operación y comercialización.

Uno de los avances importantes ha sido el mejoramiento de los instrumentos de monitoreo y medición para distintos fines como: caudales, peso, temperatura, voltaje, sismicidad, movimiento, deformación, pH, asistencia, ubicación satelital, como una pequeña muestra de los que existen en el mercado. La disminución de los costos de estos instrumentos, la capacidad de registro de datos, almacenamiento y disponibilidad en línea mediante intranet o internet, permite su visualización en tiempo real y a distancia, lo que ha marcado una diferenciación en el sentido de que, si existe la capacidad de analizar los datos (que podrían ser multivariantes en varios procesos), se podría entender de manera más profunda el proceso mismo, identificando desviaciones, descubrir acciones causa-efecto, o incluso comprender distintos resultados debido a variaciones de los distintos componentes, que lleve a un entendimiento más informado y muy difícil de observar antes de la mejora de la instrumentación, de las TICs y la aplicación de la big data.

Según lo expuesto, normalmente las grandes compañías internacionales de explotación minera, tienen altos estándares de medición y control en todos sus procesos, como también, en la gestión general de la empresa, incluyendo las finanzas, la calidad, gestión del conocimiento, los recursos humanos, e incluso las posibles innovaciones que pudieran surgir. Los espacios de mejoras con tecnologías ya implementadas y probadas (en las grandes explotaciones), se podrían aplicar en la mediana y pequeña minería, en donde, la falta de tecnología y financiación, ha significado que muchos de sus procesos, equipos y gestión, puedan ser ampliamente mejoradas, mediante el traspaso de la tecnología, diseños, procesos y procedimientos, adaptándolos a su escala de explotación, sin que los costos de capital sean de gran envergadura.

Esto tendría impactos relevantes, tanto en la explotación misma, como en el entorno de esta, debido a que la sociedad y grupos de interés se verían beneficiados con un uso eficiente del agua en zonas con estrés hídrico. Mayor disponibilidad de energía a menor costo, una explotación más segura, menos contaminante, y con la posibilidad de mejorar continuamente todos los factores de riesgo que puedan repercutir en el medio ambiente y en los grupos de interés en torno de alguna explotación específica.

IV. Recomendación de políticas para los países andinos en el uso eficiente del agua y la energía en la minería

La promoción de la gobernanza de los recursos naturales propuesta por CEPAL, entre sus criterios, incluye acciones y recomendaciones concretas en relación a los impactos socio-ambientales relacionados con la utilización del agua, en el ordenamiento territorial, considerando criterios de la cuenca asociada, participación ciudadana, apoyo al mejoramiento de las instituciones gubernamentales, tanto en su gestión interinstitucional, como en los marcos normativos.

Respecto al uso eficiente de la energía, se tienen amplios estudios propositivos, tanto de generación “renovable” tradicional, como el uso de la geotermia y las energías renovables no convencionales. Junto a lo anterior, se ha realizado una constante investigación e implementación de la eficiencia energética, abordadas en las industrias de transporte, saneamiento y distribución, en el consumo de las personas, entre otras. Con este estudio, esa mirada se amplía hacia la industria minera.

Tomando en cuenta lo anterior, las políticas aplicables hacia un uso eficiente de los insumos estratégicos de agua y energía, estarían enfocadas desde varias perspectivas. Una orientación es la gestión de las rentas de los recursos mineros, que permita la creación de fondos orientados hacia la innovación, ciencia y tecnología, que podría diversificar y aumentar la capacidad de opciones que permitan hacer más eficiente el uso de estos insumos en los procesos mineros (como el caso de la regeneración de energía en las correas transportadoras).

Desde otra perspectiva, fortalecer las exigencias ambientales, permitiría darle un normativo, que favorezca el uso de energías limpias que incorpore los criterios de eficiencia, y que proporcione elementos orientados a relevar la información del uso del agua, desde las fuentes de captación, formas de accesibilidad, uso, consumo y efluentes, con el propósito de poder gestionar el recurso hídrico dentro de la cadena de obtención del producto comerciable.

La participación ciudadana de los asentamientos aledaños a las explotaciones mineras, o las poblaciones que se encuentren dentro del rango de influencia de las instalaciones y operaciones mineras (plantas de captación de agua marina, desaladoras, tranques de relave, concentra ductos, u otros), se hace cada vez más necesario. Es por esta razón que es relevante plantear mecanismos y estructuras de participación efectiva, que incluyan convocatoria y cuenten con el criterio fundamental de mantener a la población informada. La incorporación de la trazabilidad y opciones reales en la toma de decisiones respecto a las negociación de contratos, aprobación de EIA, gestión del territorio, y

por sobre todo, ser garantes o participen directamente en el monitoreo y seguimiento en las etapas de exploración y explotación.

Todo ello constituiría uno de los avances de mayor impacto para la generación de políticas, incorporando la acción coordinada de la población perteneciente al territorio explotado (recursos naturales) por terceros (incluyendo el Estado).

Establecer acuerdos con comunidades indígenas, basados en los estándares de la OIT⁶⁶, podría generar externalidades positivas en proyectos y usos de los recursos de los territorios pertenecientes a estos grupos, debido a que los diseños de infraestructura y explotación, estarían en concordancia con los intereses de los habitantes, en el sentido de generar los menores impactos sociales, económicos y ambientales como la generación de energía limpia y su uso eficiente, el uso y consumo del agua, y en la gestión de los efluentes asociados.

El fortalecimiento de las interacciones institucionales, supone un avance relevante en las políticas de uso eficiente de los insumos estratégicos para la industria minera. Ministerios públicos de Ambiente, Minas, Energía y los servicios encargados de la gestión del agua, serían de alto impacto en la definición de instrumentos que soporten y promuevan la eficiencia en el uso del agua y la energía desde una perspectiva local. Así, las recomendaciones de políticas integradas, podrían suponer un mayor valor agregado, con alto impacto social y ambiental, además de establecer reglas claras a los agentes que explotan los recursos naturales, de tal forma que puedan gestionar su productividad, disminuyendo los riesgos asociados de paralización de proyectos, o cambios en la normativa, que no estuvieran consideradas, y que les generaría un aumento en el valor de la inversión, o en el costo de la operación.

La integración regional relacionada a los estándares de cómo levantar la información, relacionada con el uso del agua y la energía en las distintas operaciones mineras, abarcando todos los minerales, y el tamaño de la explotación (pequeña, mediana y gran minería), sería un avance significativo en la gestión de los recursos de agua y energía. Principalmente porque, si bien en varias zonas geográficas existe disponibilidad de agua, en muchos de estos lugares el acceso al recurso se hace complejo y costoso por la falta o deterioro de la infraestructura, y pérdidas en muchos casos.

