

LA MINERÍA EN LA ARGENTINA

CONTRIBUCIONES DE LA INGENIERÍA
PARA SU DESARROLLO SOSTENIBLE

CENTRO ARGENTINO
DE INGENIEROS

ACADEMIA NACIONAL
DE INGENIERÍA



CAI

La minería en la Argentina: contribuciones de la ingeniería para su desarrollo sostenible / Oscar Vardé ... [et al.]. - 1a edición especial
Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Centro Argentino de Ingenieros;
Academia Nacional de Ingeniería, 2021.
236 p.; 28 x 20 cm. - (CAI ; 1)

Edición para Centro Argentino de Ingenieros
ISBN 978-987-48140-0-5

1. Minería. I. Vardé, Oscar.
CDD 622.0982

PROSA AMERIAN Editores, 2021
Uruguay 1371 - C.A.Bs.As.
Tel: 4815-6031 / 0448
www.prosaeditores.com.ar

Impreso en la Ciudad de Buenos Aires, Argentina,
en el mes de agosto de 2021,
en Prosa-Amerian S.R.L.

Hecho el depósito que marca la ley 11.723

Reservados todos los derechos. Prohibida su reproducción total o parcial
por cualquier medio o procedimiento sin permiso escrito del autor.



Integrantes del equipo del Centro Argentino de Ingenieros y de la Academia Nacional de Ingeniería

Ingeniero Oscar Vardé

Ingeniero Osvaldo Postiglioni

Ingeniero José Luis Inglese

Ingeniero Roberto Massa

Ingeniero Gustavo Devoto

Doctor Ingeniero Alejo Sfriso

Ingeniero Hipólito Choren

Licenciado en Geología Juan José Paladino

Licenciado en Geología Fernando Valdovino

Santiago J Dondo, LLB., LLM.

María Fernanda Diez BSc., MSc.

Colaboraron:

Ingeniero Santiago Pastine

Camilo de los Hoyos

Ingeniero Ignacio Ezama

Doctor Ingeniero Matías Calvente

Licenciado en Geología Maximiliano Lingua

Doctor Ingeniero Javier Echegaray

Doctora María Sol Iriart

Ingeniera Lucinda Wood

Andrea Catalano, Licenciada en Comunicación Social

Índice

Prefacio	11
Introducción	13
Resumen ejecutivo	19
Capítulo 1. Contribución a las economías	19
Capítulo 2. Entorno normativo	20
Capítulo 3. Entorno de buenas prácticas	22
Capítulo 4. Gestión de riesgos por el uso de sustancias químicas.....	25
Capítulo 5. Operaciones a cielo abierto y subterráneas.....	27
Capítulo 6. Glaciares, ambiente periglacial y actividad minera	29
Capítulo 7. Uso y consumo de agua en la minería	32
Capítulo 8. Gestión de residuos sólidos, efluentes líquidos y gaseosos.....	35
Capítulo 9. Presas de relaves o diques de colas.....	39
Capítulo 10. Cierre de minas.....	41
Capítulo 1	47
Contribución de la minería a las economías	47
1.1 Contribución de la minería a las economías locales y nacionales	47
1.2 La importancia de la minería para las economías emergentes y para la economía verde	49
1.3 Aporte a la economía en Argentina	51
1.3.1 El aporte de la minería metalífera	52
Capítulo 2	57
Entorno normativo	57
2.1 Introducción al marco legal e institucional	57
2.2 La Constitución Nacional y la minería.....	57
2.3 Código de minería, clasificación de minas y utilidad pública	58
2.4 Concesión de derechos mineros	58
2.4.1 La autoridad concedente	59
2.5 Principales leyes nacionales.....	59
2.6 Articulación nación-provincias	60
2.7 Mención especial: la ley de inversiones mineras	61
2.8 Normas que restringen la actividad minera.....	62
2.9 Dimensión ambiental del marco normativo minero.....	63
2.9.1 Evaluación de impacto ambiental	63
2.9.2 Cierre de minas	64
2.9.3 Otros aspectos ambientales.....	64
2.9.4 Dimensión social del marco normativo minero.....	65
2.10 Dimensión económica en el marco normativo minero	67
2.11 Observaciones finales	68

Capítulo 3 **71**

Entorno de buenas prácticas	71
3.1 ¿Qué son las llamadas “buenas prácticas” y por qué son importantes?.....	71
3.2 Iniciativas y estándares internacionales	72
3.3 Mecanismos multilaterales.....	74
3.4 Necesidad de las buenas prácticas en la minería	76
3.5 Evaluación y gestión de los aspectos ambientales y sociales	77

Capítulo 4 **85**

Gestión de riesgos por el uso de sustancias químicas	85
4.1 Introducción	85
4.2 Sustancias utilizadas en el proceso minero.....	87
4.2.1 Proceso hidrometalúrgico del oro	87
4.2.1.1 Minerales auríferos.....	88
4.2.1.2 Lixiviación del mineral en pila.....	88
4.2.1.3 Recuperación del oro de las disoluciones cianuradas.....	89
4.2.1.4 Sustancias potencialmente riesgosas	91
4.2.2 Proceso metalúrgico de la plata	92
4.2.2.1 Minerales de plata	93
4.2.2.2 Sustancias potencialmente riesgosas	94
4.2.3 Proceso metalúrgico del cobre	94
4.2.3.1 Minerales de cobre	94
4.2.3.2 Procesos hidrometalúrgico y pirometalúrgico	94
4.2.3.3 Sustancias potencialmente riesgosas	98
4.2.4 Proceso metalúrgico del hierro.....	100
4.2.4.1 Minerales de hierro	100
4.2.5 Proceso de obtención de litio	101
4.2.5.1 Minerales de litio (li)	101
4.2.5.2 Obtención del carbonato de litio (Li ₂ CO ₃)	102
4.2.5.3 Sustancias potencialmente riesgosas	104
4.2.6 Proceso de obtención de uranio	105
4.2.6.1 Minerales de uranio (U)	105
4.2.6.2 Procedimientos de extracción del mineral.....	105
4.2.6.3 Producción de uranio en argentina y procedimientos metalúrgicos utilizados	106
4.2.6.4 Operaciones mineras.....	107
4.2.6.5 Sustancias potencialmente riesgosas	111

Capítulo 5 **115**

Operaciones a cielo abierto y subterráneas.....	115
5.1 Introducción	115
5.2 Minería a cielo abierto.....	116
5.3 Minería subterránea	117
5.4 Indicadores clave de desempeño	118
5.5 Control de riesgos de la minería a cielo abierto	120
5.6 Control de riesgos de la minería subterránea.....	121
5.7 Conclusiones y recomendaciones, el aporte de la ingeniería	123

Capítulo 6 **125**

Glaciares, ambiente periglacial	125
6.1 Introducción	125
6.1.1 Proceso de glaciación	125
6.1.2 Importancia y distribución de los ambientes criogénicos.....	126
6.1.3 Estudio de los ambientes criogénicos y el calentamiento global	127
6.1.4 Otras aplicaciones del estudio de ambientes criogénicos	128
6.2 Definiciones y métodos de estudio del ambiente criogénico	129
6.2.1 Ambiente criogénico no glaciarío Permafrost	129
6.2.2 Ambiente criogénico glaciarío.....	132
6.2.3 Métodos de estudio del ambiente criogénico	134
6.3 Jurisdicciones y presupuestos mínimos	136
6.3.1 Jurisdicción sobre los recursos minerales y la actividad extractiva	136
6.3.2 Ley de Presupuestos Mínimos N° 26639, reglamentación y otras normativas ...	137
6.4 Inventario de glaciares y ambientes periglaciares	137
6.4.1 Estudios realizados y en vías de ejecución.....	137
6.4.2 Otros estudios regionales y locales.....	138
6.5 Vinculación e incidencia sobre los recursos hídricos.....	139
6.5.1 Procesos de deshielos anuales	139
6.5.2 Aporte de otras fuentes hídricas	140
6.5.3 Cambio Climático	145
6.6 Minería en ambientes criológicos	146
6.7 Aportes de la ingeniería y profesiones afines	148
6.8 Conclusiones y recomendaciones	149

Capítulo 7 **153**

Uso y consumo de agua	153
7.1 Introducción	153
7.2 Uso del agua.....	154
7.3 Concepto de uso y consumo de agua en las operaciones mineras	155
7.4 Fuentes de provisión de agua en áreas mineras.....	155
7.4.1 Disponibilidad general de agua en la argentina	155
7.4.2 Hidrología e hidrogeología en argentina	156
7.4.3 Aguas superficiales	157
7.4.4 Aguas subterráneas	158
7.4.5 Agua dulce	161
7.4.6 Aguas salobres.....	162
7.5 Consumos de agua competitivos con la minería.....	162
7.5.1 Uso humano.....	162
7.5.2 Uso Agrícola	163
7.5.3 Uso industrial no minero	163
7.6 Estándares de consumo de agua en operaciones mineras	165
7.7 Posibilidades técnico-económicas de reúso del agua en operaciones mineras	167
7.8 Estimaciones de necesidades y disponibilidades de agua para operaciones mineras ..	167
7.9 Posibles conflictos por la calidad de los efluentes	168
7.10 Buenas prácticas para la gestión del agua en operaciones mineras	169
7.10.1 Recomendaciones de la Iniciativa para la Aseguramiento Responsable de la Minería (IRMA)	170

7.10.2	Sistemas de Gestión de Uso Racional del Agua ISO 46001	171
7.10.3	Evaluación de huella hídrica según ISO 14046 Y WFN.....	172
7.10.4	Sistemas de auditorías técnicas independientes ISO 19010	173
7.11	Conclusiones y recomendaciones	174

Capítulo 8 **179**

Gestión de residuos sólidos, efluentes líquidos y gaseosos	179
8.1 Sectores o procesos unitarios que pueden originar residuos o emisiones	180
8.2 Sistemas de tratamiento y disposición de los residuos y emisiones	181
8.2.1 Mejores tecnologías disponibles (BATs) y mejores tecnologías aplicables (BAPs) .	182
8.2.2 Relaves mineros	183
8.2.3 Otros residuos masivos	188
8.2.4 Efluentes líquidos - Características y tecnologías empleadas.....	189
8.2.5 Emisiones a la atmósfera - Características y tecnologías empleadas	190
8.3 Reúso de los residuos.....	193
8.4 Normativa específica aplicable a la gestión de las sustancias químicas	194
8.5 Normativa aplicable a los residuos mineros	194
8.6 Conclusiones y recomendaciones	195

Capítulo 9 **199**

Presas de relaves o diques de colas	199
9.1 Definición de residuos mineros: relaves y estériles	199
9.2 Instalaciones para disposición de residuos.....	200
9.3 Diseño de las presas de relaves	201
9.4 Evolución histórica de buenas prácticas	203
9.5 Diseño para el cierre	204
9.6 Conclusiones y recomendaciones, el aporte de la ingeniería.....	205

Capítulo 10 **209**

Cierre de minas	209
10.1 Introducción	209
10.2 Objetivos del cierre	209
10.3 Tipos de planes de cierre	210
10.4 Legislación	211
10.5 Ambientales y sociales.....	213
10.6 Estabilidad física y química.....	213
10.7 Cierre de depósitos de relaves en el cierre de minas	215
10.8 Manejo del agua.....	215
10.9 Gestión de la biodiversidad	216
10.10 Gestión social del cierre.....	216
10.11 Post-cierre	217

ANEXO I

Antecedentes resumidos del equipo CAI-ANI	219
---	-----

ANEXO II

Referencias - Bibliografía	225
----------------------------------	-----

Prefacio

El Centro Argentino de Ingenieros y la Academia Nacional de Ingeniería tienen por objetivo común, contribuir a los debates públicos en los que la Ingeniería tenga una injerencia relevante. En esta ocasión, han elaborado conjuntamente un documento orientado a establecer criterios para que el desarrollo minero sea compatible con objetivos ambientales y sanitarios.

La Argentina dispone de reservas mineras con gran potencial para su explotación económica. No obstante, se manifiestan preocupaciones -muchas legítimas- respecto de sus posibles impactos sobre el ambiente. En este contexto se hace indispensable entender en qué condiciones se puede desarrollar la minería sin esos riesgos. Debemos recordar que toda actividad humana genera siempre algún impacto contaminante. Lo esencial es que quede limitado a valores que sean aceptables por no producir efectos sensibles.

Creemos que las soluciones tecnológicas y de buenas prácticas detalladas en este documento dan cuenta de que es posible una minería responsable y respetuosa del ambiente y de la salud de la población. Resta que estos estándares sean mantenidos por empresas y exigidos y controlados por autoridades y comunidades.

Por nuestra parte, ofrecemos el documento para informar la discusión pública, de la que participamos, y para servir de referencia a autoridades y tomadores de decisiones.



Ing. Pablo Bereciartua

Presidente

Centro Argentino de Ingenieros



Ing. Manuel A. Solanet

Presidente

Academia Nacional de Ingeniería



Introducción

Los ingenieros buscan resolver los problemas y mejorar la calidad de vida de la sociedad y los individuos transformando la naturaleza a través de la técnica y las ciencias. Si hay que cruzar un río, diseñamos y construimos un puente; si hay que atravesar un mar, diseñamos y construimos un barco o un avión, hasta un túnel. Si hay que ir a la Luna o Marte ideamos, planificamos y diseñamos todo lo necesario para hacerlo. En todos los ámbitos de la vida hay una solución generada a través de la ingeniería en sus múltiples disciplinas: civil, mecánica, eléctrica, química, electrónica, industrial, ambiental y tantas más que aún siguen creciendo con el desarrollo de nuevas tecnologías. Y pocas de las soluciones desarrolladas por la ingeniería hubieran sido posibles ni serán posibles en el futuro sin el producto de los minerales que se obtienen a través de la minería.

El objeto de este documento es dar una visión desde la ingeniería sobre la minería en la Argentina y su desarrollo sustentable.

Para ello dos instituciones prestigiosas de esa disciplina como el Centro Argentino de Ingenieros (CAI), con 125 años de antigüedad, y la Academia Nacional de Ingeniería (ANI), creada por ley hace 50 años por una iniciativa del CAI, conformaron un equipo de profesionales integrado por ingenieros -algunos de ellos académicos y otros, miembros de los estamentos técnicos de ambas instituciones- licenciados en geología y profesionales de otras disciplinas, como el derecho y la economía, para tener una comprensión amplia y producir un documento con una visión integral del tema.

La minería es el proceso de exploración, extracción, explotación y aprovechamiento de minerales para beneficio humano. En sentido amplio incluye el petróleo, el gas y el carbón. Este documento se refiere sólo a los minerales no metálicos, metálicos y rocas de aplicación definidos en 1.3.

La minería es una actividad milenaria. Tanto es así que la prehistoria ha sido clasificada según los metales y procesos metalúrgicos que se tradujeron en cambios tecnológicos y de calidad de vida, razón por la que se habla de la edad de bronce o la edad de hierro. Es tan antigua como la civilización misma y a través del descubrimiento de nuevos usos para los minerales se erige como una industria en permanente crecimiento y evolución. A tal punto que los países más desarrollados están investigando la minería en el fondo ma-

rino y ya están financiando y planificando la minería extraterrestre en asteroides, la Luna y Marte.

Hay varios miles de minas en producción en el mundo. Todos los años se desarrollan otras nuevas. Del suelo se obtienen las materias primas para casi todas las industrias, de manufactura, construcción, química y generación de energía, entre otras, que son elementos esenciales para la concreción de las actividades de la ingeniería.

La actividad minera provee muchos de los insumos básicos que se utilizan para construir un edificio, un avión, un auto, una carretera, una planta de agua, un sistema de transmisión de energía o de comunicaciones. También los de los elementos que mejoran la calidad de vida en el hogar como electrodomésticos, los dispositivos de seguridad, y aquellos que se utilizan en otras industrias primarias como la agricultura, la ganadería y la pesca. Se trata de productos imprescindibles ya que sin ellos no habría por ejemplo tractores, alambrados o barcos modernos. Su presencia alcanza al mundo de los alimentos y de los medicamentos, de modo que la misma vida moderna tal como se la conoce no sería posible sin la minería y la producción de metales con métodos económicamente eficientes. Cabe destacar que la transición energética para mitigar el cambio climático depende de un gran crecimiento de las energías verdes, tales como la eólica o fotovoltaica, que también requieren de metales y volúmenes significativos de minerales.

En la historia reciente, la minería contribuyó al crecimiento económico acelerado y sostenido de países como Estados Unidos, Canadá, Rusia, China, y Australia, y al aumento del nivel de vida de sus poblaciones.

En el siglo 19 y buena parte del 20 ese desarrollo muchas veces supuso costos tanto en términos de seguridad y salud de sus trabajadores, como de impactos ambientales, aspectos que en aquel momento se consideraban ineludibles y que hoy resultan inaceptables.

Quizás por eso existen preocupaciones sobre la responsabilidad con que se lleva a cabo la minería, e incluso dudas acerca de si existe una manera responsable de llevarla a cabo. Esas preocupaciones tienden a centrarse en la seguridad de las personas y del medio ambiente, aunque no están limitadas a estos temas.

A partir de la década del '70, pero sobre todo en los últimos 20 años, las empresas líderes responsables en minería se han abocado a incorporar prácticas para hacer su negocio de forma sustentable. Se plantea como una actividad sustentable en la medida en que no sólo pretende minimizar impactos ambientales negativos sino generar efectos positivos. Y en paralelo contemplar el cierre de minas para rehabilitar o promover la transición hacia otra actividad del terreno afectado. La noción de sustentabilidad abarca, asimismo, la relación con las comunidades con interés en la mina: esto es, el reconocimiento de múltiples interesados de forma directa o indirecta con el desarrollo minero en cuestión.

El concepto de sustentabilidad está conformado por tres ejes: protección ambiental, equidad social y crecimiento económico. Los tres tienen que coexistir y ninguno puede imponerse en desmedro de los otros. Es decir, si la legislación ambiental hace que una comunidad no pueda tener la oportunidad de experimentar un crecimiento económico con equidad social, eso no es sustentable, como tampoco lo es permitir desarrollar las actividades mineras sin aplicar las mejores prácticas de operación, regulación y control disponibles por parte de las autoridades y comunidades involucradas.

Como en cualquier industria, la performance de las empresas no es siempre igual ni responde siempre a los mismos estándares. En 1887 la Argentina puso en vigencia el Código de Minería, que es la ley fundamental que regula la actividad minera. Desde entonces se han hallado numerosas manifestaciones de minerales potencialmente extraíbles en forma comercial que, de haber prosperado, habrían convertido a la Argentina en uno de los principales productores mineros del mundo.

Baste observar el ejemplo chileno que, en el año 2019, exportó en cobre aproximadamente el doble del valor de la exportación de soja de Argentina.

Sin embargo, la minería metalífera argentina recién cobró impulso en los últimos años del siglo 20, luego de que todas las provincias y Nación firmaran un acuerdo federal minero y un paquete de leyes que impulsaron la actividad. Esas normas generaron las condiciones de promoción y estabilidad que demandan las actividades intensivas en capital. De este modo, Argentina comenzó a ser atractiva al mundo minero no sólo por sus dotaciones geológicas sino también por su competitividad.