Respecto a la generación y uso de la energía, sucede algo similar, si bien existen fuentes primarias para la generación, las condiciones ambientales, decisión política, financiamiento y otros, podrían ser un obstáculo para la implementación de plantas fotovoltaicas, campos eólicos, geotermia u otras energías renovables. Es por esta razón, que mantener una integración de la información del uso de estos insumos, podría significar una verdadera cooperación sur-sur, con alto impacto en las personas, en el cuidado al medio ambiente, y en la integración regional que posibilite disminuir la desigualdad, aumentar la calidad de vida, y que el desarrollo sea sostenible e inclusivo, uno de los mandatos principales de la agenda 2030. Disminuir la brecha de infraestructura, por ejemplo, es un desafío regional, que impactaría a varios ODS's.

A. Enfoques para el mejoramiento en la utilización del agua y la energía

El enfoque principal es lograr la medición a todo nivel del uso de estos recursos. Al observar un panorama general en el uso del agua, existen falencias en la cuantificación de balances generales, es decir, en términos totales anuales cuanto se captó, usó, consumió y cuanto se devuelve al medio ambiente y en qué condiciones. La situación es heterogénea, en la gran minería existen los medios

⁶⁶ Organización Internacional del Trabajo (OIT), Convenio 169 sobre pueblos indígenas y tribales en países independientes y la consulta previa a los pueblos indígenas en proyectos de inversión.

económicos y la capacidad técnica para medir y analizar este tema; sin embargo, en la mediana y pequeña minería se observan las mayores oportunidades para incorporar estos criterios y capacidades.

El desafío sería obtener desde los balances generales del uso del agua, hasta los más específicos, desagregando los distintos procesos que utilicen agua, clasificándolos según el volumen utilizado, y posteriormente jerarquizándolos, para poder aplicar la gestión del uso del recurso, en términos generales.

El mismo proceso antes descrito se debe aplicar en el consumo y utilización de la energía, la diferencia radica en las fuentes de energía, las que de forma similar deben cuantificar, para posteriormente repetir el proceso de los balances generales, y específicos por proceso, intensidad de consumo, jerarquización y aplicación de la gestión. Luego, se podría dar el siguiente paso para la eficiencia en el uso de estos recursos. Actualmente, tanto los instrumentos de medición para distintos fines, como sensores, son bastante asequibles económicamente si se comparan con el costo que tenían hace 10 o 15 años atrás. Misma situación con los equipos de almacenamiento de datos, modelos matemáticos, hardware y software, y todos los equipos asociados a la transferencia de información (internet).

El financiamiento es una dimensión relevante para estas iniciativas. Como se indicó en los casos de estudios, existen operaciones mineras que han implementado proyectos gracias al aporte económico de ONG's internacionales que fomentan los procesos amigables con el medio ambiente. Consecuentemente, estos pequeños operadores, cuentan con carteras de proyectos, que necesitan ser financiados. La gestión de las rentas mineras a través de los fondos de innovación, ciencia y tecnología, podrían ser ampliadas a infraestructuras específicas que eviten pérdidas y posibiliten hacer más eficiente el uso de estos recursos.

Otra cuestión destacable es la generación de políticas específicas para estos fines, que se estipulen dentro de las macro políticas ambientales, sociales, de explotación de los recursos así como todas las necesidades e iniciativas generadas, cuenten con un marco normativo, fondos disponibles para el financiamiento, y tecnologías probadas para aplicarlas en operaciones que presenten obsolescencia, o que no cuenten con procesos y equipamiento para medición, o para mejorar su eficiencia en el uso del agua o la energía.

Desde la perspectiva para la preservación de ecosistemas de montañas y cabeceras de cuenca, donde se encuentra una vasta extensión de área de glaciares en las zonas más áridas del norte de Chile y sur del Perú, que son una fuente natural importante de disponibilidad y acceso de agua, sobre todo utilizada en usos múltiples, se hace necesaria una regulación que proteja la destrucción de estos recursos hídricos, que los defina claramente, y precise su área de influencia, como también, que sea oportuna en los momentos que se generen divergencias debido a estos temas. En Chile, un caso emblemático es el proyecto minero de Pascua-Lama, aunque no tiene autorización para operar, no se cuenta con un marco regulatorio, después de varios años de tramitación legislativa⁶⁷.

Finalmente, un foco trascendente es la estandarización en el levantamiento de información estadística, en las distintas instituciones asociadas a la explotación minera, en los países de la región. Esto permitiría comparar y analizar la utilización del agua y la energía, sus fuentes, y las innovaciones aplicadas, de tal forma que se puedan replicar a través de adaptaciones en otras zonas y países, apuntando a la eficiencia en el uso de estos recursos a nivel regional y permitir construir modelos de Benchmarking con los países.

Una forma de concretar estos focos es a través de la realización periódica de seminarios regionales de diálogos de alto nivel, asociados a fines de generación de políticas, como también con apoyo técnico de especialistas, haciendo hincapié en la necesidad de estandarizar y aplicar criterios de ISO internacionales.

⁶⁷ Un ejemplo importante es la Ley 26.639 “Régimen de Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial”, de la República de Argentina, promulgada en octubre de 2010.

B. Acciones para el uso eficiente del agua y la energía en proceso minero

Actualmente, se han identificado distintas acciones en los países elegidos, que están en línea con los enfoques propuestos, tanto en Chile como Perú especialmente en el mejoramiento de su gestión institucional.

En el caso de Chile, se puede obtener la información que periódicamente publica la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO), quienes tienen estandarizado un proceso de encuestas, con el fin de obtener la información del consumo. Representa más del 97% de la producción de cobre en el país. Como productos, indican el consumo de agua y otro de energía en la industria minera del cobre, además, sobre la base de la información de los proyectos mineros, indican una proyección tanto del consumo del agua, como de la energía (la última publicación del año 2017, considera como horizonte el año 2027). Esta información, es una parte de toda la información que levanta esta institución en relación a la industria minera, es pública y utilizada tanto por el órgano legislativo, como por el ejecutivo apoyando la realización de políticas sectoriales. Por otra parte, es ampliamente difundida en el mundo académico y gremial.

Otra línea de acción es la que realiza SENACE en Perú, institución que pertenece al ministerio de medio ambiente. SENACE es una institución incipiente, tiene dos años desde su nacimiento, y actualmente se encuentra operativa; sus proyecciones son transformarse en la ventanilla única en relación a la gestión de las 14 certificaciones más relevantes que se les exige a los proyectos mineros (de la gran y mediana minería); sin embargo, actualmente sólo se encuentran certificando el área ambiental. Uno de sus objetivos centrales es encargarse de todas las industrias que necesitan certificación ambiental, no sólo de la industria extractiva minera. Esto es un ejemplo de gestión interinstitucional, debido a que las certificaciones que gestiona incluyen al ministerio de energía y minas y a la ANA entre otras instituciones.

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) del Perú, tiene a cargo la fiscalización asociada con el agua y la industria minera según la normativa asociada a “descarga cero”. OEFA tiene la responsabilidad de dar incentivos y un certificado final en la reutilización del agua. Según información proporcionada en entrevista con especialistas de OEFA (una de las actividades del proyecto vinculado a esta publicación), el manejo de aguas residuales en la industria minera se encontraría en aproximadamente un 70% de cumplimiento de los límites permisibles, esto debido a que algunas fuentes de contaminación se deben a situaciones naturales como las lluvias, percolaciones o infiltraciones que suceden hacia los botaderos, tranques o pilas. Una iniciativa relevante es que ONGs y comités de vigilancia se reúnen periódicamente con OEFA y los agentes privados, para gestionar el estado de situación respecto a los problemas ambientales y la normatividad. Algunas problemáticas debido a deshielos asociados al fenómeno del Niño y al cambio climático, estarían generando aguas ácidas, que en algunos sectores se las han cargado a los privados, entonces este organismo se encuentra realizando una ardua labor para identificar la procedencia de estas aguas ácidas, de tal forma de esclarecer si son debido a causas naturales o si algún privado no está cumpliendo la ley.

En Chile, el Ministerio de Energía y el Consejo Minero (que asocia a los productores de más del 97% de la producción de cobre y molibdeno del país), en el año 2014 formalizaron un convenio de cooperación para el uso eficiente de la energía en los procesos mineros, a través de la gestión energética, el uso de equipos y sistemas eficientes energéticamente, fomento de la innovación asociada a una cultura de eficiencia energética, incorporar en la etapa de proyectos y evaluación de diseños estos criterios, y promover en los grupos de interés el uso eficiente de los recursos energéticos, además de una búsqueda constante de oportunidades de optimización.

Estas acciones se inician con auditorías energéticas de cada uno de los miembros pertenecientes al consejo, para luego realizar e implementar un plan de acción. El Ministerio por su parte, ejerce acciones de apoyo y facilitación para el desarrollo de iniciativas que se establezcan dentro de este convenio. Debido a estas acciones conjuntas, se analizó y relevó información de las

implicancias de este compromiso país, las que fueron presentadas en la reunión del COP-21 celebrado en París en el año 2015 (OCDE, CEPAL, 2016)

Algunas reflexiones y recomendaciones sobre gobernanza y gestión ambiental serían:

- i) Desarrollar e implementar una política coherente de reglamentación de las emisiones de contaminantes del agua y del aire proveniente de fuentes fijas, que incluya la imposición de valores límite de emisiones y efluentes, considerando valores específicos a las plantas con potenciales menores de impacto ambiental.
- ii) Perfeccionar el proceso de realización de evaluaciones de impacto ambiental, con el fin de considerar incluir proyectos alternativos, garantizar la participación ciudadana en las etapas preliminares y otorgar más atención a los efectos ambientales potenciales, especialmente en los ecosistemas.
- iii) Aplicación del sistema de evaluación de impacto ambiental en los planes de desarrollo territorial, facultando a las municipalidades para ejercer un mejor control de la planificación territorial local, mediante el fortalecimiento de la función de los planes reguladores comunales y asegurar la implementación de las medidas de mitigación pertinentes.
- iv) Armonizar las políticas de cumplimiento y fiscalización de los organismos nacionales competentes con los del medio ambiente en el sector minero, fortaleciendo la capacidad fiscalizadora mediante la posibilidad de adoptar sanciones penales por delitos ambientales graves.
- v) Establecer un estricto régimen de responsabilidad por el daño futuro de los cuerpos de agua, el suelo, las especies y los ecosistemas; desarrollar e implementar normas y planes de rehabilitación, especialmente de suelos contaminados con metales pesados; facultar a la institución medio ambiental nacional para que haga cumplir las disposiciones sobre responsabilidad mediante medidas administrativas.
- vi) Establecer mecanismos financieros que permitan imponer cargos para la descontaminación de las plantas industriales y las faenas mineras en incumplimiento, y asignar los ingresos pertinentes al establecimiento de un fondo destinado a descontaminar aguas y suelos ya contaminados.
- vii) Redoblar los esfuerzos de monitoreo y control del uso de recursos (entre otros, energéticos e hídricos) y de los efectos ambientales de las faenas mineras medianas y pequeñas. Facilitar la adopción de nuevos procesos y tecnologías para incrementar su eficiencia y seguridad.
- viii) Perfeccionar las bases de datos, con el fin de facilitar la adopción de medidas ambientales, mediante la ampliación de la recopilación y el manejo de información sobre asignación, extracción y calidad del agua, contaminación atmosférica y protección de la diversidad biológica, Mantención y actualización frecuente de registros de los riesgos que presentan los sitios contaminados abandonados, entre otros, y ponerla a disposición de la ciudadanía y de los organismos internacionales, con el propósito de avanzar hacia la Democracia ambiental.

V. Seminario subregional en CEPAL, noviembre de 2016

En el mes de noviembre, la División de Recursos Naturales e Infraestructura de la CEPAL sobre la base de la agenda 2030 y sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), realizó la semana de la gobernanza de los Recursos Naturales y de la Infraestructura. Este dialogo regional de alto nivel, fue realizado con el propósito de relevar la importancia de implementar la gobernanza de los recursos naturales y de la infraestructura, como medio para lograr los ODSs.

En el seminario se mencionó que los países de la región han tenido un lento avance en cuestiones relativas a la gobernanza, perdiendo una oportunidad importante en el último auge de precios de los *commodities*, de poder apalancar un desarrollo sostenible, inclusivo, igualitario, con una importante participación social y que sea amigable con todos los aspectos medioambientales.

La misma situación acontece con la infraestructura, existiendo una brecha persistente de esta en la región, sumada a una ineficiente provisión de servicios asociados, que a la postre, dificultan la definición e implementación de políticas públicas que encaminen a los países hacia el crecimiento con igualdad.

Debido a la existencia de temáticas transversales entre los recursos naturales y la infraestructura, que esta División aborda, se hace necesaria la incorporación de estas distintas dimensiones a la discusión sectorial, por esta razón, el seminario fue realizado para generar un espacio de conocimiento, dialogo y discusión sobre estos temas que están muy presentes en la realidad de los distintos países asociados.

Respecto a la cooperación Alemana, consciente de la importancia del sector extractivo de países andinos como Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Perú, y del potencial que tienen para aportar decisivamente a su desarrollo, por medio de la GIZ y la BGR implementan el programa “Cooperación regional para la gestión sustentable de los recursos mineros”, que tiene entre sus objetivos favorecer el intercambio regional y apoyar la gestión sostenible en la explotación de sus recursos minerales.

El seminario tuvo una duración de 5 días, en donde se realizaron distintas mesas de dialogo regional, como también, el día jueves 10, la CEPAL, la GIZ y la BGR realizaron el “Taller Técnico sobre Minería Responsable y Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”, en donde los países participantes compartieron sus experiencias, desafíos y recomendaciones de los pasos a seguir. Sobre la base del resumen del taller realizado por GIZ, a continuación se indican los aspectos relevantes.

Los objetivos principales del Taller fueron:

- Conocer y debatir sobre las realidades y experiencias exitosas de países de América Latina en la gestión de sus recursos minerales.
- Discutir sobre las necesidades de los países que puedan orientar una cooperación regional entre la CEPAL y los países de América Latina y el Caribe.