Este documento pretende esclarecer aquellos temas en los que la ingeniería puede hacer un aporte relevante, por tratarse de cuestiones técnicas que deben basarse en la ciencia. La expectativa es brindar información útil que pueda enriquecer tanto las conversaciones en el ámbito público como las decisiones que deben tomar a diario autoridades de los distintos poderes a todo nivel.

En el largo plazo la minería podría constituirse en un significativo aportante al PBI nacional mediante una genuina generación de divisas, hecho que a su vez permitiría mejorar la infraestructura de las áreas involucradas del país y hacer aportes para que otras industrias intensivas en mano de obra, como las del conocimiento, prosperen aún más que en la actualidad.

En este documento se propone tratar los temas sobre los cuales existen controversias, aportando una visión ingenieril, es decir, con el objetivo de resolver problemas y satisfacer necesidades humanas, con basamento en la técnica y la ciencia con datos comprobables y referencias verificables. El uso y consumo del agua, el impacto de la actividad minera y en zonas de periglaciares y glaciares, la gestión de riesgos por el uso de sustancias químicas como el cianuro, la evaluación del impacto sobre el medio ambiente y la salud de las comunidades son parte de este trabajo. Como también la minería a cielo abierto, la estabilidad de las presas de relaves, el manejo de los residuos y lo que algunos denominan “megaminería”, aun sin haber una definición técnica que represente dicho término y que se entiende por minería a gran escala.

La ejecución de este documento, en el que se comenzó a trabajar en marzo de 2020, va en línea con el Plan Estratégico lanzado por la Secretaría de Minería de la actual gestión de gobierno y que fuera aprobado por Resolución SE N°47/2020. Allí se refiere especialmente a un conjunto de más de 250 proyectos metalíferos (cobre, oro, plata) y de litio, en distintos estadios de desarrollo, a los que se suma el uranio, por considerarlo como alternativa a la actual importación, en el marco de la estrategia de transición energética para cumplir con los compromisos asumidos a partir de la ratificación del Acuerdo de París (2015) y de la promulgación de la Ley 27520 de Adaptación y Mitigación del Cambio Climático, en diciembre de 2019.

El documento consta de un resumen ejecutivo seguido de una introducción al marco legal y de buenas prácticas. A partir del punto seis se tratan en forma extensiva los temas sensibles previamente mencionados.



Resumen ejecutivo

Capítulo 1. Contribución a las economías

Los metales y minerales son esenciales para casi todos los aspectos de la vida: permiten la agricultura, la salud, las comunicaciones, el suministro de agua y energía, el transporte, la tecnología espacial y la construcción de nuestras ciudades.

La minería y los metales son de vital importancia para la sociedad, desde el apoyo a la promoción del crecimiento económico sostenible y la construcción de comunidades resilientes e inclusivas, hasta la habilitación de las innovaciones necesarias para abordar la urgencia del cambio climático. Pero el reconocimiento social de esta contribución esencial depende, en parte, de que exista confianza en que se producen de forma responsable y se pueden utilizar de manera segura.

A medida que aumenta la población mundial y crecen los mercados en países como India y China, se requerirá mayor infraestructura y, por ende, se promoverá el consumo y, al mismo tiempo, aumentará la demanda de metales. En mayo de 2020 el Banco Mundial vaticinaba un aumento sustantivo de sus requerimientos en paralelo al incremento de demanda de energía verde o limpia.

Los metales como el litio, níquel, cobalto y cobre son críticos para el desarrollo de tecnologías verdes que jugarán un rol central en un futuro más sostenible.

En los países de ingresos bajos y medianos, la minería a menudo constituye la mayor parte de la inversión exterior directa y en las proporciones de exportaciones, rentas públicas, ingresos nacionales y empleo. Ejemplos como los de Chile, Botsuana, Malasia y Perú, son significativos de la influencia que la minería ha tenido en su desarrollo. A estos casos, es necesario agregar las experiencias de países con economías más desarrolladas como Canadá, Australia, Nueva Zelanda y China, en los que también la minería ha tenido y sigue teniendo un papel económico importante.

Se destaca que la minería a gran escala – a veces llamada megaminería - hace viables proyectos en zonas remotas, inaccesibles o con muy pobre infraestructura dado que permiten incluir en sus costos, y seguir siendo rentables, toda la infraestructura de acceso y soporte al sitio. En Argentina, los indicadores muestran que el desarrollo de la industria minera es aún incipiente en relación con países de tradición minera en la región. El segmento más relevante en valores corrientes es el metalífero, seguido por el de minerales no metalíferos y luego por el de rocas de aplicación. Es el sexto complejo exportador nacional y más del 90% de las exportaciones mineras tiene origen en cuatro provincias: Santa Cruz, San Juan, Catamarca y, Jujuy.

Las exportaciones del sector minero metalífero alcanzaron U\$S 5.106 millones en 2019, equivalente al 7,8% de las exportaciones. El complejo de mayores ventas externas fue el de oro y plata, con una participación sobre el total exportado por el sector de 55,6%; le siguieron en importancia el siderúrgico (22,0%), aluminio (16,0%), litio (3,6%), plomo (1,9%) y otros minerales metalíferos (0,9%).

Capítulo 2. Entorno normativo

La República Argentina está constitucionalmente organizada como un estado federal. Las provincias que la componen conservan todo el poder que no ha sido expresamente delegado a la Nación en la Constitución. Las provincias han delegado en la Nación la facultad de dictar el Código de Minería. El dominio de los recursos naturales existentes en sus territorios corresponde a las provincias. La jurisdicción concedente respecto a las minas compete a la Nación o a las provincias según a quien corresponda el dominio originario; la jurisdicción será nacional o provincial, según el lugar en que las minas estuvieren situadas.

A nivel nacional, la Secretaría de Minería, dependiente del Ministerio de Desarrollo Productivo, está a cargo del diseño, análisis, ejecución y evaluación de la política pública aplicable a la actividad minera en todo el territorio nacional, lo que requiere la interacción con las provincias, los municipios y la comunidad en su conjunto. La coordinación con las provincias se efectúa a través del Consejo Federal de Minería (COFEMIN) integrado por aquellas y el Estado nacional. A su vez, el Consejo Federal de Medio Ambiente (COFEMA) constituye el mecanismo de coordinación entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable y las jurisdicciones provinciales. En materia de regulación ambiental, la Nación tiene la facultad de adoptar las normas que establezcan los presupuestos mínimos de protección ambiental mientras que las provincias pueden dictar normativa que los complementen.

En la sección 4 del documento se indican las principales leyes, decretos y resoluciones del nivel nacional, jurisdiccional y local que se han promulgado desde el primer Código Minero de 1919, hasta la fecha. Ellas configuran un conjunto normativo de difícil interpretación que origina diferentes criterios de aplicación y que contribuye a la generación de conflictos, que suelen concluir en los estrados judiciales y, en otros casos, con la prohibición de la actividad en la jurisdicción.

Al cierre de este documento, siete provincias argentinas mantienen vigentes leyes que prohíben la actividad minera metalífera a cielo abierto y/o el uso de sustancias químicas como el cianuro o el mercurio, con distintos alcances. Ellas son Chubut, Mendoza, Tierra del Fuego, San Luis, Tucumán, La Pampa y Córdoba, además de la Antártida e Islas del Atlántico Sur. A nivel municipal se han dictado ordenanzas que prohíben o restringen, dentro del ejido del municipio el desarrollo de la actividad minera y/o el uso de sustancias químicas/tóxicas, el uso de explosivos, entre otros.

El Código distingue tres categorías de minas: (i) minas de la primera categoría, atribuidas a la nación o a las provincias, según el territorio en que se encuentren. Los principales metales y minerales, incluido el litio, pertenecen a ella, (ii) minas de la segunda categoría, que distingue a su vez entre las sustancias de aprovechamiento común; y las que se conceden preferentemente al dueño del suelo frente a la petición efectuada por un tercero y (iii) minas de la tercera categoría, que pertenecen exclusivamente al propietario del terreno. Los contenidos del presente documento se refieren a las minas de primera categoría, y se detallan los procedimientos para la adquisición del derecho minero además de las condiciones para su mantenimiento y el significado de la declaración de utilidad pública.

El Estado nacional y las provincias en sus territorios pueden realizar trabajos de prospección disponiendo la creación de zonas exclusivas de interés especial. Varias de las provincias que promueven el desarrollo de la minería han constituido empresas públicas provinciales con el objetivo principal de promover la investigación geológica y minera de sus territorios. A nivel nacional el Servicio Geológico Minero (SEGEMAR) constituye un fundamental apoyo al desarrollo de la actividad, en tanto provee información de base para la promoción de la prospección, cateo y eventual explotación del recurso.

En materia de regulación ambiental, la Nación tiene la facultad de adoptar las normas que establezcan los presupuestos mínimos de protección ambiental mientras que las provincias pueden dictar normativa que los complementen. La Constitución Nacional establece que todo habitante goza del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras, teniendo el deber de preservarlo (art 41). A partir de este precepto, se promulgó la Ley 25.675, conocida como Ley General del Ambiente (2002). La norma establece los presupuestos mínimos, es decir, las normas que conceden una tutela ambiental uniforme o común en todo el territorio nacional, para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la promoción del desarrollo sustentable, como también los objetivos de la política ambiental nacional.

A su vez, la Ley 24.585 “De la Protección Ambiental para la Actividad Minera” (1995), incorporada al Código de Minería, establece los instrumentos de gestión ambiental aplicables a la actividad minera: el Informe de Impacto Ambiental (IIA) y la Declaración de Impacto Ambiental (DIA). Asimismo, fija normas de protección y conservación del ambiente y responsabilidades ante el daño ambiental. La autoridad de aplicación de la Ley 24.585 son las que las provincias determinan en el ámbito de su jurisdicción.

En cuanto a la participación ciudadana, dicho concepto aparece plasmado en distintas normativas, tanto a nivel nacional como provincial. La Ley 25.675 “Ley General del Ambiente” establece que la participación ciudadana debe asegurarse, principalmente, en los procedimientos de evaluación de impacto ambiental y en los planes y programas de ordenamiento ambiental del territorio. Señala que las consultas o audiencias públicas son instancias obligatorias para la autorización de actividades que puedan generar efectos

negativos y significativos para el ambiente; mientras que la Ley 24.585 “De la protección ambiental para la actividad minera” establece que la autoridad de aplicación debe implementar un programa de formación e ilustración con la finalidad de orientar a la población sobre la comprensión de los problemas ambientales. En la mayoría de los códigos de procedimientos mineros provinciales no se evidencia tan claramente el concepto de participación, con algunas excepciones, lo que constituye un aspecto a perfeccionar en lo normativo y en su aplicación.

Argentina es signataria del Convenio 169 de la Organización internacional del Trabajo sobre Pueblos Indígenas y Tribales en Países Independientes, el cual declara el derecho de los pueblos originarios a participar en la utilización, administración y conservación de los recursos naturales existentes en sus tierras.

Capítulo 3. Entorno de buenas prácticas

La sostenibilidad es un concepto muy abarcador: incluye no sólo la idea de minimizar impactos ambientales negativos sino la de generar un efecto ambiental netamente positivo en el que, por ejemplo, las empresas líderes buscan desarrollar la biodiversidad autóctona en paralelo a la actividad de extracción mineral, y tienen planes de cierre de mina para rehabilitar el terreno afectado. Además, se ha integrado a la noción de sostenibilidad la relación con las comunidades con interés en la mina, esto es, el reconocimiento de múltiples “stakeholders”.

Hoy la pregunta clave para los países que buscan crecimiento económico sostenible no es “minería sí o minería no”, sino “minería cómo”. La respuesta que cada país encuentre a este interrogante tendrá que surgir del diálogo entre las partes interesadas, es decir, las autoridades regulatorias competentes y las empresas, por una parte, pero también las comunidades locales, la sociedad civil y los pueblos originarios.

Los proyectos mineros siguen un ciclo que empieza con exploración e incluye el informe de Impacto Ambiental (IIA), la evaluación económica preliminar (PEA por sus siglas en inglés) los estudios de prefactibilidad (PFS) y estudio de factibilidad definitivo (DFS), ingeniería de detalle, construcción, operación, cierre y post-cierre. Algo que no siempre se tiene en cuenta es que, a lo largo de la vida de una mina, que puede ser de 30 años o más, habrá varias generaciones que se vincularán entre la empresa y la comunidad donde funciona la mina. En ese lapso, será tan importante una conducta responsable y eficaz de los grupos que financian y de los que ejecutan las fases que componen el proyecto, como de quienes tienen la misión de monitorear todos los aspectos involucrados: regulaciones, beneficios, costos, riesgos y responsabilidades que les tocan a los diferentes actores implicados.

Lo más importante para asegurar el equilibrio necesario entre beneficios, costos y riesgos es que todas las partes -gobierno, empresa, comunidad y sociedad civil- asuman responsabilidades que deben ser asignadas claramente, con los recursos necesarios para

asegurar una rendición de cuentas continua, que llevará a mejoras de performance en el largo plazo. Para facilitar este proceso, desde hace casi dos décadas han surgido iniciativas privadas que complementan las normativas regulatorias mediante guías de procedimientos voluntarios, que apuntan a tres cuestiones esenciales:

- La salud y seguridad de los empleados en la mina y actividades complementarias.
- La observancia de la responsabilidad ambiental y social de las empresas mineras. En este rubro se incluyen las que abordan las responsabilidades inherentes a la gestión de sustancias potencialmente riesgosas, o específicamente a la etapa de cierre y post cierre de la mina.
- La transparencia de los reportes contables y financieros de las empresas.

A la sociedad en general y, principalmente, a las comunidades locales les interesa la información referida a la transparencia de los flujos fiscales: regalías, gravámenes aplicados a la actividad, entre otros conceptos, y cómo esos ingresos se canalizarán entre los niveles de gobierno nacional, provincial o local. La adhesión a estos códigos voluntarios genera un cierto grado de confianza que es esencial para la obtención de la licencia social del proyecto.

Algunos ejemplos de Códigos de Buenas Prácticas elaborados recientemente son:

IRMA: Initiative for Responsible Mining Assurance “Estándar para la Minería Responsable –IRMA STD-001–junio 2018.

El Código Internacional para el manejo del Cianuro, administrado por el Instituto del Internacional del Manejo del Cianuro (ICMI).

EITI: La Iniciativa de Transparencia de las Industrias Extractivas que publicó el Estándar EITI 2019 en junio de ese año. Busca fortalecer los sistemas gubernamentales y empresariales, informar el debate público y mejorar la confianza. La Argentina tiene estatus de país implementador del EITI desde febrero de 2019.

PE: Los Principios de Ecuador (PE) son un marco de gestión de riesgos adoptado por las instituciones financieras para determinar, evaluar y gestionar el riesgo ambiental y social en los proyectos con el fin de proporcionar un estándar mínimo para la debida diligencia y el seguimiento para respaldar la toma de decisiones de riesgo responsable.

Organismos internacionales o regionales, como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Corporación Financiera Internacional (IFC-BIRF), el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), han adoptado guías, salvaguardias o directrices que son referencias de los grupos financieros de los proyectos mineros.

En varios de los códigos de buenas prácticas hay especial preocupación por la gestión de los relaves y de los planes de cierre y post cierre de los embalses que los contienen (capítulos 9 y 10 del documento), como consecuencia de las emergencias y daños provocados por fallas en el monitoreo de la evolución de las características de este residuo o la inexistencia de procedimientos de prevención y corrección acordes con este tipo de situaciones.

En la actualidad ya no se discute el paradigma que vincula íntimamente los tres principales enfoques del desarrollo sostenible: el económico, el ambiental y el social. A la fecha, los nuevos proyectos de cierta envergadura deben respetar regulaciones locales, nacionales o internacionales que establecen la obligatoriedad de incluir en su diseño y planificación a estos tres abordajes, con modalidades y metodologías que, continuamente, se van optimizando en cuanto a sus contenidos, a los indicadores de sostenibilidad a considerar y a los procedimientos para monitoreo y control de la evolución de las variables seleccionadas.

Aspectos específicos a considerar

En el documento se desarrollan aspectos tecnológicos de los procesos de la minería metalífera, las precauciones en la gestión del uso de sustancias químicas que suelen emplearse en dichos procesos, las características de los residuos que pueden generarse y los procedimientos disponibles para su tratamiento, retención o disposición final, según corresponda. Vinculado con los residuos, en particular con los denominados relaves, se detallan las medidas estructurales que deben adoptarse para su disposición y cierre.

Se hace mención también a las características constructivas y operativas de las explotaciones mineras a cielo abierto y subterráneas, con un enfoque acerca de la seguridad y potencial impacto en el entorno al sitio de la mina, y se dedica una atención especial al uso y consumo de agua durante la fase operativa de la mina y a la preservación del ambiente glacial y periglacial.

Se integran a este resumen ejecutivo los conceptos sobresalientes de cada uno de los aspectos señalados organizados por temática en los siguientes puntos:

- Gestión de riesgos por el uso de sustancias químicas
- Operaciones a cielo abierto y subterráneas
- Glaciares, ambiente periglacial
- Uso y consumo de agua
- Gestión de residuos sólidos, efluentes líquidos y gaseosos
- Presas de relaves o diques de colas
- Cierre de minas

Capítulo 4. Gestión de riesgos por el uso de sustancias químicas

La mayoría de los procesos industriales utilizan sustancias potencialmente riesgosas, y eso aplica también a la minería. Sin embargo, los avances de las ciencias – incluida la ingeniería - y las buenas prácticas, permiten un manejo de las sustancias responsable y compatible con el desarrollo sustentable.

El Plan Estratégico lanzado por la Secretaría de Minería de la actual gestión de gobierno, y que fuera aprobado por Resolución SE N°47/2020, se refiere especialmente a un conjunto de más de 250 proyectos metalíferos (cobre, oro, plata y de litio), en distintos estadios de desarrollo, a los que se agrega el uranio, por considerarlo como alternativa a la actual importación.

La percepción del riesgo que la comunidad tiene respecto de los proyectos de recuperación y enriquecimiento de minerales que contienen oro, plata, cobre y uranio especialmente, puede calificarse como alta. Para otros proyectos como el de la minería del hierro, la percepción del riesgo es menor.

Los minerales (ore o mena según la denominación usual), están constituidos generalmente por más de un metal, elementos no metálicos, impurezas, restos de escoria y gases disueltos. Esta gran diversidad de minerales que contiene un determinado metal y de las formas en que se los pueden encontrar en la etapa exploratoria, hace que la tecnología a aplicar para su metalurgia deba ser analizada y adoptada específicamente en cada caso. Tanto las sustancias que corresponden emplear en cada etapa del procesamiento del mineral, como la cantidad y tipo residuos sólidos y líquidos que se generarán, también tendrán indicadores específicos del sitio considerado.

Para identificar las sustancias potencialmente riesgosas, utilizadas en el procesamiento de los minerales metalíferos, se optó por presentar las tecnologías hidrometalúrgicas, por ser las utilizadas con más frecuencia.

Es de señalar que, salvo cuestiones de escala, los procesos y las sustancias empleados en la minería son similares a los utilizados en otros procesos industriales. Y al igual que en otras industrias, su uso está reglamentado.