Los países que participaron son: Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Perú y República Dominicana. El nivel de los representantes de cada país era de Directores, Sub Secretarios y Coordinadores Generales de las instituciones mineras de sus respectivos países.

La dinámica del taller fue programada para que durante la mañana se realizaran presentaciones, que tenían como propósito dar a conocer información e incentivar a los participantes, para el trabajo posterior de 3 mesas redondas, realizadas durante la tarde.

En la Mesa Redonda 1 se analizó el tema de “Los desafíos de la gobernanza de los recursos naturales minerales”. A modo de introducción, indicaron la situación en la región en los años del boom de precios de productos primarios y de cómo, al ser muy dependientes de este tipo de exportaciones, las economías de los países latinoamericanos se han visto fuertemente impactadas por el escenario de precios a la baja.

Esto presiona a mejorar la gestión de los gobiernos, para responder a las necesidades de la población, a la vez que deja de manifiesto la dependencia de estas economías a los ciclos de precios, hace necesario una planificación de largo plazo para maximizar los beneficios en épocas de precios altos, y mitigar los impactos en los períodos de precios bajos; fomentando la reconversión productiva en industrias u otras actividades económicas que no dependan de los ciclos de precios, de tal manera que se configure un crecimiento sostenido y sostenible.

Otros desafíos relevados, fueron los impactos causados por la minería en el medio ambiente, como la utilización de metales tóxicos (mercurio) en la recuperación del oro, superposición de actividades mineras y zonas de protección/conservación ambiental, un adecuado acceso a la información, participación y justicia en temas medio ambientales y el uso que hace la actividad de recursos como el agua y el suelo.

Las preguntas realizadas a los participantes, para reflexionar al respecto y compartir sus experiencias fueron:

- ¿Con respecto a la gobernanza de los RR.NN. minerales qué retos y expectativas están identificados?
- ¿Existen discusiones/trabajos para relacionar el sector minero con la agenda 2030 en su país?
- ¿Cuáles son sus expectativas sobre la cooperación entre los países y la CEPAL para la gobernanza de los RR.NN.?

Al respecto, los países mencionaron la importancia de hacer análisis con un componente importante de planificación territorial, de manera que se evidencien los impactos positivos de la minería en el lugar en donde se realiza, que hayan argumentos para demostrar que esta actividad es la que mayor desarrollo y crecimiento puede dar a las regiones productoras, a la vez que por medio de este instrumento se puede buscar una mejor relación entre la minería y otras actividades productivas.

Ante estos desafíos los países muestran un interés creciente en desarrollar nueva institucionalidad (p.ej. la creación del ministerio de minería en Ecuador) o de fortalecer la existente.

Respecto al trabajo sobre los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), hay plena conciencia del potencial que el sector minero tiene para contribuir al cumplimiento de la agenda 2030. Algunos países están trabajando de modo interministerial, y por otro lado, algunos trabajos en marcha se acoplan a los objetivos de la agenda (p.ej. la agenda para equidad de género en el sector minero en Chile).

Finalmente, y sobre la pregunta de las expectativas de cooperación con la CEPAL, se puede resumir en puntos muy concretos:

- Apoyo técnico.
- Intercambio e integración regional.
- Sistematización de buenas prácticas.

En la Mesa Redonda 2 se trató el tema de “Minería y conflictos sociales”. Debido al creciente aumento de los conflictos sociales causados por las actividades extractivas, la segunda mesa refirió sus preguntas como sigue:

- ¿Cuáles son los factores principales de conflictividad en y alrededor de la minería en su país?
- ¿Qué estrategias se han utilizado para enfrentar estas situaciones?
- ¿Existen experiencias exitosas en su país con respecto al manejo de conflictos mineros que pueda compartir?

Los principales factores de conflictividad identificados entorno de la actividad minera son: impactos ambientales de las actividades extractivas, el uso y la posible contaminación del agua; impactos sociales como la falta de información, comunicación, desconocimiento de la actividad, falta de educación, escaso empleo y beneficios de la industria minera hacia los pobladores locales e insuficientes mecanismos para el diálogo entre el Estado, el sector privado y las comunidades.

Se destacan la percepción de los pueblos indígenas sobre el uso de los recursos naturales, que es diferente a la percepción de otros grupos de interés, y las dificultades para la participación de las comunidades. Un problema importante es la minería ilegal, que debido a sus características genera complejos conflictos humanos, sociales, legales y ambientales, entre otros.

Como mecanismos de control y mitigación de los conflictos sociales, los participantes compartieron y discutieron las experiencias de sus respectivos países. La estrategia principal es mejorar los mecanismos de participación y diálogo entre los diferentes actores involucrados en la minería. Así, todos los países asistentes han adoptado el convenio 169 de la OIT, que se refiere al derecho a la consulta previa, para garantizar la participación de las comunidades indígenas.

Algunos países implementaron mecanismos participativos como mesas de diálogo para fortalecer el diálogo entre el sector privado, el Estado y las comunidades afectadas; así como la adopción de estándares internacionales como el EITI, que es implementado por 5 países en la región, 3 de ellos presentes en el taller (Colombia, Perú y República Dominicana). Otras medidas que los países han utilizado son la creación de grupos especiales interdisciplinarios de persecución a la extracción ilegal (Colombia), pasantías mineras (Perú), creación de instituciones y programas ambientales (Chile). Los participantes mencionaron también algunas experiencias y casos exitosos para evitar y responder a los conflictos sociales en el sector minero.

Algunas conclusiones del diálogo fueron que para disminuir y prevenir estos conflictos sociales se requiere una buena gobernanza de los recursos y un desarrollo sostenible, para desplegar los siguientes desafíos:

- Asegurar mecanismos de participación y diálogo multi-actor.
- Ordenamiento territorial y creación de instituciones en territorio.
- Permisos sectoriales y ambientales.
- Garantizar transparencia.
- Lidar con el problema de la minería ilegal y formalización de la pequeña minería y/o artesanal.

En la Mesa Redonda 3, se presentó el tema “Desafíos de la gestión y regulación de los pasivos ambientales mineros (PAM) y cierre de minas”. Desde una posición técnica, el Servicio Nacional de

Geología y Minería de Chile (SERNAGEOMIN) dio una presentación sobre su experiencia con la implementación de la ley N° 20.551, sobre cierre de faenas e instalaciones mineras y faenas mineras abandonadas.

La gestión y regulación de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), normalmente está relacionado con los ámbitos del medio ambiente y las leyes de cierre de minas, como también, con las comunidades aledañas. Las preguntas para la discusión de ideas fueron:

- ¿Quién fiscaliza el cierre de minas, si es que hay una ley de cierre?
- ¿En su país, hay una regulación de los pasivos ambientales mineros y que se está regulando?
- ¿Quién asume la responsabilidad de los pasivos ambientales mineros y como será financiada su remediación?
- ¿Hay ejemplos de minería secundaria en su país?

SERNAGEOMIN aportó con casi todas las respuestas de las preguntas guías para esta mesa redonda. La ley de cierre chilena sería bastante completa, y actualmente no hay en la mayoría de los otros países. Los desafíos y experiencias exitosas en los otros países son distintos, por ejemplo, en Perú sólo existe un reglamento, en Argentina y Ecuador se está construyendo la ley. En los casos donde hay fiscalización del cierre de minas, ésta se realiza por la autoridad ambiental como el Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Minería o sus entidades adscritas, u otra autoridad competente.

En muchos países todavía no existe una regulación de los PAM's, sin embargo, son los Estados los responsables de impulsarla, realizarla e implementarla. En el caso de Perú, el Ministerio de Energía y Minas gestiona el manejo de los PAM originados por las antiguas explotaciones mineras. Éstos se identifican y caracterizan en 4 fases, determinan la responsabilidad, y generan instrumentos para la remediación a aplicar en la última fase.

Respecto a la minería secundaria, existen algunas experiencias de reprocesamiento de relaves en la gran, mediana y pequeña minería. En Potosí (Bolivia), se trata el material de desecho recuperando estaño, zinc y plata. La Mina Aguilar en Jujuy (Argentina), compra relaves para la recuperación en su planta de procesamiento, de la misma forma que la Mina Valle Central (Chile), que reprocesa relaves frescos y ya depositados de la mina El Teniente de CODELCO.

Bibliografía

- Aguilar Sánchez, C. (2012). Brazil: No Easy Miracle. Increasing Transparency and Accountability in the Extractive Industries (Working Paper Series 2012). Revenue Watch Institute and Transparency and Accountability Initiative. http://www.revenuewatch.org/sites/default/files/Brazil_TAI.pdf.
- Albino, G.V. (1994), "Time-pH-fO₂ Paths of Hydrothermal Fluids and the Origin of Quartz-Alunite- Gold Deposits"; United States Geological Survey, Bulletin 2081, pp. 33-42.
- Altomonte, H., Sánchez, R. (2016), "Hacia una nueva gobernanza de los recursos naturales en América Latina y el Caribe", Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2016.
- Anderson, C. (2008). The End of Theory: The Data Deluge Makes the Scientific Method Obsolete. *Wired Magazine*, (Science: Discoveries). http://www.wired.com/science/discoveries/magazine/16-07/pb_theory.
- Andrews, J. (2012), "Diseño de procesos para recuperar oro y plata desde el depósito de relaves de minera Meridian", proyecto para optar al título de ingeniero civil en metalurgia extractiva, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Escuela de Ingeniería Química. Valparaíso.
- Autoridad Nacional del Agua Perú (ANA) (2014), "Compendio nacional de estadísticas de recursos hídricos 2013". Lima, diciembre. <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/660>.
- _____(2015), "Compendio nacional de estadísticas de recursos hídricos 2014". Lima, diciembre. <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/661>.
- _____(2016), "Compendio nacional de estadísticas de recursos hídricos 2015". Lima, Noviembre. <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/672>.
- Banko, M., & Brill, E. (2001). Scaling to Very Very Large Corpora for Natural Language Disambiguation. In *Proceedings of the 39th Annual Meeting on Association for Computational Linguistics* (pp. 26-33). Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics. doi:10.3115/1073012.1073017.
- Berger, B.R. (1986), "Descriptive Model of Epithermal Quartz-Alunite Au; in *Mineral Deposit Models*", Cox, D.P. and Singer, D.A., Editors, U.S. Geological Survey, Bulletin 1693, p. 158.
- Bhattacharyya, Subhas (2011), *Energy Economics. Concepts, Issues, Markets and Governance*, Springer-Verlag.
- Bond, F. C. (1952), *The Third Theory of Comminution*, *Mining Engineering*, May pp 484-494.
- Brynjolfsson, E., Hitt, L. M., & Kim, H. H. (2011). Strength in Numbers: How Does Data-Driven Decisionmaking Affect Firm Performance? SSRN eLibrary. http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1819486.
- Buckee, C. O., Wesolowski, A., Eagle, N., Hansen, E., & Snow, R. W. (2013). Mobile phones and malaria: modeling human and parasite travel. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 11(1), 15–22. doi:10.1016/j.tmaid.2012.12.003.
- Cante, F., Trujillo, L. F. (2014). "Posibilidades de gobernabilidad y gobernanza en distintos tipos de minería". *Opera* N°14, pp. 27-45, Enero junio 2014.

- Cárdenas, R. (1994), "Metalurgia Extractiva del Oro. Bolivia". Imprenta FOCET "Imral".
- Carpio, C. Coviello, M. (2013), "Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: avances y desafíos del último quinquenio". Santiago, Documento de Proyecto.
- ___ (2010), "Energy Efficiency in Latin America and the Caribbean: situation and outlook". Santiago, Documento de proyecto.
- Castells, M. (2009). *The Rise of the Network Society: The Information Age: Economy, Society, and Culture Volume I* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Caves, C. (1990). Entropy and Information: How much information is needed to assign a probability? In W. H. Zurek (Ed.), *Complexity, Entropy and the Physics of Information* (pp. 91–115). Oxford: Westview Press.
- Christensen, B. (2012). *Smarter Analytics: Der Bäcker und das Wetter [the baker and the weather]*. <https://www.youtube.com/watch?v=dj5iWD2TVcM>.
- COCHILCO (2017), "consumo de agua en la minería del cobre 2016", Santiago, 2017.
- ___ (2017b), "Informe de Gestión 2016", Santiago, Marzo.
- ___ (2016a), "Proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2016-2027", Santiago, diciembre.
- ___ (2016b), "Proyección del consumo de energía eléctrica en la minería del cobre 2016-2027", Santiago, diciembre.
- ___ (2016c), "Informe sobre las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero al 2015", Santiago, Octubre.
- ___ (2016d), "Consumo de agua en la minería del cobre al 2015", Santiago, junio.
- ___ (2016e), "ANUARIO DE 1996-2015 ESTADÍSTICAS DEL COBRE Y OTROS MINERALES", Santiago, junio.
- ___ (2015), "Factores clave para el desarrollo de la minería en Chile", Santiago, septiembre.
- CODELCO (2017a), "Reporte de sustentabilidad 2016", Santiago.
- ___ (2017b) "Cooperación CEPAL-BGR-CODELCO-COCHILCO, Aporte CODELCO con su caso de negocio e innovación: "Alerta temprana Espesadores de Relaves", preparado para el proyecto de la eficiencia en el uso del agua y la energía en los procesos mineros de BGR-CEPAL, Gerencia Corporativa de Negocios e Innovación, GCNI de CODELCO & Kairos Mining, 8 Marzo.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)(2016), *Horizontes 2030: la igualdad en el centro del desarrollo sostenible (LC/G.2660/Rev.1)*, Santiago.
- ___ (2014), *Pactos para la igualdad: hacia un futuro sostenible (LC/G.2586(SES.35/3))*, Santiago.
- Davenport, W. G., King, M., Schlesinger, M. y Biswas, A. K. (2002), "Extractive Metallurgy of Copper", Elsevier Science Ltda, Pergamon.
- De Mauro, A., Greco, M., & Grimaldi, M. (2014). What is Big Data? A Consensual Definition and a Review of Key Research Topics. Presented at the 4th International Conference on Integrated Information, Madrid. doi:10.13140/2.1.2341.5048.
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) (2017), "Resumen Taller Técnico sobre Minería Responsable y la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible", Taller realizado en la semana de la Gobernanza de los Recursos Naturales y de la Infraestructura en CEPAL, Noviembre de 2016.
- Dirección General de Aguas (DGA), Chile (2016), "Atlas del Agua Chile 2016". Santiago, diciembre.
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A. (1999), "Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos". División de Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL, Santiago.
- Dutta, R., Sreedhar, R., & Ghosh, S. (2012). India: Development at a Price. Increasing Transparency and Accountability in the Extractive Industries (Working Paper Series 2012). Revenue Watch Institute and Transparency and Accountability Initiative. http://www.revenuewatch.org/sites/default/files/India_TAI_eng.pdf.
- Ellis, S., Senanayake, G. (2004), "The Effects of Dissolved Oxygen and Cyanide Dosage on Gold Extraction from a Pyrrhotite-Rich Ore". *Hydrometallurgy*, N°72. February.
- Embidi, A., Martín, L. (2017). "El Nexo entre el agua, la energía y la alimentación en América Latina y el Caribe". Series División de Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL, Santiago.
- ___ (2015), "La experiencia legislativa del decenio 2005-2015 en materia de aguas en América Latina", División de Recursos Naturales e Infraestructura, Cepal, Series N°173.
- Estrada, J.H. (2013). "Desarrollo del gas lutita (shale gas) y su impacto en el mercado energético". Documento de proyecto, CEPAL, México.
- Ferro, G., Lentini, E. J. (2015), "Eficiencia energética y regulación económica en los servicios de agua potable y alcantarillado", División de Recursos Naturales e Infraestructura, Cepal, Series N°170.