En el caso del oro, la utilización de sales de cianuro constituye la principal preocupación de la población, sobre todo cuando no se difunde el detalle de las precauciones que se adoptan desde el arribo a la planta hasta su transformación química en sustancias de muy bajo riesgo. Las otras sustancias que suelen utilizarse son álcalis para el control de

PH, o bien ácido sulfúrico o sulfuro de sodio y, eventualmente, tiosulfato de amonio, para reemplazar el uso de cianuro, todas éstas de uso habitual en otros procesos industriales.

En el caso de la plata, los minerales suelen estar asociados al oro, al plomo o al cobre y, en general, su proporción es menor que la de estos últimos. Si la asociación es con el oro, los procesos y sustancias utilizadas son las ya mencionadas en el párrafo anterior. En el proceso de separación de la plata del plomo no se utilizan sustancias con riesgo potencial significativo. Si la plata se encuentra presente como producto principal en el mineral, en el proceso de lixiviación, se utilizan igualmente sales de cianuro, como en el caso del oro.

En el caso del cobre, existen muchos minerales de cobre en la naturaleza, pero sólo un par de decenas de ellos (sulfuros), tienen importancia como menas aprovechables para la extracción del metal. La metalurgia del cobre se fundamenta en dos procesos, el hidrometalúrgico (solo o con flotación combinada) y el de flotación /pirometalúrgico.

En el primer caso los lixiviantes utilizados pueden ser ácido sulfúrico diluido, soluciones de sales de hierro (III), o soluciones clorhídricas oxidantes, como el cloruro férrico.

En el segundo caso, flotación y tostación son aplicadas para el procesamiento de los minerales sulfurados de cobre. En la fase pirolítica, las impurezas de arsénico, antimonio, plomo y bismuto que persiste junto al cobre tienden a incorporarse a la corriente de gases con el material particulado, por lo cual debe incorporarse el equipamiento de depuración apropiado, previo a su emisión a la atmósfera y un control estricto de las emisiones,

Las emisiones de dióxido de azufre, generadas en la metalurgia del cobre que procesa menas sulfuradas, son utilizadas para la producción de ácido sulfúrico, solucionando el problema que representaría realizar la disposición final del dióxido de azufre, si no fuera utilizado como materia prima.

El cianuro se utiliza ampliamente en la minería de oro en países como Australia, Canadá, Estados Unidos, Nueva Zelanda y otros países desarrollados que hacen minería.

En el caso del litio no se han identificado sustancias que presenten riesgo significativo en el procesamiento para la producción del carbonato de litio. El eventual desequilibrio que la extracción de agua a gran escala y el procesamiento básico de las salmueras constituyen un potencial riesgo para los frágiles ecosistemas relacionados.

En el caso del uranio, por su elevada reactividad, no se presenta en la naturaleza en forma pura. Se encuentra mayormente como óxidos, carbonatos, fosfatos, arseniatos, vanadatos y silicatos, siendo en alguno de esos compuestos el mayor componente, y en otros en muy pequeña proporción. Las soluciones lixiviantes que se utilizan pueden ser ácidas (ácido sulfúrico) o alcalinas (carbonato de sodio), con el agregado de un oxidante. En la pila de lixiviación se producen emisiones de gas Radón (Rn), en concentraciones en aire extremadamente bajas. Es recomendable, de todos modos, realizar mediciones de Radón

en edificios de la mina y en las viviendas del entorno para verificar que se cumplen con las normativas nacionales e internacionales.

Las sustancias utilizadas en el proceso metalúrgico no constituyen un riesgo significativo, debido al relativo fácil control operativo de las mismas. El riesgo esencial es el potencial ingreso de uranio al organismo humano, por inhalación o ingestión, de no tomarse las medidas precautorias necesarias. Emite radiación alfa que no representa un riesgo externo por su corto alcance, pero debe controlarse con una red de monitoreo la eventual dispersión del uranio natural que se puede producir, como consecuencia de las actividades realizadas en la mina. A las sustancias registradas y calificadas como riesgosas para la salud humana o el entorno, les alcanzan las normativas que regulan su producción, manipulación, transporte, uso y disposición final. En Argentina la cobertura en este aspecto es abarcativa y actualizada.

Las sustancias químicas utilizadas en los procesamientos mineros, como por ejemplo el cianuro, son empleadas también en otros sectores industriales (ej.: fabricación de nylon, de adhesivos, de componentes de sistemas electrónicos, en galvanoplastias, etc.) y los riesgos asociados son similares. La gestión de dichos riesgos es esencial, tanto en el sector minero como en el resto de las actividades productivas.

Capítulo 5. Operaciones a cielo abierto y subterráneas

Por el agotamiento de los yacimientos vetiformes, la técnica de cielo abierto se ha extendido en las últimas décadas y hoy predomina en la actividad minera global. En todos los países donde hay minería, sean desarrollados o en vías de desarrollo, se utiliza esta técnica, ya que operar de una u otra manera no es optativo, sino que se define por la disposición del cuerpo mineralizado (vetiforme o diseminado). Los dos métodos - cielo abierto y subterráneo - tienen ventajas y desventajas. La operación a cielo abierto tiene más impacto visual que la subterránea, pero aporta condiciones más salubres y seguras para los trabajadores.

En la minería metalífera los métodos de extracción pueden separarse en dos categorías:

- minería a cielo abierto: consiste en la excavación de rajos, que son grandes cavidades a cielo abierto; se emplea cuando el cuerpo mineralizado está ubicado cerca de la superficie;
- minería subterránea: consiste en la excavación de túneles y cavernas para extracción de mineral; se emplea cuando el cuerpo mineralizado está ubicado en profundidad o hay restricciones de cualquier tipo para la operación a cielo abierto.

En el primer caso, el cuerpo mineralizado se expone mediante la eliminación de las capas superiores de suelo y roca estéril que lo cubre, se lo extrae mediante técnicas que pueden incluir el uso de explosivos, martillos neumáticos, excavadoras de balde, rozadoras

u otros, y se lo transporta mediante grandes camiones fuera de ruta hasta las plantas de proceso.

En ocasiones se supone, erróneamente, que “cielo abierto” y “uso de cianuro” van de la mano. Sin embargo, son etapas del proceso independientes. Hay minas subterráneas que usan cianuro.

Países como Canadá, Australia, Estados Unidos, China y Chile tienen múltiples operaciones mineras a cielo abierto.

Las operaciones de la minería en superficie se pueden efectuar mediante:

- rajos mineros: se aplican típicamente a la explotación de minerales metalíferos que requieren un proceso de concentración posterior (ej. oro, plata, cobre) y pueden abarcar grandes extensiones y profundidad;
- canteras: se aplican a la explotación de minerales industriales, ornamentales y áridos que no requieren concentración (ej. mármol, caliza, granito, arena), por lo que suelen ser de menor tamaño y complejidad técnica.

Tanto en las operaciones a cielo abierto como en las subterráneas resulta clave el planeamiento para cierre que va a remediar impactos y rehabilitar las zonas afectadas (ver capítulo 10)

En la minería subterránea el mineral se extrae en forma localizada mediante la excavación de cámaras, túneles y galerías de acceso. Los costos de extracción son muy superiores a los de la minería a cielo abierto y la productividad es típicamente mucho menor, pero como contrapartida, la proporción de roca estéril que se extrae es muy reducida. Los métodos de la minería subterránea pueden subdividirse en:

- cámaras y pilares: el mineral se extrae de cavernas que tienen forma y posición controladas, las que se mantienen abiertas y estables por la acción de pilares de roca que no se excavan, aunque contengan mineral;
- cámaras sostenidas: cuando, para garantizar la estabilidad de las cámaras, se emplean elementos de soporte o el relleno de las cámaras con material estéril,
- métodos de hundimiento: en estos métodos se induce el colapso del techo y paredes de las cavernas mediante la extracción controlada del mineral desde puntos de extracción ubicados en túneles; las cavernas se rellenan progresivamente con la roca que cae desde el techo, triturada por las tensiones naturales del terreno, con lo que puede formarse un cráter en superficie; los métodos más usados son el hundimiento por subniveles (sub-level caving) y por bloques (block caving).

El diseño geomecánico de una operación minera se nutre del marco geológico, hidrogeológico y estructural a escala regional y a escala mina para determinar el tamaño de la operación. La configuración óptima de los taludes a nivel banco-berma, interrampa y global en minas a cielo abierto; la posición y dimensiones de cámaras, pilares y galerías, los métodos de sostenimiento y la secuencia de extracción en las minas subterráneas.

El comportamiento del macizo se controla a través de sistemas de monitoreo que permiten garantizar condiciones operativas seguras para el personal y equipos; detectar zonas de inestabilidad y tomar medidas correctivas tempranas; validar, refinar y actualizar los parámetros de diseño de la mina para optimizar su operación

Los indicadores clave de desempeño geomecánico son la subsidencia y desplazamiento de paredes; caída de rocas, carga de mallas, deterioro de roca expuesta; flujo de agua y presiones de poro; estallido de rocas, actividad micro-sísmica, fracturamiento no controlado. En el documento se detallan los sistemas de monitoreo y las evaluaciones de riesgo tanto para la minería superficial como la subterránea.

Estas consideraciones aplican tanto en operaciones pequeñas como en la minería a gran escala (a veces llamada megaminería).

Capítulo 6. Glaciares, ambiente periglacial y actividad minera

Los ambientes glaciales y periglaciales son complejos, cambiantes, y están particularmente sujetos a los efectos del cambio climático. Por esta complejidad, habrá proyectos mineros inviables por su nivel de impacto sobre un ambiente criogénico y otros que puedan coexistir. El estudio de impacto ambiental es el ámbito adecuado para evaluar cada caso.

Los cuerpos glaciarios y el resto de la criosfera que componen la criósfera son ambientes sensibles que se comportan según un sinnúmero de variables que la afectan, entre el día y la noche, entre el invierno y el verano, incluyendo los cambios climáticos regionales y globales. Interpretar todos estos procesos que se suceden de manera constante exige contar con información suficiente sobre las distintas variables en juego. En el país, salvo contadas excepciones, esa información no está disponible en la actualidad, lo cual dificulta la interpretación de los procesos que ocurren en esos cuerpos de hielo.

La heterogeneidad del ambiente donde ocurren todos estos procesos, que conforman la criósfera en su conjunto, y que paralelamente son reales y potenciales aportantes de caudales de agua para abastecer las distintas cuencas hidrográficas, dejan muchas incertidumbres sobre su comportamiento, y la disponibilidad real y esperable del recurso aportado.

Todos los glaciares de la Argentina, salvo rarísimas excepciones, se encuentran en un proceso de retracción significativo desde hace por los menos 40 años, lo que parece acelerar la pérdida de masa de estos cuerpos criogénicos. El cambio climático es indu-

dablemente el factor de estrés más relevante que soportan los glaciares y los cuerpos periglaciales, produciendo la retracción de los primeros a posiciones de mayor altitud y la desaparición o minimización de los segundos, en la totalidad del planeta.

La sensibilidad del ambiente criogénico al calentamiento global le confiere una categoría de indicador clave frente a este proceso. El retroceso de los glaciares es un proceso geológico que se ha repetido en varias oportunidades en la historia geológica. La variable antrópica, como es la generación de gases de efecto invernadero (GEI), en las últimas tres décadas ha profundizado el retroceso de los glaciares, por pérdida de masa de hielo en los Andes Meridionales. Dado que, en general, estos cambios ocurren en una escala de tiempo amplia (del orden de los miles de años), es que existe el consenso en la comunidad científica internacional que el aceleramiento del calentamiento global es producto de los GEI.

Las consecuencias futuras de esta situación implican una disminución, con el paso del tiempo, de las reservas de agua sólida contenida en el ambiente criogénico independientemente de que se realicen o no actividades en su entorno. Al mismo tiempo se incrementa la dependencia de las precipitaciones en las cuencas hídricas para su abastecimiento.

El continuo estudio de estos ambientes permite obtener información estadística sobre los cambios en la masa, volumen, área y longitud de los glaciares a lo largo del tiempo, así como la distribución y comportamiento de los suelos permanentemente congelados o permafrost. Este tipo de información es clave y conforma la base de los modelos hidrológicos relacionados con el cambio climático debido al calentamiento global.

En el capítulo 6 sobre glaciares y periglaciares se incluyen las definiciones, tipos y características del ambiente glacial y del periglacial y las metodologías para el estudio de los glaciares de hielo y de los glaciares de escombros, que son de más reciente desarrollo y uso.

En el año 2010, se sancionó la Ley de Presupuestos Mínimos N° 26639, sobre la Preservación de Glaciares y Periglaciares, a su vez reglamentada mediante el decreto N° 207/11. Esta normativa, que si bien tiene por objeto la preservación y regulación de los recursos hídricos como reservas estratégicas para el consumo humano, agricultura, etc., limita o restringe las distintas actividades que se puedan realizar en las áreas definidas por la misma, especialmente la actividad minera, la cual expresamente prohíbe. Esta normativa establece la creación del “Inventario Nacional de Glaciares”, para lo cual se designó al Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), como responsable de su realización. El inventario se encontraba en proceso de elaboración en marzo de 2021.

Parece un exceso de la norma la prohibición lisa y llana de ciertas actividades – incluida la minería - en ambientes periglaciales, sin conocer expresamente y en profundidad sus características y los aportes que en cada caso se producen, y la afectación que un proyecto determinado ejerce sobre los recursos que se pretenden preservar.

El aporte hídrico proveniente de los diferentes componentes del ambiente criogénico a los recursos hídricos de la cuenca en la que se desarrollan es muy complejo de cuantificar tanto en cantidad como en calidad de sus aguas. Esta complejidad parte del hecho que los balances hídricos en todo tipo de ambientes requieren de numerosas series de datos climáticos (precipitaciones, heliofanía, temperaturas, humedad, etc.), modelos conceptuales del sustrato que permitan establecer las características acuíferas del mismo, junto con sus tasas de infiltración, su comportamiento hidráulico y datos sobre la calidad química de las aguas (hidroquímica).

Dada esta multiplicidad de factores a considerar, habrá casos en los que una operación minera en ambiente criogénico implique un nivel de impacto que la hagan desaconsejable por sus impactos al entorno criogénico. Habrá otros casos donde ambiente criogénico podría coexistir con operaciones mineras en respeto de los lineamientos de un desarrollo sustentable. Como esto depende del caso por caso, el estudio de impacto ambiental es el ámbito adecuado para evaluar esta dinámica.

La normativa general provee una protección marco, pero necesita estar complementada por estudios específicos a cada proyecto.

La realización de ciertas actividades – incluida la minería - en ambientes periglaciales no siempre implica un impacto ambiental inaceptable. Se debe estudiar cada caso en profundidad, sus características y aportes, y la afectación que un proyecto determinado ejerce sobre los recursos que se pretenden preservar.

Todo proyecto productivo de relevancia, minero o no, se encuentra sometido a la elaboración de estudios de impacto ambiental, que son evaluados por las autoridades de aplicación y sometido a consulta ciudadana. Los proyectos mineros en sus distintas etapas (prospección, exploración y explotación) están regulados por la Ley N° 24585. Desde la publicación del Inventario Nacional de Glaciares pueden cotejarse estos estudios especí-

ficos del ambiente criogénico de un proyecto con los glaciares y criofomas glaciares del inventario y en consecuencia realizar los ajustes pertinentes.

En definitiva, los ambientes glaciales y periglaciales son complejos, cambiantes, y están particularmente sujetos a los efectos del cambio climático. Idealmente habría que monitorearlos de forma constante para comprender su evolución.

Ante una iniciativa de explotación de un recurso minero en estas zonas, es requisito primordial disponer, desde el momento de analizar su prefactibilidad, del dictamen del Organismo especializado encargado de la elaboración del Inventario, (IANIGLIA), en el que se delimite el área periglacial correspondiente a la zona que se propone intervenir y a partir de ello avanzar o modificar el diseño y planificación del proyecto, previo a avanzar hacia las siguientes fases del proyecto.

Capítulo 7. Uso y consumo de agua en la minería

La actividad minera, al igual que otras, requiere de agua para operar. En términos generales no hace un uso intensivo de agua, particularmente en comparación con otras industrias. Sin embargo, debe cuidarse tanto la cantidad de agua como el tipo de agua que se utiliza, y también considerarse las posibilidades de devolver agua al entorno en caso posible.

El agua es un elemento clave en el diseño, desarrollo y operación de un proyecto minero. El agua empleada en los procesos puede impactar en el entorno del sitio de la mina, tanto en cantidad, a través de la sobreexplotación de los recursos hídricos convencionales disponibles, como en calidad, a través de la generación de efluentes residuales que pueden impactar en el entorno. Por ello, desde el diseño básico del proyecto minero, debe optarse por las mejores soluciones que permitan utilizar la menor cantidad y recuperar la mayor cantidad posible de agua (reduciendo la tasa de renovación) y minimizar y adecuar la calidad de los vertidos a las buenas prácticas y normas ambientales.

Las minas son, a menudo, usuarias importantes de agua en donde están localizadas, en particular en las zonas áridas. Los impactos del agua utilizada por un proyecto minero son muy específicos de la ubicación, dependiendo del clima local, así como de la competencia por los recursos hídricos.

El uso consuntivo comparativo en Argentina arroja valores porcentuales del orden del 1% para la minería, frente al 70% para la actividad agrícola, del 10% para la ganadera, del 13% para el consumo humano directo y del 7% para el uso industrial. De acuerdo con estándares mundiales globales la industria minera usa cerca del 2% del agua empleada por el hombre.

A efectos comparativos de la cantidad usada de agua por la minería respecto de otros usos, en 2011 la mina de oro y plata más grande de San Juan, Veladero, tuvo un consumo total de agua promedio de 57 lts/seg, que es la misma cantidad de agua que tiene como permiso de uso agrícola una finca de solo 60 ha. en esa provincia.

En ese uso de 2% se encuentran Australia y Perú, y baja hasta cerca del 1% en USA (según el USGS-2015). En muy pocos países se superan esos valores, como en Chile (4%) y Canadá (4%), que representan prácticamente el tope de participación en el uso de agua, dada la preponderancia del sector minero en estos países.

La actividad minera metalífera en Argentina se desarrolla mayoritariamente en la región árida y semiárida donde están limitadas las posibilidades productivas. El desarrollo de productos agrícolas de alto valor relativo y la radicación de comunidades es muy difícil por la falta de accesibilidad e inexistencia de los servicios básicos, bajos en comparación a las ubicadas en la región húmeda y subhúmeda, donde la oferta de agua y el clima permiten desarrollar cultivos de secano o con riego complementario,

Las aguas que escurren por la superficie conforman, en cada cuenca, un sistema de transporte de sedimentos y nutrientes en el que la capacidad de arrastre es función del caudal y de la pendiente mientras que el tipo de cauce que forma varía con el tamaño del sedimento y de lo erosionable que sea el sustrato. En zonas de montaña donde se desarrollan las principales actividades mineras metalíferas en la Argentina y que se corresponden con las cabeceras de la cuenca, con áreas pequeñas y pendientes elevadas - los caudales suelen ser bajos y las velocidades altas. También en esas áreas ocurren fenómenos aluvionales por lluvias torrenciales con movimiento de grandes masas de material sólido. Los acuíferos se generan a partir del agua que precipita sobre la superficie terrestre en forma de lluvia o nieve y que, al infiltrarse en la tierra, crea reservorios en el subsuelo que han sido aprovechados por el hombre para diferentes usos desde tiempos muy antiguos.

En Argentina se hace un uso importante de las aguas subterráneas ya que un 30% del agua promedio extraída en el ámbito nacional para los distintos usos es de origen subterráneo. Es decir, esta no es agua de ríos o arroyos a los que se les dé otro uso, ya sea para cultivos, conservación o turismo. El tenor de contenido salino del agua depende de los tiempos de permanencia entre los estratos a través de los que percola y de las características geoquímicas de los mismos

La minería tiene la posibilidad de usar agua de mala calidad, tanto salobre como incluso salada. Por ejemplo, en Famatina, localidad de la provincia de La Rioja, un eventual pro-

yecto puede usar agua del río Amarillo la que no es apta por razones naturales para el consumo agrícola y humano. En lugares con muy poca agua como en el norte de Chile se utiliza, incluso, agua de mar desalinizándola, como en Michila, El Tesoro y Escondida o directamente agua salada tal como sucede en Esperanza, convirtiéndose en una práctica que se está extendiendo a otros proyectos. En Argentina, un proyecto cercano a la costa en Santa Cruz también considera la posibilidad de operar con agua de mar.

La cantidad de agua a utilizar en un proyecto minero es regulada por la autoridad competente jurisdiccional, a través de un permiso o concesión hídrica, es decir, un registro público en el que se establece la o las fuentes que pueden ser utilizadas y en ciertos casos, el porcentaje mínimo de recirculación que debe respetarse en cada fase de la explotación. Con una adecuada selección de la tecnología es posible generar condiciones de factibilidad económica que permiten reciclar la mayor parte del agua necesaria para la operación minera, y reducir a un mínimo la extracción de agua del medio ambiente y el vuelco de efluentes.

En cuanto a la calidad del recurso hídrico, la actividad minera puede afectarla de distintas maneras incluyendo: los vertidos al medio ambiente, la filtración a través de los desechos de minas a las aguas subterráneas y superficiales, las filtraciones o fallas de los relaves y las instalaciones de almacenamiento de agua, los derrames químicos y la liberación de aguas pluviales no controladas. En el capítulo 8 donde se aborda la seguridad en el manejo de residuos sólidos y líquidos, se amplían los conceptos involucrados a este potencial impacto.

En este escenario, resulta fundamental el control por parte de las autoridades, con participación comunitaria, en donde se ejerzan las mejores prácticas de auditorías profesionales e independientes, tanto a cargo de empresas sin conflicto de interés con las operaciones mineras como por autoridades elegidas por capacidad y antecedentes.

Para asegurar que la gestión del agua de un proyecto minero sea ambientalmente aceptable es esencial la adhesión a las mejores prácticas emitidas por entidades internacionalmente reconocidas como IRMA, la International Standard Organización (ISO) o la Water Footprint Network (WFN) que publicó en el año 2009 "The Water Footprint Assessment Manual, expresión metodológica para el cálculo de La Huella Hídrica. Estas buenas prácticas son complementarias y en conjunto son las directrices que un proyecto minero moderno, ambiental y socialmente responsable debe cumplir, y que las autoridades a cargo de la regulación y control deberían exigir.

Es posible minimizar la contaminación del agua mediante el uso de una variedad de enfoques de control de fuentes, entre ellos:

- limitar la infiltración de aire y agua a los residuos de lixiviación de ácidos/metales y materiales extraídos,
- recoger y tratar el agua influida por la mina lo más cerca posible de la fuente

- controlar cuidadosamente la descarga de aguas pluviales influidas por la operación minera y aguas tratadas de la propia operación al ambiente.
- Establecer sistemas de gestión de calidad del agua en cada una de las etapas de los emprendimientos mineros.

En definitiva, con un adecuada intervención de las ramas de la ingeniería y sus ciencias conexas correspondientes en las etapas de planificación, diseño, evaluación del impacto ambiental, construcción, operación y cierre de los emprendimientos mineros, aplicando criterios holísticos y adoptando las mejores prácticas internacionales, para la gestión y control, se puede asegurar que los emprendimientos mineros tengan efluentes que no produzcan daños ambientales o afectación de los usos competitivos agua abajo, como los de cualquier actividad industrial moderna.

En el capítulo 7 sobre uso del agua se mencionan y describen las iniciativas privadas de organizaciones empresarias, u organizaciones no gubernamentales o protocolos estandarizados habitualmente utilizados hoy en los países de tradición minera y que son complementarias de las normas regulatorias de carácter legal obligatorio.

Capítulo 8. Gestión de residuos sólidos, efluentes líquidos y gaseosos

La actividad minera moviliza gran cantidad de minerales, debido a la baja ley o proporción, en la que se encuentran los metales en cada mineral a procesar, a lo que se agrega la ganga que aporta la roca que lo contiene. Las concentraciones usuales son del orden de los gramos por tonelada en el caso de los minerales que contienen oro, de los 100 gr/tn en los minerales que contienen plata, del orden del kg/tn para los minerales de cobre, molibdeno y uranio y de los 500 kg/tn, para el hierro y el aluminio.

El método de minar también tiene su influencia en la cantidad y tipo de residuos y emisiones a gestionar. El minado a cielo abierto se está utilizado en casos de menas cerca de la superficie, para minerales de baja ley y en ese caso la operación de extracción no es selectiva. En cuanto a la minería subterránea se aplica en depósitos de relativamente alta ley y la extracción es más selectiva que la de cielo abierto. En este caso, la cantidad de residuos que se generan es menor y también pueden ser menores las emisiones a la atmósfera.

En las etapas previas a la puesta en operación, los residuos están asociados a los cateos y perforaciones que permiten verificar las características mineralógicas del recurso, y a cuantificar las reservas

A partir de la puesta en marcha del minado propiamente dicho se originan los llamados “residuos mineros masivos”, y que son provenientes de la extracción del mineral de la roca, del transporte del material al área de trituración, almacenamiento y molienda, de la separación sólido líquido por flotación, lixiviado, y de la concentración por gravedad, os-

mosis inversa, según corresponda. También de la concentración y refinado por procesos pirometalúrgicos, tostado, calcinación o fundición, según corresponda, de la refinación por electrólisis, y del transporte de los productos procesados.

Las características fisicoquímicas y la cantidad de residuos a gestionar serán dependientes de cada proyecto en particular. Una clasificación general que suele hacerse de los residuos masivos para identificar su fuente es la siguiente:

- Roca estéril
- Minerales de baja ley
- Mena residual de minerales tratados por lixiviación en pilas
- Escorias de procesos térmicos
- Relaves

Los procesos mineros generan grandes volúmenes de residuos que, en la gran mayoría, permanecen en el sitio, aún luego del cierre de la mina. Algunos de ellos como resultado final del procesamiento del mineral (ej. los relaves) y otros como descarte de ese procesamiento (ej. estériles, roca triturada de baja ley). Tanto unos como los otros, tienen posibilidades de lixiviar metales u otros compuestos de riesgo para la salud humana y el entorno si no se adoptan las medidas de gestión adecuadas.

Tanto para los residuos del proceso de minado como para los originados en las instalaciones complementarias puede recurrirse a tecnologías que han recogido las experiencias operativas de empresas del sector y que se conocen como mejores tecnologías disponibles (BAT, por su sigla en inglés) de depuración y disposición de los residuos. A partir de ellas, corresponde en cada sitio en particular elegir la que sea aplicable (BAPs), privilegiando aquellas que minimicen los riesgos ambientales, se encuadren dentro de los códigos de buenas prácticas y a su vez, permitan cumplir con las regulaciones referidas a estándares de calidad de los vertidos, de las emisiones y de la gestión de los residuos en general.

Del conjunto de residuos masivos mineros es necesario destacar la importancia de la gestión de los relaves. Es condición esencial en este caso, el mantenimiento de la estabilidad química del material del relave (y del mismo modo de los residuos inertes y escombros de baja ley), durante toda la vida útil de la mina y aún a posteriori de su cierre. De no ser así se dará a lugar a la formación de drenajes mineros alcalinos (DMAL) o, más frecuentemente, a drenajes ácidos (DMA). La pirita (sulfuro de hierro), muy abundante en los minerales, parece jugar un papel muy importante en el proceso de inestabilidad química, generando drenajes ácidos,

Ante la posibilidad de que, de todos modos, se produzca una inestabilidad química, los sitios seleccionados deberán estar provistos de barreras físicas para evitar la migración de compuestos químicos potencialmente riesgosos, sea por infiltración, por escorrentía

superficial o por evaporación. La vigilancia de estas potenciales migraciones deberá efectuarse mediante la operación de una red de monitoreo diseñada al efecto.

Las ONGs Earthworks y MiningWatch Canadá propician la adopción de 15 pautas para minimizar las posibilidades de fallas. Por otra parte, el International Council on Mining and Metals (ICMM), el Programa de Naciones Unidas para el Ambiente (PNUMA) y la Organización PRI (Principles for Responsible Investment), han publicado recientemente (05/08/2020), el borrador final del “Estándar global de gestión de relaves para la industria minera”.

En el marco del “Mine Environmental Neutral Drainage Project (MEND) se categorizan los relaves, según distintos parámetros. En primera instancia, respecto al porcentaje de sólidos contenidos en el residuo y los agrupa en tres tipos: embalses de relaves “convencional”, en los que se aceptan residuos sin haber pasado por un espesador de barros: embalses de relaves, sometido a una etapa de espesamiento de alta densidad; y embalses de relaves filtrados, con apariencia de un suelo, que admite compactación y pueden auto contenerse en pilas rodeadas de zonas compactadas.

En segunda instancia, hace una clasificación física de los relaves, según sea la granulometría del material resaltando la influencia que la distribución de tamaños del material del relave tiene en las posibilidades de deshidratación de este; y en tercera instancia, una clasificación geoquímica, que contiene cuatro tipos de relaves, según su potencialidad para generar drenajes ácidos. En el documento se detallan las etapas que se reconocen como fases del proceso de desequilibrio químico, como detectarlas y como corregir esa evolución desfavorable.

El abordaje preventivo es fundamental en tanto pueden seleccionarse algunas tecnologías de procesamiento más favorables, pueden incorporarse unidades de tratamiento del relave para incorporar agentes neutralizantes con anterioridad a su vertido al embalse y aplicar un filtrado al relave para deshidratarlo todo lo posible, entre otras medidas. Sin embargo, eso no sustituye a la implantación de una red de monitoreo y control de las posibles migraciones de contaminantes, vía derrames superficiales, en suelos o cursos de agua, vía acuíferos subterráneos o a partir de evaporación o transporte por erosión superficial a la atmósfera. Para las posibles migraciones a la atmósfera, la generación de una cobertura preventiva suele ser la medida empleada cuando las condiciones meteorológicas del sitio lo ameriten.

La gestión de los residuos clasificados como roca estéril, minerales de baja ley, y mena residual de minerales tratados por lixiviación en pilas tiene características similares a las descritas para los relaves, ya que las reacciones fisicoquímicas que se producirán en éstos siguen las mismas tendencias que en los relaves. Las condiciones meteorológicas-precipitaciones, vientos y cambios de temperatura- condicionarán la producción de escorrentías líquidas o transporte de contaminantes que deberán ser controlados.

Los efluentes líquidos se pueden producir en distintos sectores: En las unidades del proceso hidrometalúrgico del mineral, en las unidades de tratamiento de agua y de depu-

ración de desagües cloacales, en talleres de mantenimiento y demás instalaciones complementarias (ej. almacenamiento de combustibles) y potenciales derrames mineros de relaves y de otros residuos masivos. Las características fisicoquímicas y biológicas de cada efluente y los límites permisibles establecidos por las regulaciones definirán las tecnologías a emplear para su depuración y posterior vertido. Para el tratamiento de depuración previo al vertido, seguramente se deberá recurrir a tecnologías que eliminen o reduzcan sustancialmente el contenido de metales (arsénico, cadmio, plomo, cobre, cinc, cobalto), ecotóxicos (cianuro), y se corrijan la salinidad, el PH y los sulfatos, entre otros parámetros. En aquellos casos en que se utiliza el cianuro su destrucción debe tener una atención específica. Los efluentes domésticos requieren, en general, de un tratamiento biológico (aeróbico o anaeróbico) que es conveniente realizar independientemente de los mencionados precedentemente.

Los parámetros de diseño de las unidades mencionadas han sido mejorados significativamente en las últimas décadas, lo que puede constatarse en los manuales de aplicación de las principales empresas proveedoras del equipamiento. Los procesos de depuración empleados son similares a los aplicados en otros sectores industriales.

La identificación y gestión de las emisiones gaseosas en los proyectos mineros requiere de un análisis particularizado. Dentro de este concepto se incluyen las emisiones gaseosas y las de material particulado, provenientes de fuentes puntuales (fijas y móviles) o distribuidas. En las dos últimas décadas, las investigaciones han hecho foco en el grupo de gases de efecto invernadero (GEI), atento a los compromisos del Acuerdo de París, con el objetivo de buscar posibilidades de mitigación.

Las fuentes de emisiones de material particulado están diseminadas en el sitio intervenido por el proyecto y prácticamente participan todas las etapas del proceso, desde la extracción del mineral y su roca huésped, su trituración y molienda, las áreas donde se han almacenado estériles y la roca de baja ley en pilas y también en cada transporte en seco de la mena a procesar o del resto de los residuos generados. Otras situaciones que pueden generar dispersión de partículas, a las que pueden adherirse sustancias potencialmente riesgosas, son las fracturas de rocas mediante la utilización de explosivos. En estas oportunidades, también pueden liberarse metales pesados u otros compuestos que requieren programar las mejores oportunidades climáticas para desarrollar esas actividades y, de todos modos, proceder a efectuar su control mediante monitoreo ambiental.

El listado y caracterización de fuentes colabora en la identificación de las oportunidades de mejoras en la huella de carbono del proyecto u otros indicadores de sostenibilidad. Están disponibles las tecnologías para la retención de los compuestos gaseosos o material particulado que pudieran causar un deterioro de la calidad del aire, con incidencia en la salud de los empleados o en el entorno próximo a la mina.

Tradicionalmente, en una actividad que data de siglos, la práctica habitual era que, al cierre de la etapa operativa, los residuos permanecieran en el sitio donde se habían generado y fueran abandonados por las empresas operadoras, pasando a ser pasivos am-

bientales. Esta práctica que, justificadamente, tuvo impactos adversos en la reputación de la minería, se fue revirtiendo con la voluntad de aprovechar nuevas posibilidades técnico-económicas para la reutilización de los residuos masivos mineros.

La reapertura de una actividad minera o el reprocesamiento de los residuos, en caso de ser económicamente viable, constituye sin duda una actividad ambientalmente atractiva. Hay numerosas publicaciones que refieren a las opciones para afrontar remediaciones de pasivos abandonados y aboga para que quienes se propongan desafíos de este tipo no se encuentren con innecesarias trabas administrativas. Es una propuesta a considerar en la normativa de nuestro país. Esta tendencia puede coadyuvar en la preparación del sitio intervenido por la mina y especialmente su entorno, para que la comunidad pueda hacer uso del suelo, con distintos fines, a partir del cierre operativo.

Tanto para la gestión de las sustancias potencialmente riesgosas como para la gestión de los residuos mineros nuestro país dispone de una normativa específica a nivel nacional, complementada en algunas jurisdicciones de decretos y resoluciones que establecen procedimientos de aplicación. El detalle de estas se incorpora en el documento.

Capítulo 9. Presas de relaves o diques de colas

En el desarrollo de las operaciones mineras se producen dos grandes grupos de residuos sólidos:

- estériles de mina, y
- relaves.

Los estériles de mina están asociados a la fracción de la extracción que no posee concentraciones económicamente productivas de mineral, pero que por cuestiones operativas deben ser removidos para alcanzar la mena. Este tipo de residuos tiene una importancia particular en las extracciones superficiales, donde los acopios de estéril han dado lugar al desarrollo de las estructuras de tierra más grandes del mundo.

Estos materiales se extraen en bloques del máximo tamaño posible, y se depositan en áreas periféricas, de modo de evitar restricciones a la explotación del yacimiento. Estas pilas de material son comúnmente denominadas botaderos.

Por otro lado, la mena es procesada para extraer su mineral. El proceso involucra típicamente la trituración o chancado y molienda, y su procesamiento de separación en medios acuosos. El residuo resultante es denominado relaves, colas o jales y se caracteriza por su granulometría fina, tamaño arena o limo, y su contenido de humedad elevado al momento de su disposición.

La planificación y diseño de depósitos de residuos mineros y presas de relaves es una empresa multidisciplinaria, que requiere un enfoque amplio: la geotecnia, el diseño de presas de tierra, el comportamiento mecánico, hidráulico y geoquímico de estéril y rela-

ves, los procesos metalúrgicos generadores de residuos, la hidráulica e hidrogeología de los depósitos, y los condicionantes ambientales.

Las presas de relaves son instalaciones planeadas, diseñadas, construidas, operadas, cerradas y mantenidas luego del cierre. Su administración responsable requiere la evaluación y manejo efectivo de los riesgos asociados: salud, seguridad, ambiente y sociedad.

Se distinguen tres tipos de presas para relaves depositados hidráulicamente, en función del método de construcción:

- aguas arriba: se realiza una presa de arranque sobre la cual se van construyendo escalonadamente nuevos muros que elevan progresivamente el coronamiento aguas arriba sobre la playa de relaves previamente depositados;
- aguas abajo: se realiza una presa de arranque sobre la cual se van construyendo escalonadamente nuevos muros que elevan progresivamente el coronamiento aguas abajo;
- línea central: este método presenta una solución de compromiso entre los dos métodos anteriores. Implica mantener la cresta del dique en la misma posición horizontal, con elevación a lo largo de un eje vertical.

La industria minera tiene la tecnología, la experiencia y los recursos para localizar, planear, diseñar, construir, operar, desmantelar y cerrar las instalaciones de relaves de una manera segura y responsable con el ambiente, y ha desarrollado procedimientos de mejora continua de todos los aspectos de su administración.

Aunque no son frecuentes, algunas fallas de presas de relaves han cobrado muchas vidas y causaron daños ambiental enormes. Por esta razón, las presas de relaves son objeto de un intenso escrutinio por parte de la sociedad. Las presas más vulnerables son aquellas construidas aguas-arriba. Estas presas están prohibidas en Chile por su vulnerabilidad sísmica y, luego de algunas fallas recientes, también en Brasil. Sin embargo, la guía publicada por ICMM en 2020 – posterior a las fallas de presas en Brasil – no prohíbe las presas aguas-arriba, las que siguen siendo construidas y operadas exitosamente en muchos países del mundo.

La minería cuenta con una reputación adversa debido a accidentes y prácticas históricas – en términos de siglos – poco amigables con el ambiente y la sociedad, en particular con lo relacionado con el manejo de los residuos mineros.