- Ferro, G., Lentini, E. y Romero, C. (2011), Eficiencia y su medición en prestadores de servicios de agua potable y alcantarillado, LC/W.385, Santiago, Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Frias-Martinez, V., & Virseda, J. (2013). Cell Phone Analytics: Scaling Human Behavior Studies into the Millions. *Information Technologies & International Development*, 9(2), pp. 35–50.
- Gell-Mann, M., & Lloyd, S. (1996). Information measures, effective complexity, and total information. *Complexity*, 2(1), 44–52.
- González, A.C. (2013). "Los retos de la gobernanza minero-energetico". Universidad Externado, Colombia.
- Gorre, I., Magulgad, E., & Ramos, C. A. (2012). Philippines: Seizing Opportunities. Increasing Transparency and Accountability in the Extractive Industries (Working Paper Series 2012). Revenue Watch Institute and Transparency and Accountability Initiative. http://www.revenuewatch.org/sites/default/files/Philippines_TAI.pdf.
- Gruhl, D., Guha, R., Kumar, R., Novak, J., & Tomkins, A. (2005). The Predictive Power of Online Chatter. In *Proceedings of the Eleventh ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery in Data Mining* (pp. 78–87). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/1081870.1081883.
- Halevy, A., Norvig, P., & Pereira, F. (2009). The Unreasonable Effectiveness of Data. *IEEE Intelligent Systems*, 24(2), 8–12.
- Hardy, Q. (2012). Bizarre Insights From Big Data. <http://bits.blogs.nytimes.com/2012/03/28/bizarre-insights-from-big-data/>.
- Hantke-Domas, M., Jouravlev, A. (2011). "Lineamientos de política pública para el sector de agua potable y saneamiento". Documento de proyecto, CEPAL, Santiago.
- Hardin, G. (1968). "The tragedy of the Commons". *Science*, N°162 (3859). December.
- Helbing, D., & Baliatti, S. (2010). From Social Data Mining to Forecasting Socio-Economic Crisis. arXiv:1012.0178. <http://arxiv.org/abs/1012.0178>.
- Heald, P., Foley, N.K., Hayba, D.O. (1987), "Comparative Anatomy of Volcanic-Hosted Epithermal Deposits: Acid-Sulfate and Adularia Types", *Economic Geology*, V.82, pp. 1-26.
- Henley, R.W. (1991), "Epithermal Gold Deposits in Volcanic Terranes; in *Gold Metallogeny and Exploration*", R.P. Foster, Editor, Blackie and Sons Ltd, Glasgow, pp. 133-164.
- Heres del Valle, D.R. (2015). "El cambio climático y la energía en América Latina". Documento de proyecto, CEPAL y EURO Clima, Santiago.
- Hilbert, M. (2014), "Big Data for Development: A Review of Promises and Challenges", *Development Policy Review*, Vol. N°34. January.
- _____(2010). When is Cheap, Cheap Enough to Bridge the Digital Divide? Modeling Income Related Structural Challenges of Technology Diffusion in Latin America. *World Development*, 38(5), 756–770.
- Hilbert, M., & López, P. (2011). The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information. *Science*, 332(6025), 60–65. doi:10.1126/science.1200970.
- _____(2012). How to Measure the World's Technological Capacity to Communicate, Store and Compute Information? Part I: results and scope. *International Journal of Communication*, 6, 956–979.
- Horta (ed.), 2010. Indicadores de políticas públicas en materia de eficiencia energética en América Latina y el Caribe, CEPAL, Santiago.
- Hufty, M., Báscolo, E. y Bazzani, R. (2006). "Gobernanza en salud. Un aporte conceptual y analítico para la investigación". *Cad. Saúde Pública*, N°22.
- IBM. (2011). Vestas: Turning climate into capital with big data (Case study). <http://public.dhe.ibm.com/common/ssi/ecm/en/imc14702usen/IMC14702USEN.PDF>.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú (INGEMMET) (2005), "Minería Pequeña Escala en la Costa Sur Media del Perú", Lima Perú, Junio.
- Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (2007), "Primer Estudio del Manejo del Agua en la Actividad Minera del Perú", Lima, Junio.
- International Energy Agency (IAE) (2016). "Key world energy statistics 2016".
- ITU (International Telecommunication Union). (2012). *Measuring the Information Society 2012*. Geneva: International Telecommunication Union, ITU-D. <http://www.itu.int/ITU-D/ict/publications/idi/>.
- Justo, J.B. (2013). "El Derecho Humano al Agua y Saneamiento frente a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM)". Documento de proyectos, CEPAL, 2013.
- Kickler, K., Franken, G. (2017). "Sustainability Schemes for Mineral Resources: A Comparative Overview". Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover.