La minería moderna ha incorporado técnicas de operación de instalaciones de relaves que permiten mitigar el impacto de sus actividades. En los países con menor tradición minera, las empresas líderes se imponen a sí mismas requerimientos más exigentes que la legislación local, alineados con las mejores prácticas de los países líderes de la industria.

Se debe realizar lo que se conoce como “diseño para el cierre” y consiste en diseñar cada etapa de cada proceso de manera compatible con el plan de cierre integral de la instalación.

Debe tenerse en cuenta que el cierre de una instalación de disposición de residuos puede ocurrir mucho antes del cierre de toda la faena minera: las minas antiguas pueden poseer varios depósitos de residuos cerrados, y otros en operación.

El concepto de “diseño para el cierre” de instalaciones de relaves consiste más, entonces, en diseñar una característica permanente del paisaje – una geoforma – que una instalación industrial de corta vida útil. Aún cuando se efectúe un “diseño para cierre”, en todos los casos se necesita un procedimiento de vigilancia que compruebe que este objetivo se logra en todas las etapas y que la instalación final es efectivamente una geoforma integrada al medio ambiente. El plan de cierre debe ejecutarse desde el mismo momento en que se inicia la explotación minera.

En el “diseño para cierre” de las instalaciones de relaves se debe asegurar que las presas y estructuras relacionadas sean físicamente estables no solo durante su vida útil, cierre y post-cierre. El diseño debe prever que las obras mantengan la contención de los residuos mineros durante acontecimientos excepcionales, como inundaciones o terremotos.

Además del cierre, la ingeniería de depósitos de residuos incluye una preparación y planificación para la emergencia. Por bien que se diseñe y planifique, los depósitos de residuos pueden fallar. Por eso es por lo que se exigen medidas de seguridad complementarias y redundantes, y un programa de preparación para emergencias que sea integral y compatible con la gestión de los embalses de relaves.

Capítulo 10. Cierre de minas

Una mina produce cambios en su entorno que persisten después de su propia vida operativa, por lo que la evaluación de esos cambios y la mitigación de impactos negativos es lo que permite que la mina se desarrolle integrada con su entorno, de manera armoniosa y beneficiosa para todas las partes.

El plan de cierre documenta el proceso de planificación y los compromisos sociales y ambientales asumidos por la mina. Contiene el conjunto de actividades requeridas a lo largo del ciclo de vida de la mina a fin de alcanzar los objetivos de la etapa de cierre. Desde la perspectiva socioambiental, el objetivo principal del cierre es lograr que, una vez finalizadas las operaciones mineras, las áreas afectadas por el proyecto sean compatibles con un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo. Por esa razón, aborda los desafíos asociados con la transición socioeconómica del entorno de la mina hacia el escenario post-cierre.

Algunos objetivos típicos del plan de cierre son la transferencia de infraestructura a las comunidades o gobierno, la asistencia a proveedores para que desarrollen otras oportunidades comerciales, el aseguramiento de provisión de agua adecuada para usuarios aguas-abajo en la cuenca; la restauración de calidad de agua para permitir pesca y un ambiente vegetal sustentable. Los planes de cierre se desarrollan a lo largo del ciclo de vida de la mina. Después del desmantelamiento y su cierre se requieren informes de mantenimiento, monitoreo y seguimiento post-cierre.

En el plan de cierre detallado se incorporan los siguientes componentes:

- plan de desmantelamiento y de recuperación ambiental;
- plan de monitoreo y seguimiento post-cierre;
- programas sociales y estimación de costos.

Ante un cierre temporal de las actividades de la mina, causada por bajas en el precio de los metales, cambios de políticas, acciones judiciales o administrativas, u otros imprevistos la empresa debe presentar un plan de cierre temporal, con el objetivo de mantener condiciones ambientales y sociales adecuadas hasta su reactivación. Si se presenta un escenario de cierre antes de lo previsto, se aplica un plan de rápida ejecución que se basa en el detallado al que agregan medidas contingentes necesarias para el cierre inmediato.

La tendencia global es legislar específicamente las etapas de cierre y post-cierre para garantizar la responsabilidad de las empresas mineras y la continuidad de sus labores de cuidado una vez concluida la producción. Australia, Canadá, Chile y Perú, entre otros países de tradición minera, constituyen referencias válidas de esa tendencia. Particularmente Perú, desde el 2006, y Chile, desde el 2012 promulgaron leyes específicas para la regulación del cierre de minas. En Chile, el plan debe ser aprobado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) antes del inicio de las operaciones que, a su vez, elaboró una serie de “Guías metodológicas para la presentación de planes de cierre” como también “Guías metodológicas con criterios técnicos” relativos a obras, medidas de cierre y constitución de la garantía financiera.

En Argentina, las provincias conservan la facultad de dictar y administrar los procedimientos mineros, entre ellos la revisión y aprobación de los planes de cierre. La “Dirección Nacional de Producción Minera Sustentable”, con el apoyo de Canadian International Resources and Development Institute (CIRDI), presentó la “Guía de recursos de buenas prácticas para el cierre de minas” que busca establecer una política nacional de cierre de minas. Este documento detalla la necesidad de regular las actividades posteriores a la producción minera y garantizar la preservación ambiental y social de la región, poniendo énfasis en la comunicación con la comunidad.

Existen diversos aspectos técnicos, ambientales y sociales relacionados a la etapa de cierre de minas que deben ser cuidadosamente identificados y evaluados de manera

temprana. El control y seguimiento de las variables fisicoquímicas de los componentes estructurales y ambientales de la mina son esenciales para cumplir con los objetivos de cierre y post-cierre. Desde el punto de vista socioeconómico, los desafíos del cierre se asocian con la interrupción o finalización de los beneficios de la etapa de explotación, a saber: las oportunidades de empleo, la demanda de insumos y de servicios, la dinámica comercial regional, la colaboración del proyecto con instituciones locales o su aporte al erario a través del pago de regalías y otros impuestos públicos.

La generación de desechos mineros fue comentada en el punto anterior “Seguridad en el manejo de residuos sólidos y líquidos” En él se señaló la importancia del diseño y aplicación de un Programa de Estabilidad Química (PEQ) que debe asegurar que un desecho minero será estable a perpetuidad, aspecto sobre el cual se refirieron los documentos técnicos y guías metodológicas de buenas prácticas para el cierre de minas y la gestión de la estabilidad química.

Desde agosto de 2019, Argentina cuenta con la Guía de Recursos de Buenas Prácticas para el Cierre de Minas. Si bien aún no cuenta con una ley nacional que regule todos los aspectos del cierre minero, esta guía constituye un punto de partida vital para que las faenas mineras implementen un PEQ desde sus inicios.

El objetivo principal del cierre es que quede una instalación segura, estable y no contaminante y preferentemente integrada al entorno como una geoforma. En este contexto, las medidas de cierre de los depósitos incluyen:

- el análisis de la estabilidad física de las instalaciones en etapa de cierre y abandono;
- la adecuación de obras de manejo de agua para escenarios de largo plazo, sin mantenimiento;
- la instalación de cubiertas para evitar la dispersión aérea de las colas y controlar la infiltración de agua pluvial;
- el desmantelamiento de equipamiento y estructuras de operación;
- el aseguramiento de la operación de drenajes sin mantenimiento;
- la revegetación y restablecimiento de la función ecológica.

Las operaciones mineras pueden alterar sustancialmente las características hidrológicas y topográficas de las áreas mineras y afectar la escorrentía superficial, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el comportamiento del agua subterránea. La planificación y gestión de los desvíos de cursos de agua superficial evitan que el caudal desviado sea una barrera física en la migración de organismos acuáticos durante la operación, y que desaparezcan cuerpos de agua durante el cierre y post-cierre. Al finalizar la operación, el

cese de las actividades de bombeo produce que el nivel piezométrico retorne a nuevas condiciones de equilibrio.

La biodiversidad es el regulador de servicios ecosistémicos fundamentales, como por ejemplo la regulación de inundaciones o el ciclo de descomposición de materia orgánica. A lo largo de su ciclo de vida, un proyecto minero puede afectar la biodiversidad a través de impactos directos, indirectos o acumulativos. Los impactos clave que afectan la biodiversidad incluyen:

- eliminación del hábitat nativo;
- degradación del hábitat terrestre;
- degradación/contaminación del hábitat acuático;
- extracción y contaminación del agua dulce;
- impactos indirectos (por ejemplo: el cambio climático).

La rehabilitación se encara como un componente integral del desarrollo sostenible de la actividad minera y un indicador clave del buen desempeño ambiental del proyecto. Más allá del objetivo de rehabilitación de áreas afectadas por la actividad minera, se impulsa la restauración ecológica, entendiendo como tal al proceso de recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido.

La gestión social en el cierre es un aspecto clave para abordar los desafíos derivados de la transición socioeconómica del cierre. El impacto socioeconómico que tendrá el cierre y la etapa post-cierre dependerán de factores como la escala de la operación, su duración, las características demográficas, productivas, y culturales de la zona, entre otras. Todo esto se ve amplificado a medida que la operación se encuentra en lugares remotos, desconectados geográficamente de los centros poblacionales.

Entre los factores decisivos que las normas internacionales recomiendan considerar al momento de planificar los aspectos sociales del cierre, se encuentran: planificación e implementación temprana para la transición progresiva, evaluación y gestión de riesgos sociales del cierre, seguimiento de indicadores sociales, aporte al desarrollo local sostenible; articulación público-privada, involucramiento y participación informada con partes interesadas.

El post-cierre comienza una vez concluidas e implementadas las tareas del cierre de mina. Esto implica la realización de monitoreos ambientales y sociales, acciones de mantenimiento, vigilancia, y cuidados – temporales o permanentes – para asegurar y sostener en el tiempo los objetivos alcanzados en el plan de cierre. Para dar por concluida la etapa de post-cierre, la autoridad de aplicación debe verificar que se lograron los objetivos del plan inicial, y, en caso positivo, se puede otorgar un “Certificado de Cierre”. El proceso se complementa con la transferencia de custodia de la operación a un tercero o al Estado.

Las prácticas internacionales recomiendan que los regímenes de cierre de minas incluyan una previsión, seguro de caución o similar, para que la autoridad regulatoria pueda otorgar el cierre final y deslindar al empresario minero de responsabilidades sobre el cierre únicamente cuando haya transcurrido un período suficiente, y haya quedado demostrado que los criterios de finalización han sido cumplidos además de que los objetivos de cierre alcanzados se sostengan en el tiempo. Se pueden incluir auditorías ambientales finales que demuestren que la propiedad se cerró según los criterios de cierre del plan acordado.



Contribución de la minería a las economías

1.1 Contribución de la minería a las economías locales y nacionales

La minería es una actividad milenaria. Tanto es así que la prehistoria ha sido clasificada según los metales y procesos metalúrgicos, de modo que hablamos de la edad de bronce o la edad de hierro.

En la historia reciente, la minería ha contribuido al crecimiento económico acelerado de países como Estados Unidos, Canadá y Australia. En el siglo 19 y buena parte del 20 ese crecimiento tuvo costos en términos de seguridad y salud por un lado y de impactos ambientales por otro que hoy se consideran inaceptables. Hoy en día los accidentes o fatalidades en el trabajo no son tolerables como efecto colateral, ni tampoco la contaminación de un río o de tierra arable que puede afectar el ambiente o la salud humana.

Los metales y minerales son esenciales para casi todos los aspectos de la vida; Permiten la agricultura, la salud, las comunicaciones, el suministro de agua y energía, el transporte, la tecnología espacial y la construcción de nuestras ciudades. Y posiblemente se volverán más importantes, ya que tienen la capacidad de ayudar a abrir caminos para un futuro más verde, más seguro y más sostenible.

Varias investigaciones¹, tanto de ICMM (International Council on Mining and Metals) como de PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) han demostrado que las inversiones mineras pueden catalizar el crecimiento económico y reducir la pobreza en los países de ingresos bajos y medianos. En estados frágiles y que han salido de un conflicto, la minería ha ayudado a impulsar el desarrollo económico y social donde otros inversores han sido más cautelosos. Si bien la minería a gran escala suele contribuir económicamente de manera significativa a nivel nacional, en particular a la inversión extranjera directa, las exportaciones y los ingresos del gobierno, esta contribución no fluye automáticamente hacia el nivel local. La contribución económica local de la minería puede mejorarse mediante el empleo directo, indirecto e inducido en las comunidades de acogida; desarrollo empresarial local; diversificación económica; mejor gestión de ingresos; inversión social estratégica; y resolución efectiva de disputas.

ICMM ha investigado junto con el Banco Mundial y UNCTAD (The United Nations Conference on Trade and Development) cómo se puede potenciar la contribución social y económica

de la minería². El objetivo es entender cómo asegurar que la actividad beneficie a las comunidades y países donde se desarrolla, realizando oportunidades y manejando los riesgos asociados. La investigación identificó 41 países que dependen o han dependido en décadas recientes de la minería. Muchos de ellos son países en vías de desarrollo con altos niveles de pobreza. Mientras algunos aún padecen de la llamada “maldición de los recursos”³ (un país organiza su economía entera en dependencia de un solo commodity y descarta otras posibles vías de desarrollo, otros han demostrado que la minería puede ser un factor clave de desarrollo sustentable).

Los metales representan 30% de las exportaciones de Australia –el único país desarrollado que no tuvo recesión en 2008-2009.

Los minerales explican 80% de las exportaciones de Botsuana, un país que pasó de ser de los más pobres de África al 4^{to}/5^{to} del continente según ingreso per cápita PPP (Purchasing Power Parity).

En Chile la minería representó, en promedio, 15% de su producto bruto en las últimas dos décadas.

Para ver los principales países mineros y su diversidad se puede ver los rankings de producción por los principales minerales:

- Oro: 1- China 2- Australia 3- Rusia 4- USA 5- Canadá 6- Indonesia 7- Perú/Ghana
- Plata: 1- México 2- Perú 3- China 4- Rusia 5- Polonia 6- Australia 7- Chile
- Cobre: 1-Chile 2- Perú 3- China 4- Congo 5- USA 6- Australia 7- Zambia 8- México
- Hierro: 1- Australia 2-Brasil 3- China 4- Rusia 5- Sudáfrica 6- Ucrania 7- Canadá
- Litio: 1- Australia 2- Chile 3- China 4- Argentina- 5. Zimbabue 6- Portugal 7- Brasil
- Potasio: 1- Turquía 2- Grecia 3- Jordania 4- Algeria 5- Chile 6- Uganda 7- Etiopía

Fuente: U.S. Department of the Interior - U.S. Geological Survey - MINERAL COMMODITIES SUMMARIES 2020

- Uranio: 1- Kazajistán 2- Canadá 3- Australia 4- Namibia 5- Uzbekistán 6- Nigeria 7- Rusia

Fuente: World Nuclear Association

Y por reservas también en 2019:

- Oro: 1- Australia 2- Rusia 3- Sudáfrica 4- USA 5- Indonesia 6- Brasil 7- Perú
- Plata: 1- Perú 2- Polonia 3- Australia 4- Rusia 5- China 6- Méjico 7- Chile
- Cobre: 1- Chile 2- Perú 3- Australia 4- Rusia 5- Méjico 6- Indonesia 7- China
- Hierro: 1- Australia 2- Brasil 3- Rusia 4- China 5- India 6- Ucrania 7- Canadá

- Litio: 1- Chile 2- Australia 3- Argentina 4- China 5- USA 6- Canadá 7- Zimbabue
- Potasio: 1- Canadá 2- Bielorrusia 3- Rusia 4- China 5- USA 6- Alemania – Chile

Fuente: U.S. Department of the Interior - U.S. Geological Survey - MINERAL COMMODITIES SUMMARIES 2020

- Uranio: 1- Australia 2- Kazajistán 3-Canadá 4- Rusia 5- Namibia 6- Sudáfrica 7- Brasil

Fuente: World Nuclear Association

1.2 La importancia de la minería para las economías emergentes y para la economía verde

La minería es de vital importancia para la sociedad, desde el apoyo a la promoción del crecimiento económico sostenible y la construcción de comunidades resilientes e inclusivas hasta la habilitación de las innovaciones necesarias para abordar la urgencia del cambio climático, pero el reconocimiento social de esta contribución esencial, en parte, depende de que exista confianza en que la minería se desarrolla de forma responsable y que los minerales se pueden utilizar de forma segura.

Esto significa, además, que a medida que crecen los mercados en países como la India y la China (que son, ellos mismos, países mineros), con clases medias cada vez más grandes- que requerirán mayor infraestructura y, por ende, promoverán el consumo- aumentará también la demanda de metales⁴.

Esta necesidad no se sacia, hoy, con aplicación de las tres R (reducir, reusar y reciclar). Por un lado, porque estamos hablando de mayor demanda, y por otro porque hay muchos casos en los que, si bien es posible en teoría reciclar metales, pueden no ser viables económicamente por el momento.

En mayo de 2020 el Banco Mundial vaticinaba un aumento sustantivo en la demanda de metales acompañando el aumento de demanda de energía verde o limpia⁵.

Los metales como el litio, níquel, cobalto y cobre son críticos para el desarrollo de tecnologías verdes que jugarán un rol central en un futuro más sostenible.

Se sabe que la minería, dadas las condiciones adecuadas (algunas de las cuales se detallan aquí), puede ser un motor de crecimiento y desarrollo⁶.

En los países de ingresos bajos y medianos, la minería a menudo constituye la mayor parte de la inversión exterior directa y las proporciones de exportaciones, rentas públicas, ingresos nacionales y empleo disminuyen progresivamente.

- Si bien el empleo directo es relativamente bajo (la minería es intensiva en capital más que en trabajo), la evidencia muestra que la minería genera tanto empleo indirecto a través de la cadena de suministros como empleo inducido, ya que los

salarios de los empleados directos y los empleados de las empresas proveedoras regresan a la economía en general.

- Multiplicador: Un empleado directo de una empresa minera puede corresponder a 3-5 empleados en otras partes de la economía. En regiones más pobres y rurales con falta de actividades económicas alternativas, los efectos indirectos e inducidos en el empleo pueden ser especialmente importantes (Romine 2013⁷).
- Zambia: las cuatro empresas mineras más grandes del país (dos que operan en la provincia de Copperbelt y dos en la provincia del noroeste) han generado en conjunto unos 150.000 puestos de trabajo directos, indirectos e inducidos. Como consecuencia, la minería y el empleo relacionado con la minería ahora representa el 16% de todo el empleo (formal e informal) en Copperbelt y el 15% en la provincia noroccidental.
- Chile: una industria minera más madura con instituciones que han desarrollado capacidad.
 - década de 1970: primeros esfuerzos del gobierno para diversificar a través de proyectos que se apartaron abiertamente de la industria extractiva; industrias del salmón, vino, porcino y berries, impulsadas en parte por los esfuerzos de la Fundación Chile, una iniciativa público-privada.
 - De 1970 a 2008, la participación de los productos mineros en el total de las exportaciones chilenas disminuyó del 85,5% al 58,7%, mientras que la participación de los productos manufacturados en las exportaciones totales aumentó del 11,6% al 35,3%.
- Botsuana
 - El crecimiento del empleo en el sector privado ha promediado alrededor del 10% anual durante los primeros 30 años después de la independencia en 1966. Sin embargo, a principios del siglo 21 la economía se estancó hasta principios de la década de 2010, cuando se registró por primera vez desde el auge económico un crecimiento del PBI por encima del objetivo del 6-7%.
 - Si bien la diversificación lejos de las industrias extractivas sigue siendo un desafío, Botsuana tiene un buen desempeño en los Indicadores de Desarrollo Humano (IDH), aunque no en la misma medida en todos los aspectos de NRGÍ.
- Malasia: una buena política de diversificación requiere una perspectiva a largo plazo, con un esfuerzo concertado y sostenido para canalizar los recursos y fondos que puedan construir instituciones eficaces.
 - En Malasia, la participación de la agricultura en el PBI se redujo del 26,7% en 1970 al 7% en 2005, mientras que la participación de las manufacturas au-

mentó del 12,2% al 35,8%. Su producción de minerales de 2014 fue del 0,3% del PIB

- Perú:
 - Ha experimentado un crecimiento sostenido y una disminución de la pobreza durante varios años, pero a pesar de su crecimiento en las exportaciones, su portafolio de producción se ha mantenido enfocado a la minería.
 - El crecimiento de la renta del 25% de la población con menores ingresos ha sido superior al 6% del PBI.

1.3 Aporte a la economía en Argentina

Argentina es un país joven en minería a gran escala cuando se lo compara con países de Latinoamérica tales como Chile, Brasil o Perú. En Argentina el comienzo de la minería a partir del ingreso de jugadores internacionales comenzó con posterioridad a la sanción de la Ley de Inversiones Mineras a la que adhirieron todas las provincias en 1994.

Esa ley generó las condiciones de promoción económica que demandan las actividades intensivas en capital y que demandan largos periodos para los repagos de capital de inversión. De este modo Argentina comenzó a ser atractiva al mundo minero no sólo por sus dotaciones geológicas sino también por su competitividad.

En una primera etapa se observó un ingreso de empresas para la exploración en un territorio sub-explorado. Posteriormente entre 1997/98 comenzó la fase de operación del primer gran proyecto metalífero que es Alumbreira.

Los minerales que se extraen en Argentina son:

- Metalíferos: son aquellos minerales que contienen metales. Los principales son: hierro, plomo, zinc, estaño, aluminio, cobre, molibdeno, plata y oro.
- No metalíferos: son aquellos minerales que no contienen metales, como por ejemplo la caliza, arenas, pizarras, arcillas, la sal común, el yeso, las sales de potasio, sales de litio y boratos, uorita, baritina, bentonitas, piedras semipreciosas y muchos otros, utilizados como insumos básicos en diversas industrias.
- Rocas de aplicación: se utilizan para la construcción y la ornamentación, como los pórfidos (adoquines, baldosas), piedras lajas, mármoles (rosado, blanco, travertinos, tipo ónix, negro y otros), granitos de diversos colores y granulometrías.
- En la actualidad la minería metalífera en Argentina está caracterizada por operaciones y proyectos en los que los principales productos son oro, plata, cobre, plomo y zinc.
- Hoy, basándonos en el informe del primer semestre de 2020 de la Secretaría de Minería de la Nación se puede observar el siguiente estado de los proyectos:

- 8 depósitos donde el metal principal es oro, acompañado de plata;
- 4 en donde el producto mayoritario es plata, siendo el coproducto el oro en 3 de ellas y plomo y zinc en la otra;
- 1 depósito con producción combinada de plomo, plata y zinc.
- Se están construyendo 3 minas de oro, de distinta escala que se sumarían a la producción en corto plazo;
- Existen 7 proyectos de cobre en etapa avanzada (desde exploración avanzada a factibilidad), con una inversión estimada de USD 19 mil millones⁸.
- Por otra parte, en el país, por la dotación geológica, se desarrolla la minería del litio de salares. Existen dos plantas en funcionamiento en la actualidad el Proyecto Fénix y Olaróz. Además, existen una gran cantidad de proyectos en etapa avanzada. Según el informe de la Secretaría de Minería, hay 17 proyectos entre Factibilidad y Exploración Avanzada, algunos de los cuales ya cuentan con plantas piloto.

Una parte de la actividad minera que no hay que dejar de mencionar y es el que más trayectoria tiene en el país con el desarrollo en todas sus formas es el de la producción de rocas y minerales industriales (Minería de tercera categoría). Esta, a diferencia de la metalífera, se desarrolla en las 23 provincias con una fuerte concentración en Buenos Aires y Córdoba. Se estima que el sector cuenta con 639 empresas, muy superior a lo que se puede observar en la minería metalífera.

1.3.1 El aporte de la minería metalífera

La minería metalífera en la Argentina, por su joven desarrollo, no genera claros impactos nacionales como se puede observar en países como Chile o Perú. **En 2019 el complejo de cobre en Chile exportó USD 33.900 millones mientras que el complejo sojero en Argentina exportó USD 16.900 millones.** Cuando se realiza el análisis a nivel de las regiones la situación cambia.

Por ser una actividad netamente exportadora, se transforma en un sector estratégico para la balanza comercial del país. Con el comienzo de operación de los distintos proyectos de oro y plata a inicios de los 2000 y la maduración de Alumbraera, el sector minero en el período de precios internacionales récords, alcanzó niveles pico de exportación por USD 4.969 millones en 2012. Esto representó el 6,2% de las exportaciones totales de Argentina en dicho año.

En 2019, por los menores precios y por la reducción de producción de algunos proyectos, las exportaciones alcanzaron los USD 3290 millones, representando aproximadamente el 5% de las exportaciones totales del país. Es el sexto complejo exportador del país.

En cuanto al empleo, es necesario considerar el empleo directo e indirecto. Según el empleo en nómina, que surge de información del Ministerio de Trabajo, el mismo es de apro-

ximadamente 25.500 puestos en 2019. A eso es necesario adicionarle el empleo de los contratistas que trabajan en la mina (servicios de hotelería, mantenimiento de camiones, seguridad, etc.) que suman aproximadamente 14.500 empleos más. Por último, si se consideran los indirectos puros en base a estimador calculado oportunamente por la Cámara Argentina de Empresarios Mineros se adicionan 37.500 puestos más. Por lo tanto, entre empleo, nómina, contratistas e indirectos puros suman un total de 77.500 trabajadores.

Es un sector que, por las características de la actividad, es de los que mayores salarios paga juntamente con la actividad petrolera. También es importante remarcar que la minería es intensiva en capital más que en trabajo, pero que tiene el potencial de crear un efecto multiplicador del empleo muy significativo por su capacidad de generar actividad económica asociada y derivada que activa empleo en otras industrias.

Como se comentó anteriormente, el sector a nivel nacional no es de los más importantes y eso se lo puede ver cuando analizamos su aporte al PBI. En 2019 representó el 0,66% del total a precios constantes.

Como país implementador del EITI (ver capítulo 3), Argentina empezó a publicar lo que recibe el Tesoro por parte de empresas del sector extractivo. Desde enero de 2021 está disponible el primer informe EITI Argentina⁹.

No obstante, y como dijimos, en las provincias donde se encuentran los proyectos, la minería es clave para el desarrollo socioeconómico. Por ello a continuación se exponen algunos ejemplos para las provincias.

San Juan

Tomando en consideración las principales conclusiones del estudio realizado por la Secretaría de Minería de Nación a inicios de 2018¹⁰ se pueden extraer los siguientes impactos en el desarrollo de San Juan por la Minería:

- El rubro minero en 1995 participaba con tan sólo el 0,23% en el PBG de San Juan, en el 2005 ascendía al 1,27% y ya para el 2015 detentaba el 7,8% del producto provincial, lo que se explicó por el crecimiento exponencial de la subcategoría Minería Metalífera.
- El valor de las exportaciones totales se multiplicó por 2,4 entre los años 2005 y 2006 (año en el que comienza a exportar la mina Veladero) y en los años 2011 y 2012, momento en el que la onza de oro alcanzó valores récords, superó por ocho 8 veces el valor del año 2005. Este crecimiento fue impulsado además por el ingreso en operación de las minas Gualcamayo en el año 2009 y Casposo en el 2011. En consecuencia, desde dicho año, las exportaciones de metales preciosos representaron en promedio el 73% del total, igual peso que al cierre del año 2016.
- Tomando el año 2016 como ejemplo, las exportaciones provinciales de oro y plata alcanzaron la suma de USD 918,7 millones y en el mismo período se registraron:

- Compras y servicios locales por USD 374,9 millones;
 - Pago de salarios por USD 259,3 millones;
 - Aportes directos al Fisco Provincial, a Fondos de infraestructura y al Fondo de desarrollo por USD 31,5 millones;
 - La minería aportó a la provincia 7.853 puestos de trabajo, lo cual representa el 5,67% del empleo total y el 9,42% del empleo privado de San Juan, prácticamente igual peso que Agricultura (9,41%).
- En cuanto al indicador denominado Hogares con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), las localidades de Calingasta, Iglesia y Jáchal se han visto afectadas positivamente al verificarse significativas reducciones en la cantidad de hogares con NBI entre el censo 2001 y el 2010. Las variaciones intercensales a la baja en este indicador en los departamentos mencionados son del 11,7%, 6,7% y 6,3% respectivamente en el período mencionado. Al mismo tiempo, dichos departamentos han aumentado el número de habitantes medidos en hogares totales en cada localidad, siendo tales aumentos en el caso de Calingasta del orden del 17%, para Iglesia del 27% y en Jáchal del 11%.

Jujuy

En 2019 la Secretaría de Minería de Nación en conjunto con las autoridades de la provincia de Jujuy¹¹ realizaron un estudio similar al de San Juan. Del mismo se pueden extraer los siguientes impactos que tiene la actividad minera en la provincia:

- Las exportaciones de origen minero en 2018 fueron de USD 314 millones superando el 60 % del total de exportaciones provinciales;
- La operación de las minas en producción y la construcción tienen un fuerte impacto en la economía local a través de las compras a proveedores de bienes y servicios nacionales y principalmente, locales. En 2018 alcanzaron los USD 366 millones. Esto fue posible por la aceleración de las inversiones contando la provincia con el nuevo emprendimiento polimetálico Chinchillas, inaugurado a fines de 2018, la ampliación en curso de la operación Olaroz y la construcción de la nueva operación de litio Cauchari-Olaroz.
- El empleo directo de las empresas mineras ha crecido desde 1.287 en 2006 a 2.244 en 2018, un 75% de incremento generado principalmente por las empresas de litio. Esto se traduce en que en 2018 el empleo de las empresas mineras representa el 3,5% del empleo privado registrado.
- Analizado en términos de masa salarial, como las remuneraciones del sector minero son de alrededor del doble que las del promedio del sector privado provincial, la participación de empleados mineros directos en la masa salarial privada provincial alcanza el 7,1%.

Como sucede con el petróleo y el gas, la minería es una actividad con gran potencial de contribuir al desarrollo nacional en Argentina, como así también para lograr mejoras en los campos de la productividad, la competitividad y el aprovechamiento de las economías de escala. Un país que no posea una dotación significativa de estos recursos, o decida simplemente no explotarlos, dependerá de sus importaciones y, como consecuencia directa, queda atado a la volatilidad de los precios mundiales.

La Argentina tiene recursos minerales que la ubica entre los principales potenciales productores mundiales de cobre, litio, potasio oro y plata, siendo la minería actualmente uno de los primeros cinco actores generadores de divisas en concepto de exportaciones, aporte que ha permitido disminuir el déficit de la balanza comercial.

La producción de oro, plata, plomo, aluminio y cobre se han destacado dentro de la minería argentina desde finales del último siglo al presente.

A modo de ejemplo, Argentina ocupa el décimo quinto lugar en el mundo en producción y reservas de oro y por su potencial podría estar en el top ten. Hasta la última década del siglo pasado no aportaba a la producción global, en cambio hoy lo hace con alrededor del 2% del total.

La plata, mineral de tradición histórica y al cual la Argentina debe su nombre, tuvo un recorrido similar y hoy contribuye con el 3,2% de la producción mundial, y por sus reservas se ubicaría en el séptimo lugar.

El cobre, el aluminio y el plomo han experimentado una evolución a la par de los anteriores. Y vale destacar la potencialidad de minerales de demanda creciente en el mundo como el litio, silicio y grafito. Este último resulta crucial en la producción de baterías de ion-litio (las que son utilizadas para alimentar de energía a los teléfonos celulares, tablets y laptops y en un futuro cercano de los automóviles eléctricos y las baterías de almacenamiento de energías renovables), en el desarrollo de la industria siderúrgica y aeronáutica, y con peso creciente en el futuro de la energía nuclear y fotovoltaica. Por su parte, el litio tiene un gran potencial de demanda a partir de nuevas fuentes de almacenamiento y energía y se estima que, en el mediano plazo, con la producción a escala de los denominados automóviles híbridos o eléctricos, la demanda y el precio se dispararán. Su producción tiene origen en las provincias de Catamarca, Salta y Jujuy.

Respecto del silicio, según las estadísticas del U.S Geological Survey, China es el principal productor mundial {con más de cinco millones de toneladas producidas en 2014}, seguida por Rusia (699 mil toneladas), Noruega (369 mil toneladas) y los Estados Unidos (360 mil toneladas) y Argentina, genera alrededor de 11 mil toneladas (0.1% de lo producido globalmente) con tendencia creciente.

Una industria minera responsable tiene el potencial de bajar costos de producción para la industria y otros rubros, y de contribuir a mayores niveles de productividad, competitividad e inversiones. A su vez, puede contribuir al aumento de las exportaciones, el ingreso de una mayor cantidad de divisas y, por ende, de mayores ingresos fiscales.



Entorno normativo

2.1 Introducción al marco legal e institucional

El propósito de este capítulo es presentar una descripción básica -y no detallada- del marco legal e institucional de la minería en Argentina que: (i) sea fácilmente comprensible para cualquier lector, (ii) abarque las cuestiones más importantes respecto a la organización normativa de esta actividad en el país, y (iii) ponga de manifiesto las fortalezas y debilidades de ésta, en el marco del desarrollo sostenible.

2.2 La Constitución Nacional y la minería

Se destacan brevemente algunas disposiciones de nuestra Constitución que se relacionan con la minería¹².

Las provincias, siendo dueñas de los recursos minerales ubicados en sus territorios, han delegado a la Nación la facultad de dictar el *Código de Minería*¹³.

El Código establece un sistema legal de concesión de derechos mineros a los particulares (sean personas físicas o jurídicas)¹⁴, recayendo en las provincias el otorgamiento de las concesiones mineras a través de las autoridades administrativas o judiciales competentes. El Código de Minería de la Nación establece las normas que deben aplicar respecto a los derechos, obligaciones y procedimientos para adquirir, explotar y aprovechar las sustancias minerales. Lo anterior se complementa con los códigos de procedimientos mineros provinciales y demás normativas específicas a dicho nivel. Un conjunto de disposiciones a nivel nacional, provincial y municipal establecen obligaciones y requisitos de carácter ambiental, social y económico para el desarrollo de la actividad minera.

Se destacan otros mandatos constitucionales que, si bien no refieren expresamente a la minería, se relacionan con ésta debido a la potencialidad que presenta este sector y la ubicación de los minerales en la geografía del país¹⁵. Establece nuestra Constitución que corresponde al Congreso Nacional “*proveer lo conducente a la prosperidad del país, al adelanto y bienestar de todas las provincias [...], promoviendo [...] la introducción y establecimiento de nuevas industrias, la importación de capitales extranjeros [...]*”; así como “*proveer al **crecimiento armónico de la Nación** y al poblamiento de su territorio;*

promover políticas diferenciadas que tiendan a equilibrar el desigual desarrollo relativo de provincias y regiones”.

Respecto al **desarrollo sostenible**, con la reforma constitucional de 1994 se dispuso que “*todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo*”.

2.3 Código de minería, clasificación de minas y utilidad pública

El Código distingue tres categorías de minas:

(i) *Minas de la primera categoría* - principales metales, incluidos cobre, oro, plata, litio, potasio, plomo, zinc, entre otros¹⁶. Pertenecen a la Nación o a las Provincias, según el territorio en que se encuentren, y se concesionan a particulares.

(ii) *Minas de la segunda categoría*, que incluyen sustancias de aprovechamiento común; u otras que se conceden preferentemente al dueño del suelo.

(iii) *Minas de la tercera categoría*. Son en su mayoría canteras, incluye las rocas de aplicación y las producciones de naturaleza pétreo o terrosa, aplicable como material de construcción u ornamento. Pertenecen exclusivamente al propietario del terreno.

El Código de Minería reviste a la actividad minera con el **carácter de utilidad pública**¹⁷. La utilidad pública es la misma condición que debe acreditarse para justificar expropiaciones mediante leyes especiales. En el caso de la minería, se le otorga este carácter ya en el Código de Minería, y como resultado el derecho minero (en las minas de primera categoría) prevalece sobre el derecho de propiedad superficiaria, facilitando con ello el desarrollo de esta industria.

2.4 Concesión de derechos mineros

Hay dos tipos de derechos mineros: (i) el permiso de exploración o cateo; y (ii) la manifestación de descubrimiento o mina (ésta última habilita la explotación de las sustancias minerales, junto a distintos permisos complementarios necesarios para el desarrollo de la operación en la provincia en cuestión).

Las minas son inmuebles, se encuentran separadas jurídicamente de la propiedad de la superficie y se conceden por tiempo ilimitado, aunque sujetas al cumplimiento de ciertas condiciones (esto incluye el pago del canon anual, y la presentación y cumplimiento de un plan y monto de inversiones).

Los permisos de exploración o cateos pueden llegar a los 1.100 días (aproximadamente tres años desde su otorgamiento), y el concesionario debe ir liberando o reduciendo por-

ciones del área originalmente concesionada hasta el momento del vencimiento del plazo del cateo. Dentro de un área de cateo, el concesionario tiene la exclusividad para solicitar una “manifestación de descubrimiento o mina”, en caso de estar interesado en mantener el área.

El sistema de concesión legal implica que, si el petitionerio (cualquier persona *capaz de adquirir derechos*; nacional o extranjera, física o jurídica) cumple los requisitos de ley y solicita un área franca, es decir, disponible, la autoridad minera provincial debe otorgarle la concesión. No se advierte una evaluación de capacidad técnica o financiera al momento de la concesión. Se otorga el derecho a quien primero lo solicite en tiempo y forma, y luego debe fiscalizarse el cumplimiento de las condiciones para conservar la concesión.

El Estado nacional y las provincias en sus territorios, pueden realizar trabajos de prospección disponiendo la creación de *zonas exclusivas de interés especial* (el Estado nacional requiere el consentimiento previo de la provincia donde se efectuará la actividad). Varias de las provincias que promueven el desarrollo de la minería han constituido empresas públicas provinciales con el objetivo principal de promover la investigación geológica y minera de sus territorios, sea haciéndolo directamente o a través de la participación de terceros. Esta última opción implica la convocatoria a un concurso público, por algunas de las áreas dentro de las llamadas “zonas de interés especial”. La práctica más extendida es que, quien resulte seleccionado, procede a solicitar los permisos de exploración o manifestaciones de descubrimiento en dicha zona de interés especial. De esta manera, el adjudicatario tendrá obligaciones que cumplir ante el organismo convocante al concurso (la empresa pública provincial) y también ante la autoridad minera concedente, para el avance de sus pedimentos.