- Kooiman, J. (1993), "Governance and Governability: using complexity, dynamics and diversity". *Modern Governance: New government – Social interactions* (35-48). London. Recuperado de: <https://www.sciencemag.org/content/162/3859/1243.full>.
- Kreuzer, F., y Wilmsmeier, G., (2014), "Eficiencia energética y movilidad en América Latina y el Caribe". Una hoja de ruta para la sostenibilidad. Santiago, Documento de Proyecto.
- Leal, C. (2010), "Aplicación del carbón activado en el proceso de extracción de oro y plata de la empresa minera "La Baja" en el municipio de California-Santander" Tesis de grado para optar al título de ingeniero metalúrgico, Universidad industrial de Santander, Facultad de ingenierías Físicoquímicas, escuela de ingeniería metalúrgica y ciencias de materiales, Bucaramanga.
- Letouzé, E. (2012). *Big Data for Development: Opportunities and Challenges* (White p). New York: United Nations Global Pulse. <http://www.unglobalpulse.org/projects/BigDataforDevelopment>.
- LaValle, S., Lesser, E., Shockley, R., Hopkins, M., & Kruschwitz, N. (2011). *Big Data, Analytics and the Path From Insights to Value*. MIT Sloan Management Review, Winter 2011. <http://sloanreview.mit.edu/article/big-data-analytics-and-the-path-from-insights-to-value/>.
- Lu, X., Wetter, E., Bharti, N., Tatem, A. J., & Bengtsson, L. (2013). Approaching the Limit of Predictability in Human Mobility. *Scientific Reports*, 3. doi:10.1038/srep02923.
- Lu, X., Bengtsson, L., & Holme, P. (2012). Predictability of population displacement after the 2010 Haiti earthquake. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(29), 11576–11581. doi:10.1073/pnas.1203882109.
- Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., & Hung Byers, A. (2011). *Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity*. McKinsey & Company. http://www.mckinsey.com/Insights/MGI/Research/Technology_and_Innovation/Big_data_The_next_frontier_for_innovation.
- Marsden, J., House, I. (1992). "The chemistry of gold extraction", Editor Ellis Horwood, New York, Chapter 6.
- Martínez, E. F., & Martínez, V. F. (2014, January 30). Method, computer programs and a use for the prediction of the socioeconomic level of a region. <http://www.google.com/patents/US20140032448>.
- Mining Association of Canada (MAC) (2014), "Towards Sustainable Mining Energy and Greenhouse Gas Emissions Management, Reference Guide", Canada, June.
- Ministerio de Relaciones Exteriores, Chile (2017). "Reporte Trimestral COMERCIO EXTERIOR DE CHILE enero – junio 2017". Departamento de Estudios, Dirección General de Relaciones Económicas Internacionales. Agosto 2017.
- Monge, C. y otros (2017), "Minería y marcos institucionales en la región andina", Lima, marzo.
- Moreno, R. (2012). *Mexico: A Moment of Opportunity. Increasing Transparency and Accountability in the Extractive Industries* (Working Paper Series 2012). Revenue Watch Institute and Transparency and Accountability Initiative. http://www.revenuwatch.org/sites/default/files/Mexico_TAI_eng.pdf.
- Mosier, D.L., Menzie, W.D. (1986), "Grade and Tonnage Model of Epithermal Quartz-Alunite Gold; in *Mineral Deposit Models*", Cox, D.P. and Singer, D.A., Editors, U.S. Geological Survey, Bulletin 1693, p. 158.
- Moumni, B., Frias-Martinez, V., & Frias-Martinez, E. (2013). Characterizing Social Response to Urban Earthquakes Using Cell-phone Network Data: The 2012 Oaxaca Earthquake. In *Proceedings of the 2013 ACM Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing Adjunct Publication* (pp. 1199-1208). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/2494091.2497350.
- Nature, International weekly journal of science, (2008). Community cleverness required. Editorial, 455(7209), 1–1. doi:10.1038/455001a.
- Oblasser, A. (2016). "Estudio sobre lineamientos, incentivos y regulación para el manejo de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), incluyendo cierre de faenas mineras Bolivia (Estado Plurinacional de), Chile, Colombia y el Perú". Serie, División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago.
- Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina, OCMAL, (2017), *Conflictos mineros en América Latina: extracción, saqueo y agresión, Estado de situación en 2016*.
- OCDE, CEPAL, 2016. "Evaluaciones del desempeño ambiental: Chile 2016".
- Olson, M. (1965), "The logics of collective action: Public goods and the theory of groups". Cambridge: Harvard University Press.
- Ostrom, E. (2010), "Beyond Markets and States: Polycentric Governance of Complex Economic Systems", *American Economic Review*, vol. 100, N° 3, June 2010 (pp. 641-72).

- _____(2009). "Governance and Institutions", *The Princeton Guide to Ecology*, Levin S., Princeton University.
- _____(1997). "Self-governance of common-pool resources". *Workshop in Political Theory and Policy Analysis*. Indiana: Indiana University.
- Panteleyev, A. (1991), "Gold in the Canadian Cordillera – A Focus on Epithermal and Deeper Deposits, Tectonic and Metallogeny in the Canadian Cordillera", B.C. Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, Paper 1991-4, pp. 163-212.
- Passos, V., Delgado, F. (2013). "Algunas reflexiones sobre la gestión integrada de las cuencas compartidas". IX Asamblea general mundial de la red internacional de organismos de cuenca Fortaleza (Brasil), 13 al 16 agosto de 2013.
- Peña, H. (2003), "Entrevista a Humberto Peña", *El Mercurio*, Santiago de Chile, 6 de mayo.
- Peters, M., Timmerhaus, K. (1991), "Plant design and economics for chemical engineers", United States, McGraw-Hill Book Co. Fourth Edition.
- Pineda, M. (2015), "Diseño de una planta para desorción de carbón activado por el método zadra, en Sominur Cia. Ltda. Ubicada en el distrito minero bella rica", trabajo de tesis para optar al título de ingeniero químico, Universidad Técnica de Machala, Carrera de Ingeniería Química. El Oro Ecuador.
- Piret, N. y Shoukry, B (1990), "Asesoramiento técnico a la DIMAGE Uruguay, en relación al impacto ambiental que puede originar la instalación de plantas de procesamiento de minerales de oro", Stolberg Ingenieurberatung GmbH, Montevideo.
- Pontt, J., Rodriguez, J.R., Alzamora, G. y otros (2005). "Resonances in a High Power Active Front End Rectifier System". *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 52, pag.482-488.
- Portal Minero (2006), "Manual General de Minería y Metalurgia, minas, concentradoras, refineras, fundiciones, LIX/SX/EW", Santiago, Editorial Portal Minero.
- Poteete, A., Janssen, M., Ostrom, E. (2010). "Working Together: Collective Action, the Commons, and Multiple Methods in Practice". Princeton University Press.
- Priester, M., Vasquez P.P. (2017), "Guía técnica para audits del uso eficiente de los recursos energía y agua en la minería y la concentración de minerales en los países Andinos", Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Enero.
- _____(2016), "Estudio de caso MINERA YANAQUIHUA del uso eficiente de los recursos energía y agua en la minería y la concentración de minerales en los países Andinos", Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Diciembre.
- _____(2016), "Estudio de caso SOTRAMI del uso eficiente de los recursos energía y agua en la minería y la concentración de minerales en los países Andinos", Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Diciembre.
- Raento, M., Oulasvirta, A., & Eagle, N. (2009). Smartphones: An Emerging Tool for Social Scientists. *Sociological Methods & Research*, 37(3), 426–454. doi:10.1177/0049124108330005.
- Republica de Chile, Comisión Nacional de Energía (CNE) (2016), "Anuario estadístico de energía 2005-2015". Santiago de Chile.
- Republica de Chile, Ministerio de Energía (2014), "Convenio de cooperación entre Ministerio de Energía y Consejo Minero". Santiago de Chile, 15 de Julio.
- Republica de Chile, Ministerio de Obras Públicas (2012), "Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012 - 2025". Santiago de Chile.
- Republica del Perú, Ministerio de Energía y Minas (2016), "Balance Nacional de Energía Ministerio de Energía y Minas 2015", Lima.
- Republica del Perú, Ministerio de Energía y Minas (2014), "Plan Energético Nacional 2014-2025", Lima.
- Rissanen, J. (2010). *Information and Complexity in Statistical Modeling* (Softcover reprint of hardcover 1st ed. 2007.). Springer.
- Santelices, B. y otros (2013), "Innovación basada en conocimiento científico", Santiago de Chile, Academia Chilena de Ciencias.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), "Guía climática turística". Lima.
- Shalev-Shwartz, S., & Ben-David, S. (2014). *Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms*. Cambridge University Press.
- Sillitoe, R.H. (1993), "Epithermal Models: Genetic Types, Geometrical Controls and Shallow Features; in Mineral Deposit Modeling", Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., and duke, J.M., Editors, Geological Society of Canada, Special Paper 40, pp. 403-417.
- Song, C., Qu, Z., Blumm, N., & Barabási, A.-L. (2010). Limits of Predictability in Human Mobility. *Science*, 327(5968), 1018–1021. doi:10.1126/science.1177170.