2.4.1 La autoridad concedente

Cada provincia designa a la autoridad concedente. Prevalece el *sistema de autoridad minera mixta, de instancia administrativa y judicial*, que se aplica en la mayoría de las provincias que desarrollan la actividad minera. En estos casos, la instancia administrativa está a cargo de una Secretaría o Dirección de Minería, o un Juzgado Administrativo de Minas (como es el caso de la provincia de Jujuy), con algunas excepciones; las resoluciones dictadas en primera instancia administrativa pueden recurrirse.

2.5 Principales leyes nacionales

Las principales normas por considerar respecto a la actividad minera son:

- (i) Ley No. 1919 de 1886 - Código de Minería (C.M.); con sus modificaciones posteriores;
- (ii) Ley No. 24.196 de 1993 – de Inversiones Mineras; con sus modificaciones posteriores;

- (iii) Ley No. 24.228 de 1995 – Ratifica el Acuerdo Federal Minero¹⁸;
- (iv) Ley No. 24.585 de 1995 – Protección Ambiental para la Actividad Minera;
- (v) Ley 25.675 de 2002 - Ley General del Ambiente;
- (vi) Ley No. 24.224 de 1995 – Reordenamiento Minero. Cartas Geológicas de la República Argentina. Institucionalización del Consejo Federal de Minería;
- (vii) Ley 27.111 de 2014 – Introduce los últimos cambios a los valores del canon minero;
- (viii) Ley No. 24.466 de 1995 – Banco Nacional de Información Geológica;
- (ix) Ley No. 24.227 de 1993 – Comisión Bicameral de Minería en el Congreso;
- (x) Ley No. 25.243 de 2000 – Aprueba Tratado con Chile sobre Integración y Complementación Minera;
- (xi) Ley No. 24.523 de 1995 – Crea el Sistema Nacional de Comercio Minero;
- (xii) Ley Nacional 27.541 de 2019 – Solidaridad Social y Reactivación Productiva en el marco de la Emergencia Pública; fija nuevas alícuotas en el impuesto a las exportaciones de minerales.

En el año 2020 la Decisión Administrativa 450/2020 (Jefatura de Gabinete de Ministros) fechada el 3 de Abril de 2020 con motivo de la emergencia sanitaria (COVID-19) declara como esenciales a las actividades vinculadas con la producción minera.

2.6 Articulación nación-provincias

Acuerdo federal minero, CO.FE.MIN. y otras instituciones

A nivel nacional, la Secretaría de Minería, dependiente del Ministerio de Desarrollo Productivo, está a cargo del diseño, análisis, ejecución y evaluación de la política pública aplicable a la actividad minera en todo el territorio nacional. Esto requiere la interacción con provincias, municipios y la comunidad en su conjunto, así como con organismos nacionales e internacionales.

La coordinación con las provincias se enmarca en el Consejo Federal de Minería (COFEMIN) -integrado por las autoridades mineras de todas las provincias y el Estado nacional-. El COFEMIN tiene la misión de participar en la planificación, implementación y seguimiento de la política minera nacional, buscando promover el diálogo y consenso entre las partes.

El Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) es un organismo técnico, que brinda información sobre los recursos geológicos y mineros del país.

En el ámbito privado, se destaca la Cámara Argentina de Empresarios Mineros (CAEM) como la asociación gremial empresaria de todas las empresas mineras. AOMA y ASIJE-MIN son las gremiales de trabajadores (obreros mineros, y jerárquicos, respectivamente). Asimismo, existen otras instituciones o redes que buscan contribuir a un desarrollo responsable de la minería, como el Instituto Argentino de Derecho para la Minería (IADEM), la Red de Académicos por la Minería Sustentable, entre otras.

Más allá de las instituciones públicas sectoriales mineras, cada vez más la actividad minera es reconocida como interdisciplinaria. En este sentido, su gobernanza ya no puede considerarse limitada a las autoridades mineras, y ni siquiera solamente al sector público. Por esto, dentro de los gobiernos (tanto nacionales como provinciales) es clave la coordinación con muchas de las áreas de gobierno. Entre estas, es particularmente importante la interacción con los ministerios o secretarías de Ambiente. Esta realidad llevó, en los últimos años y tal como quedó plasmado en el Nuevo Acuerdo Federal Minero (2017), a un intento de coordinación entre el CO.FE.MIN y el Consejo Federal de Medio Ambiente (COFEMA).

2.7 Mención especial: la ley de inversiones mineras

La Ley de Inversiones Mineras (24.196), publicada en mayo de 1993, fijó un régimen especial de inversiones para la actividad minera, y todas las provincias adhirieron a dicho régimen. Luego de aprobado este régimen, la minería metalífera comenzó a desarrollarse en Argentina a un ritmo muy superior al histórico alcanzado hasta ese momento. El espíritu detrás de esta ley era promover un régimen estable que habilite las grandes inversiones necesarias, y acordar entre Nación y Provincias unas reglas fiscales que permitan el desarrollo del sector a largo plazo, teniendo en cuenta que la actividad minera es intensiva en capital y exige reglas claras y estables para la amortización de las inversiones.

En los últimos 15 años, a raíz de las emergencias económicas, la estabilidad consagrada en este régimen fue severamente afectada en reiteradas oportunidades, y ello generó conflictos judiciales. Como ejemplo, debemos destacar la imposición de retenciones a la exportación minera por parte del Gobierno Nacional. Esto fue un incumplimiento de la estabilidad otorgada a los inversores, pero además afectó la ecuación fiscal entre Nación y Provincias, en oposición al espíritu del Acuerdo Federal Minero y del Régimen de Inversiones Mineras. Los años de altos precios de las commodities encontraron a las provincias sujetas a un tope legal en sus regalías (3% valor boca mina), mientras que Nación percibía este nuevo ingreso (retenciones entre 5% y 10%), no coparticipable.

Como consecuencia, se fueron registrando modificaciones regulatorias en las provincias, tendientes a captar mayores ingresos fiscales o beneficios derivados de la explotación de sus recursos minerales. Así, las provincias instauraron fideicomisos de desarrollo o de

infraestructura; aplicaron modificaciones en las bases imponibles de las regalías, o subas en las alícuotas; otorgaron preferencias a sus empresas públicas sobre las empresas privadas; incluyeron condicionamientos en los informes de impacto ambiental; entre otras iniciativas regulatorias.

2.8 Normas que restringen la actividad minera

Entre 2003 y 2011, siete (7) provincias (Chubut, Mendoza, Tierra del Fuego, San Luis, Tucumán, La Pampa y Córdoba) **sancionaron leyes prohibiendo ciertas técnicas mineras**¹⁹.

Estas normas, en general, prohíben la actividad minera a cielo abierto, el uso de sustancias químicas (como el cianuro, el mercurio y otras), o bien ambas técnicas.

La constitucionalidad de estas leyes provinciales ha sido discutida judicialmente. Si bien no hay fallos de la Corte Suprema de Justicia de la Nación sobre el fondo de estas normas prohibitivas, las mismas han sido convalidadas por algunas cortes o tribunales supremos provinciales, incluyendo los de Córdoba y Mendoza.

Por otra parte, distintos municipios han elaborado Ordenanzas prohibiendo o restringiendo, dentro del ejido del municipio, el desarrollo de la actividad minera y/o el uso de sustancias químicas potencialmente peligrosas, el uso de explosivos, entre otros. En estos casos de prohibiciones municipales hay fallos que han determinado su inconstitucionalidad por incompetencia de los municipios para legislar en esta materia.

La prohibición de “ciertas técnicas” puede resultar, en la práctica, una prohibición casi absoluta para desarrollar la industria a mediano y largo plazo. Con la vigencia de este tipo de leyes, sólo pueden desarrollarse aquellos proyectos ya muy conocidos (factibilizados) y que tengan la opción de explotarse sin utilizar ninguna de las técnicas alcanzada por esas normativas (que son técnicas ampliamente extendidas y comunes en el desarrollo de la minería metalífera en todo el mundo). Pero la actividad exploratoria, que implica grandes inversiones a riesgo para alumbrar los nuevos yacimientos mineros, prácticamente desaparece. Los argumentos son de fácil comprensión. No es viable arriesgar grandes capitales para intentar descubrir yacimientos, siendo muy probable que esos yacimientos luego requieran alguna de esas técnicas para poder explotarse. El *quid* de estas normas, para evaluar su constitucionalidad, es determinar si son o no razonables. Es decir, si el medio (prohibición) es proporcionado para el fin (protección del medio ambiente), sabiendo que los aspectos sociales y económicos deben ser parte del análisis interdisciplinario.

Estas normas provinciales suponen que la única forma de cuidar el medio ambiente es prohibiendo la minería.

A nivel nacional, la llamada **ley de glaciares**²⁰ dispuso la *prohibición de la exploración y explotación minera en el ambiente periglacial* (art 6, inc c). Esta normativa contiene ambigüedades, legales y técnicas, principalmente en lo que respecta a la definición de ambiente periglacial y sus servicios ambientales. Lo anterior se ha tratado de precisar

con la actividad del Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), la institución técnica más capacitada en el tema, al trabajar en propuestas de definición y alcances de dichas áreas, pero estos intentos a su vez han sido luego cuestionados por distintos actores, no siempre con el debido sustento técnico.

En 2019, la Corte Suprema de Justicia de la Nación resolvió un caso²¹ sobre esta ley, pero sin definirse sobre el fondo de la cuestión, sino señalando que los accionantes no habían demostrado que la ley les causare un agravio o daño.

A la fecha de preparación de este documento siguen evidenciándose cuestionamientos, sobre todo en relación con la falta de reglamentación de algunos de los artículos de la ley y ciertas definiciones pendientes de precisión, para tener una cabal comprensión de los alcances e impactos de dicha normativa en la actividad minera.

2.9 Dimensión ambiental del marco normativo minero

La minería tiene desde 1995 e incorporada al Código de Minería de la Nación, una ley de *Protección Ambiental para la Actividad Minera*²².

Esta ley establece los *instrumentos de gestión ambiental* aplicables a la actividad: el *Informe de Impacto Ambiental* (IIA) y la *Declaración de Impacto Ambiental* (DIA), y asimismo fija normas de protección y conservación del ambiente y responsabilidades ante el daño ambiental. La *autoridad de aplicación* de esta ley son las autoridades que las provincias determinan.

Sin perjuicio de esta ley específica, es importante destacar que aplican también a la actividad minera todas las demás normas ambientales, en su gran mayoría sancionadas posteriormente, ya sea emitidas por la Nación en base a su facultad de establecer los llamados “presupuestos mínimos”, o emitidas por las provincias²³. Muchas de estas normas ambientales, incluyendo la Ley General del Ambiente Nacional²⁴, receptan disposiciones que, sin contradecir a la “Ley de Protección Ambiental para la Actividad”, pueden complementarla.

2.9.1 Evaluación de impacto ambiental

Conforme a la mencionada Ley de Protección Ambiental incorporado al C.M., ninguna actividad minera puede iniciarse sin obtener previamente la aprobación del Informe de Impacto Ambiental que debe presentar el concesionario. La aprobación de este informe se instrumenta mediante una Declaración de Impacto Ambiental, que emite la autoridad provincial que designa cada jurisdicción como competente para ello. Cabe mencionar que la DIA debe ser actualizada como máximo en forma bianual. Luego, el monitoreo y el poder de control o policía ambiental para fiscalizar el cumplimiento de la Declaración

de Impacto Ambiental, y demás obligaciones ambientales, también corresponde a las provincias.

El proceso y los criterios de la evaluación de impacto ambiental presentan diferencias en las provincias con actividad minera relevante. Algunas, más avanzadas, han trabajado, o bien se encuentran en ese proceso, conceptos como la categorización, alcance y contenidos mínimos de los IIA, incluyendo la modalidad “aviso de proyecto” (o propuesta inicial); una definición clara y precisa de los distintos mecanismos de participación ciudadana en el proceso de EIA; la elaboración de reglamentaciones, instructivos, protocolos, guías y manuales de procedimientos en el marco de la EIA; una distinción clara entre el concepto de IIA y las actualizaciones del mismo; contenidos y alcance de líneas de base, planes de manejo ambiental y planes de monitoreo; implementación de monitoreos ambientales participativos; entre otros, todos conceptos que emanan de las mejores prácticas sugeridas por la OCDE.

Emergen como instrumentos más recientes y abarcativos, los *estudios de impacto ambiental y social acumulativos* (EIASA), que buscan conocer los alcances de la suma de impactos de las actividades en una misma zona y los efectos o impactos sinérgicos, interactivos y/o aditivos (véase la Resolución 019/19 (2019) de la ex Secretaría de Minería de la provincia de Salta).

2.9.2 Cierre de minas

La normativa vigente señala que el informe de impacto ambiental presentado por el concesionario debe incluir las medidas de prevención, mitigación, rehabilitación, restauración o recomposición del medio alterado, según correspondiere. Sin embargo, no existe ninguna legislación específica en materia de cierre de minas a nivel nacional. En el año 2019, la Dirección Nacional de Producción Minera Sustentable de la ex Secretaría de Política Minera publicó una *Guía de Recursos de Buenas Prácticas para el Cierre de Minas*. Existen iniciativas contemporáneas de algunas provincias que buscan complementar el marco regulatorio vigente en el ámbito de cierre de minas (véanse los casos de las provincias de Catamarca, San Juan y Santa Cruz).

2.9.3 Otros aspectos ambientales

Se enuncian brevemente a continuación algunos aspectos relevantes que, acorde a estas normas ambientales, aplican a la actividad minera:

- Contratación de un seguro ambiental;
- Aplicación obligatoria del Reglamento de Higiene y Seguridad para la Actividad Minera (Decreto Nacional 249/2007);

- Obligación de las empresas inscriptas en la Ley de Inversiones Mineras de constituir previsiones ambientales especiales para prevenir y subsanar las alteraciones que en el medio ambiente pueda ocasionar la actividad minera;
- Obligaciones referidas a la generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos (Ley 24.051);
- Seguimiento de los presupuestos mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicio (Ley 25.612);
- Régimen de gestión ambiental de aguas (Ley 25.688);
- Régimen de presupuestos mínimos para la preservación de los glaciares y del ambiente periglacial (Ley 26.639);
- Presupuestos mínimos de adaptación y mitigación al cambio climático global (Ley 27.520).

En el curso de los dos últimos años (2019-2020) se establecieron pautas básicas para las condiciones contractuales de las *pólizas de seguro por daño ambiental de incidencia colectiva* (Resolución Conjunta 2/2019 de la Superintendencia de Seguros de la Nación y la ex Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable); se adoptó la Resolución 434/2019 (ex Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable), la cual establece el procedimiento para la aplicación de la *Evaluación Ambiental Estratégica* (EAE) a políticas, planes y programas que se desarrollen en el ámbito del Poder Ejecutivo Nacional; se aprobó el protocolo de respuesta ante incidentes que involucren *sustancias peligrosas* (Resolución 68/2019, Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental); se adoptó el *Programa Ambiente Participativo* con el objetivo de fortalecer el vínculo y la comunicación con los distintos actores de la sociedad beneficiarios de políticas a cargo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en el marco de la *Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* de Naciones Unidas (Resolución 145/2020); entre otras. Al momento de este escrito, existen distintos borradores de proyectos de ley de *Conservación de Humedales*, con distintos alcances, bajo tratamiento parlamentario.

Las normas provinciales que refieren a cuestiones ambientales relacionadas con la actividad minera son numerosas y su enumeración excede el alcance de este título.

2.9.4 Dimensión social del marco normativo minero

La Ley 25.675 “Ley General del Ambiente” establece que la participación ciudadana debe asegurarse, principalmente, en los *procedimientos de evaluación de impacto ambiental* y en los *planes y programas de ordenamiento ambiental del territorio* (art 21). Señala que

las *consultas* o *audiencias públicas* son instancias obligatorias para la autorización de actividades que puedan generar efectos negativos y significativos para el ambiente.

Por su parte, la *Ley 24.585 "De la protección ambiental para la actividad minera"* establece que debe implementarse un *programa de formación* e ilustración con la finalidad de orientar a la población sobre la comprensión de los problemas ambientales, sus consecuencias y prevención, con arreglo a las particularidades regionales, étnicas, sociales, económicas y tecnológicas del lugar en que se desarrollen las tareas. En la mayoría de los códigos de procedimientos mineros provinciales no se evidencia tan claramente el concepto de participación, y algunas se limitan a remitir a lo mencionado sobre el C.M. Sin embargo, el derecho de participación ciudadana en la gestión de los recursos naturales está siendo receptado vía decretos y/o resoluciones provinciales y, en menor medida en ciertas leyes²⁵.

Entre estas normas provinciales, que avanzan en reglamentar este derecho de participación ciudadana en torno a la minería, mencionamos cuatro ejemplos:

- *Catamarca* dictó en 2016 la *Resolución 330/2016*, que aprobó la "*Implementación de la Participación Ciudadana*" bajo las modalidades de fiscalización y monitoreos ambientales comunitarios participativos, consulta pública, mesas de diálogo, formación de inspectores ambientales de monitoreo de agua, capacitaciones y talleres participativos, campañas de divulgación, entre otras que se consideren oportunas y durante las diferentes etapas de la actividad minera.
- *Salta* dictó en 2018 la *Resolución 235/18* y constituyó las "*Mesas de Trabajo Social*", que impulsan acciones integradas y mancomunadas de vinculación y responsabilidad social empresaria, impulsando la transparencia y la participación. Hay distintas mesas, según las regiones, y las integran empresas, comunidades, municipalidades, entre otros actores.
- *Jujuy* cuenta con el Decreto 5772/2010, que reglamenta el proceso de evaluación de impacto ambiental para la actividad minera. Contempla una instancia de *participación ciudadana* (arts 15 y 23) y constituye la Unidad de Gestión Ambiental Minera Provincial ("UGAMP"), un grupo multiactor que interviene en el proceso.
- *Río Negro*, con su reforma al código de procedimientos mineros del año 2014, incorporó un nuevo capítulo "*De las Normas de Responsabilidad Social y Sobre las Buenas Prácticas en Exploración Minera*", señalando directrices a cumplir por los titulares de derechos mineros.

Por otra parte, y respecto a la participación social, es importante distinguir lo que refiere a los derechos de los pueblos indígenas, incorporados a nuestra Constitución Nacional en la reforma de 1994. La Constitución establece que corresponde al Congreso asegurar la *participación* de los *pueblos indígenas* argentinos en la *gestión referida a sus recursos naturales* y a los demás intereses que los afecten; y agrega que las provincias pueden ejercer concurrentemente estas atribuciones (art 75, inc 17). Por otra parte, Argentina ha

aprobado el *Convenio 169* de la *Organización Internacional del Trabajo sobre Pueblos Indígenas y Tribales en Países Independientes*²⁶. Este convenio consagra el derecho de los pueblos interesados a participar en la *utilización, administración y conservación* de los recursos naturales existentes en sus tierras. Asimismo, establece que los gobiernos deben fijar procedimientos con miras a consultar a los pueblos interesados, antes de autorizar cualquier programa de prospección o explotación de los recursos existentes en sus tierras. Los mismos deben participar siempre que sea posible en los beneficios del desarrollo de dichas actividades.