- Stanley, G. (1987), "The Extractive Metallurgy of Gold in South Africa", Johannesburg, The South African Institute on Mining and Metallurgy.
- Tan-Mullins, M. (2012). China: Gradual Change. Increasing Transparency and Accountability in the Extractive Industries (Working Paper Series 2012). Revenue Watch Institute and Transparency and Accountability Initiative. http://www.revenuewatch.org/sites/default/files/China_TAI_eng.pdf.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, 211(4481), 453–458. doi:10.1126/science.7455683.
- United Nations Development Programme (1997), "Reconceptualising Governance". Bureau for Policy and Programme Support, New York, January.
- Weber, M., (1964), "Economía y Sociedad, Esbozo de sociología comprensiva", Fondo de cultura económica, segunda edición, México D.F.
- Wesolowski, A., Stresman, G., Eagle, N., Stevenson, J., Owaga, C., Marube, E., Buckee, C. O. (2014). Quantifying travel behavior for infectious disease research: a comparison of data from surveys and mobile phones. *Scientific Reports*, 4. doi:10.1038/srep05678.
- White, N.C. (1991), "High Sulfidation Epithermal Gold Deposits: Characteristics and Model for Their Origin; in High-temperature Acid fluids and Associated Alteration and Mineralization", Geological Survey of Japan, Report N° 277, pp. 9-20.
- White, N.C., Hedenquist, J.W. (1990), "Epithermal Environments and Styles of Mineralization; Variations and their Causes and Guidelines for Exploration; in Epithermal Gold Mineralization of the Circum-Pacific; Geology, Geochemistry, Origin and Exploration, II", Hedenquist, J.W., White, N.C. and Siddeley, G., Editors, *Journal of Geochemical Exploration*, V. 36, pp. 445-474.
- World Energy Council (2016). "World Energy Resources 2016". London.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2017) "Mineral commodities" https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Min_rohstoffe/min_rohstoffe_node_en.html;jsessionid=7A1DDC57E2F4817A4134265945DF32B5.1_cid331 [fecha de consulta: Mayo de 2017].
- CODELCO (2017), "CODELCO educa" https://www.codelcoeduca.cl/procesos_productivos/tecnicos_exploracion_reconocimiento_mineralogia.asp [fecha de consulta: febrero de 2017].
- ___ (2017) "Políticas" https://www.codelco.com/politicas-de-sustentabilidad/prontus_codelco/2016-06-10/105802.html [fecha de consulta: Abril de 2017].
- ___ (2017), "Estándares" https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/artic/20160609/asocfile/20160609115040/estandar_es_ambientales_y_comunitarios.pdf [fecha de consulta: Abril de 2017].
- ___ (2017) "Guía de implementación de estándares" https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/artic/20160609/asocfile/20160609115040/gu_a_de_implementaci_n_de_est_ndares_ambientales_y_comunitarios.pdf [fecha de consulta: Abril de 2017].
- METSO (2015), "Basics in Mineral Processing" edition 10. [http://www.metso.com/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/EAE6CA3B8E216295C2257E4B003FBBA6/\\$File/Basics-in-minerals-processing.pdf](http://www.metso.com/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/EAE6CA3B8E216295C2257E4B003FBBA6/$File/Basics-in-minerals-processing.pdf) [fecha de consulta: febrero de 2017].
- SGS (2017) "SGS Minerals". <http://www.sgs.cl/es-ES/Mining.aspx> [fecha de consulta: marzo de 2017].
- United Nations Water (2017) "ONU agua" <http://www.unwater.org/water-facts/> [fecha de consulta: Mayo de 2017]
- UNESCO (2017) Informe mundial de Naciones Unidas sobre la valorización de recursos hídricos 2017, "Aguas residuales, el recurso no explotado: "Aguas residuales: el recurso no explotado" Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas, auspiciado y dirigido por la UNESCO.

DOCUMENTOS DE PROYECTOS

El uso del agua y la energía en los procesos mineros, en especial en los países andinos, planteará múltiples desafíos en el futuro, ya que la necesidad de capturar la renta derivada de la actividad extractiva exigirá, entre otros aspectos, el uso intensivo de estos insumos. En el presente ya existe una creciente preocupación social y ambiental respecto del uso múltiple del agua (gestión integrada), así como del aumento del impacto ambiental originado por la generación de energía (emisiones de gases de efecto invernadero). Uno de los caminos para promover el uso racional de estos y otros recursos es la integración de metodologías e instrumentos que permitan dotar de la eficiencia y la eficacia necesarias a los procesos mineros.

En este documento se presenta el análisis de dos casos de estudio de la industria minera. El primero se relaciona con la gran minería del cobre de Chile, en la que se examina la incorporación de la herramienta de análisis de macrodatos (*big data*) en la toma de decisiones para reconocer alertas tempranas en determinados procesos de la producción (condiciones de riesgo, episodios críticos y otros). En el segundo se pasa revista al proceso de modernización de operaciones en el uso del agua y la energía en dos minas de mediana producción de oro en la zona andina del Perú.