Sin embargo, tanto el derecho constitucional como el convenio ratificado por ley, no han sido nunca reglamentados. Esta falta de reglamentación y de evolución normativa, que ya lleva largo tiempo, ha dejado un gran espacio vacío, lo que genera interpretaciones diversas, prácticas *ad hoc*, y en ocasiones un alto nivel de conflictividad y de incertidumbre, tanto para el inversor como para los pueblos indígenas, con autoridades provinciales que se ven obligadas a gestionar sin reglas. La Corte Interamericana de Derechos Humanos (CIDH) acaba de señalar esta carencia, indicando que el país aún no cuenta con normativa y procedimientos adecuados (disposiciones de derecho interno) para garantizar en forma suficiente el derecho de propiedad comunitaria²⁷.

2.10 Dimensión económica en el marco normativo minero

Muchas de las normas ya comentadas tienen motivos e implicancias en relación con el desarrollo económico (Ley de Inversiones, Código de Minería, etcétera). Sin perjuicio de ello, además se advierte en los últimos años, y sobre todo en las regulaciones provinciales relacionadas con la actividad minera, la aparición de normas que tienden a conocer con mayor profundidad el impacto socioeconómico de los proyectos mineros, y optimizar sus beneficios.

Muchas exigen cupos, o preferencias, de **mano de obra o proveedores locales**. Provincias como Santa Cruz, Catamarca y Salta han establecido regulaciones que requieren que las empresas mineras den preferencia a la contratación de proveedores locales (trátase de bienes, materiales o servicios) y mano de obra local en general, con distintos alcances y beneficios y/o compensaciones, en cada caso (Ley 3141 (Santa Cruz); Resoluciones SEM 278/2013, 520/2014, 498/2014 (Catamarca); Ley 8164 y Decreto 534/2020 (Salta)).

Por otro lado, varias provincias exigen **información sobre aspectos socioeconómicos vinculados al desarrollo de los proyectos a fin de procurar luego sinergias** entre las empresas mineras y los pobladores locales, coordinación con las acciones de responsabilidad social empresaria, o bien guías de buenas prácticas respecto al impacto socioeconómico. Entre estas, podemos señalar la *Resolución 087/18* (2018) de Salta; o la *Resolución 998/2014* (2014) de Catamarca.

Otras iniciativas o normas provinciales refieren a temas tales como: (i) el desarrollo y uso compartido de infraestructuras; (ii) el fomento de vínculos o enlaces a través de los dife-

rentes sectores e industrias; (iii) la inversión en investigación y desarrollo, así como en capacitaciones específicas; (iv) el desarrollo de proveedores; (v) la generación de empleo; (vi) la inversión en nuevas formas de desarrollo y actividades productivas; (vii) la promoción y uso de fuentes de energía renovables, (viii) el uso y manejo del agua e inversiones asociadas; (ix) distintos tipos de construcciones y usos alternativos; (x) las cadenas de valor; (xi) la promoción del concepto de economía circular; (xii) el impulso del enfoque de género en dichas planificaciones (por razones de extensión, distintos subtemas de esta sección no son abordados en el presente artículo).

Como ejemplo, la provincia de *Salta* habilitó en 2020 un mecanismo o régimen, en parte inspirado en el peruano “obras por impuestos”, mediante el cual las empresas mineras pueden llevar a cabo, junto con el gobierno, obras de infraestructura vial, ferroviaria, de comunicación, energéticas y sociales de utilidad pública, y luego compensar parcial o totalmente su inversión, con las regalías mineras²⁸.

En algunas provincias se viene discutiendo la distribución de las *regalías mineras*, buscando un mayor énfasis en el desarrollo de proyectos de inversión, obras de infraestructura o desarrollo productivo, y otros puntos (Catamarca, Salta, San Juan, entre otras).

2.11 Observaciones finales

Tal como surge de este capítulo, el desarrollo de la minería genera numerosas expectativas y desafíos respecto de sus impactos ambientales, sociales y económicos. Actualmente varias provincias están revisando y trabajando en propuestas de reforma y actualización de sus marcos normativos. Esto incluye los códigos de procedimientos mineros y procesos de evaluación de impacto ambiental y social. Temas tales como mecanismos de participación ciudadana, desarrollo de infraestructuras, gestión y uso del agua, uso de fuentes de energía renovables, cierre de minas, cambios en el esquema de regalías, creación de fondos de desarrollo, entre otros, son enfatizados. El saber técnico y preciso de la materia y los métodos para su desarrollo deben enmarcarse asimismo en las especificidades de cada proyecto.



Entorno de buenas prácticas

A continuación, se esboza un panorama de lineamientos generales de las buenas prácticas existentes y aplicables hoy en día a la actividad minera. Varias de ellas son el motivo de más detalle en secciones posteriores de este documento.

3.1 ¿Qué son las llamadas “buenas prácticas” y por qué son importantes?

En la minería, al igual que en otras industrias, existe una presión social y política cada vez mayor por hacer las cosas bien. En parte se debe a una exigencia creciente en las últimas décadas que tiene que ver con la responsabilidad social de las empresas. En parte se debe a que, para las industrias extractivas en particular, existe un historial mixto que remediar en términos de impactos ambientales y sociales. En este sentido lo que se persigue es la sustentabilidad de las zonas en las que opera la minería en cuanto a medio ambiente, y también en cuanto al negocio que será sostenible como tal en la medida que, la industria en general y cada operación en particular, tengan licencia social para operar.

En el estado actual de la discusión en torno a la minería, la sustentabilidad es un concepto muy abarcador: incluye no sólo la idea de minimizar impactos ambientales negativos sino la de generar un efecto ambiental netamente positivo en el que, por ejemplo, las empresas líderes busquen desarrollar la biodiversidad autóctona en paralelo a la actividad de extracción mineral, y contar con planes de cierre de mina para rehabilitar el terreno afectado. Además, se ha integrado a la noción de sustentabilidad la relación con las comunidades con interés en la mina: esto es, el reconocimiento de múltiples interesados o “stakeholders”.

¿Quiénes demandan buenas prácticas?:

- Quienes trabajan en minería y quieren volver a su casa sanos todos los días: los empleados.
- Quienes viven en/cerca de zonas mineras: las comunidades afectadas.
- Quienes tienen interés en preservar el medio ambiente para las generaciones futuras: la sociedad en general.

- Quienes representan a esos grupos: la sociedad civil y los activistas sociales y ambientales.
- Y, cada día más, inversores y accionistas.

Hoy, entonces, la pregunta clave para los países que buscan crecimiento económico sostenible no es “minería sí o minería no”, sino “minería cómo”. La respuesta que cada país encuentre a este interrogante tendrá que surgir del diálogo entre las diversas partes incluidas, no solo las autoridades y empresas, sino también y fundamentalmente la sociedad civil, esto es, empleados, comunidades afectadas y pueblos originarios si los hubiera.

Si bien existen ejemplos de buenas prácticas en cada proyecto son dos las fuentes principales donde se pueden encontrar las mejores recomendaciones:

- Iniciativas y estándares internacionales
- Mecanismos multilaterales

3.2 Iniciativas y estándares internacionales

Son iniciativas destinadas a recopilar, sistematizar y aconsejar, validar, estandarizar o fomentar buenas prácticas existentes.

A continuación, se menciona un listado de las principales que abordan los lineamientos generales puesto que los particulares se desarrollan con más detalle en los capítulos respectivos.

Están las Normas ISO 14000 (Sistemas de Gestión Ambiental) reconocidas globalmente que aplican también a las industrias extractivas.

También son muy importantes para el ámbito de la minería los estándares de:

- La Initiative for Responsible Mining Assurance (IRMA²⁹),
- El Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM³⁰),
- Towards Sustainable Mining o TSM³¹ – el esquema canadiense al que adhiere en Argentina la Cámara Argentina de Empresarios Mineros (CAEM³²).
- La OCDE que también tiene guías útiles, en particular sobre cadenas de suministros.
- La Iniciativa de Transparencia de las Industrias Extractivas (EITI³³) por sus siglas en inglés)

Un factor que comparten los estándares diversos que se han creado es el imperativo de que las empresas publiquen e informen sobre su performance con respecto a las áreas ya mencionadas, y que verifiquen esos informes en forma independiente. Para eso el estándar referente es el de la Global Reporting Initiative³⁴ (GRI).

La Iniciativa IRMA es el estándar más específico y abarcativo de las actividades mineras. El esquema del estándar IRMA y la certificación correspondiente abarcan la minería y todas sus actividades específicas relacionadas, tales como la construcción de infraestructura o el procesamiento preliminar de minerales que ocurre en la mina misma, y comprende los requisitos correspondientes a diferentes etapas del ciclo de vida de la mina, desde la prospección hasta el post-cierre.

En casos limitados, el estándar hace referencia a infraestructuras como las rutas de transporte o las instalaciones asociadas localizadas fuera del sitio de la mina. Por ejemplo, los requisitos sobre reasentamiento se aplican incluso si el desplazamiento ocurre solo en relación con una de las instalaciones que no está ubicada dentro de la concesión minera, cuando dicha instalación deba ser construida fuera del desarrollo de la mina. El estándar no se aplica a la manufactura y ensamble de productos, ni al uso y eliminación del producto final.

Todas las minas certificadas según el estándar IRMA, cualquiera sea su tipo y escala, deberán cumplir con todos los requisitos pertinentes del estándar. Estos han sido redactados en forma general, permitiendo así que se lleven a cabo diferentes acciones en minas de diversos tipos y escalas, y puedan demostrar su cumplimiento.

A esta se suma la “Guía de la debida diligencia de la OCDE para cadenas responsables de suministro de minerales de áreas de conflicto o de alto riesgo”, que vale destacar y tomar en consideración.

Otra buena práctica general es la transparencia en los pagos que efectúan las empresas. Los pedidos para que las empresas extractivas divulguen los impuestos, regalías y tarifas que pagan a los gobiernos comenzaron a mediados y fines de la década de 1990. Este cambio se dio a partir de la campaña “Publish What You Pay”³⁵, tal como se conoció el movimiento, cuyo objetivo era permitir que los ciudadanos de los países en los que se estaban llevando a cabo proyectos de petróleo, gas y minería exigieran a sus gobiernos que rindieran cuentas del dinero que se les paga.

En algunos casos, las empresas pagaban enormes cantidades de dinero en impuestos, pero el país anfitrión seguía empobrecido, y los que vivían más cerca de las operaciones veían pocos beneficios tangibles, si es que los tenían. Al revelar los impuestos pagados, las compañías mineras empoderan a los ciudadanos de los países ricos en recursos para solicitar a sus gobiernos información sobre a dónde ha ido el dinero, en qué se ha gastado y quién se ha beneficiado. Esto ayuda a tomar medidas enérgicas contra la mala gestión y la corrupción donde ésta existe, y proporciona un catalizador útil para que los ciudadanos comprendan cómo las industrias extractivas pueden ayudar realmente al desarrollo social y económico de su país.

La Iniciativa de Transparencia de las Industrias Extractivas (EITI³⁶) por sus siglas en inglés) es un estándar global, lanzado en 2003, para promover la gestión abierta y responsable de los recursos naturales. Busca fortalecer los sistemas gubernamentales y empresaria-

les, informar el debate público y mejorar la confianza. Si bien el alcance de EITI ahora es mucho más amplio que la simple transparencia de los ingresos fue el primer estándar global que exigió transparencia en los ingresos en cualquier industria y es considerado el antepasado de las leyes de informes obligatorios que desde entonces han sido aprobadas por varios países. La Argentina tiene estatus de país implementador del EITI desde febrero de 2019.

En 2010, Estados Unidos aprobó la Ley Dodd-Frank, una importante ley de reforma financiera destinada a prevenir futuras recesiones mundiales. La aprobación de la Ley Dodd-Frank llevó a la Unión Europea, Noruega y Canadá a aprobar leyes similares que desde entonces se han implementado en esas jurisdicciones.

La ventaja de las leyes de presentación de informes obligatorios como la Ley Dodd-Frank es que crean un campo de juego nivelado para la industria. Muchas de las grandes mineras con operaciones globales deben publicar sus pagos al gobierno, independientemente de si están operando en un país que implementa el estándar EITI o no. Además, los datos requeridos por las leyes de presentación de informes obligatorios estarán mucho más actualizados que los datos del EITI, que pueden tener dos años en el momento de su publicación. Sin embargo, una desventaja de las leyes de presentación de informes obligatorios en relación con EITI es que no proporcionan la información contextual más amplia que requiere la presentación de informes EITI, y el flujo de información es unidireccional, de la empresa al gobierno. Por lo tanto, se puede considerar complementarios a los dos enfoques.

3.3 Mecanismos multilaterales

Son iniciativas o guías de organismos multilaterales, principalmente de crédito para el desarrollo, que funcionan como transmisores o repositorios de conocimiento y buenas prácticas y, a menudo, hacen foco en temas específicos.

Derechos Humanos

A raíz del **Marco Proteger, Respetar y Remediar**³⁷ de la ONU en 2008, y de los Principios Rectores sobre Empresas y Derechos Humanos (UNGP) de la ONU en 2011, existe una clara expectativa de que las empresas tienen la responsabilidad de respetar los derechos humanos. Los UNGP gozan de un amplio apoyo y los elementos claves se han incorporado a otras normas internacionales, incluidas las Normas de Desempeño de la Corporación Financiera Internacional (IFC) y las Directrices de la OCDE para Empresas Multinacionales.

A nivel nacional, los derechos humanos están protegidos en muchas jurisdicciones por la legislación nacional que las empresas deben cumplir, pero algunos gobiernos van más allá y utilizan los UNGP para ampliar o crear nuevas políticas y regulaciones. Estos planes pueden generar mayores expectativas en las empresas para comunicar cómo están abordando los impactos sobre los derechos humanos. Por ejemplo, en algunas jurisdicciones

existen nuevos requisitos de presentación de informes sobre cuestiones específicas de derechos humanos, como la esclavitud y el trabajo forzoso.

Las empresas mineras tienen la responsabilidad de respetar los derechos humanos de las comunidades que afectan y de las personas que emplean. Existe una clara evidencia de que, a través de políticas y marcos de gobernanza apropiados, las operaciones mineras y metalúrgicas pueden ayudar a impulsar la realización de los derechos económicos y sociales mediante el alivio de la pobreza, la provisión de infraestructura esencial e inversiones sociales. Pero igualmente, cuando los intereses de las comunidades locales no se tienen debidamente en cuenta, la industria puede afectar negativamente la salud, los medios de vida y la seguridad de las personas.

Pueblos Indígenas. En términos de derechos humanos, existe un reconocimiento de que los pueblos indígenas u originarios a menudo tienen preocupaciones únicas y/o vienen con una trayectoria de marginación sistemática que es importante entender. Dentro de las relaciones comunitarias es necesario reconocer la situación específica de comunidades indígenas que pueden tener un vínculo particular con el territorio que ocupan. Existen publicaciones para guiar buenas maneras de entablar relación (hacer “engagement”) con grupos indígenas, en especial la de ICMM. “Los Pueblos Indígenas y la Minería: Guía de Buenas Prácticas”³⁸ describe los principios para un compromiso positivo que fomenta el respeto por los derechos, intereses, aspiraciones, culturas y medios de vida de los pueblos originarios.

El desarrollo comunitario es el proceso consistente en incrementar la fuerza y efectividad de las comunidades para mejorar la calidad de vida de las personas y su participación en la toma de decisiones que lograrán un mayor control a largo plazo sobre sus vidas. Va más allá de mitigar los impactos sociales y se enfoca en fortalecer la viabilidad comunitaria. Básicamente, trabaja para crear beneficios locales para las personas más allá de la vida útil de la operación minera.

A menudo, los legados más sostenibles y beneficiosos de los programas de desarrollo comunitario son aquellos que apoyan la mejora o el desarrollo de capacidades de la población local a través de la formación, el empleo y la educación. Beneficios que convierte a los activos mineros como capital de recursos naturales no renovables, en otros activos locales, tales como, capital social, económico y ambiental sostenible. (tengo dudas en lo que quisieron decir acá)

Para las empresas mineras y las comunidades en las que operan este proceso es un camino continuo. Siempre habrá más por hacer, y las relaciones con la comunidad requieren una atención constante y una inversión de recursos.

Con respecto a las comunidades, también hay que pensar los temas de reasentamiento y mecanismos de quejas, sobre las que hay prácticas establecidas y pautadas también por Towards Sustainable Mining (Hacia un Minería Sustentable, el estándar desarrollado por la Asociación de Minería de Canadá) y otros estándares internacionales.

3.4 Necesidad de las buenas prácticas en la minería

El país que no las implementa corre el riesgo de recibir empresas menos responsables que no solamente no prioricen velar por la integridad ambiental de la zona en la que opera, sino que además pueden malograr las relaciones de confianza con los distintos stakeholders. La empresa que no se actualiza y adecua no solamente ve peligrar su licencia social de operar, sino que pone en peligro su acceso al financiamiento.

Inversores y accionistas al frente de la agenda “ESG” (Environmental, social and governance – o ambiental, social y de gobernanza).

Los Principios de Ecuador³⁹ (EP) son un marco de gestión de riesgos adoptado por las instituciones financieras creado e impulsado por la Corporación Internacional Financiera (IFC) del banco Mundial para determinar, evaluar y gestionar el riesgo ambiental y social en los proyectos con el fin de proporcionar un estándar mínimo para la debida diligencia y el seguimiento para respaldar la toma de decisiones de riesgo responsable.

Actualmente, 111 instituciones financieras pertenecientes al Acuerdo de los Principios del Ecuador (EPFI por su sigla en inglés o IFPE, la respectiva en español) en 37 países, han adoptado oficialmente los Principios de Ecuador, que cubren la mayoría de la deuda de financiamiento de proyectos internacionales dentro de los mercados desarrollados y emergentes.

Las IFPE se comprometen a implementar los Principios de Ecuador en sus políticas, procedimientos y estándares ambientales y sociales internos para financiar proyectos y no proporcionarán financiamiento de proyectos o préstamos corporativos relacionados con proyectos a emprendimientos donde el cliente no pueda cumplir con los EP.

Los Principios de Ecuador

Son principios desarrollados por la Corporación Financiera Internacional (IFC en inglés) del Grupo Banco Mundial y un comité de 4 bancos originarios que han aumentado considerablemente la atención y el enfoque en los estándares y la responsabilidad social / comunitaria, incluidos estándares sólidos para los pueblos indígenas, estándares laborales y consultas con las comunidades afectadas localmente dentro del mercado de financiamiento de proyectos. También han promovido la convergencia en torno a estándares ambientales y sociales comunes. Los bancos de desarrollo multilaterales, incluido el Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo, y las agencias de crédito a la exportación a través de los enfoques comunes de la OCDE se basan cada vez más en los mismos estándares que los Principios de Ecuador.

Los Principios de los Bonos Verdes 2018 – Green Bond Principles (GBP)

Los Bonos Verdes permiten obtener capital e inversión para proyectos nuevos y existentes con beneficios ambientales. Los Principios de los Bonos Verdes son pautas voluntarias que recomiendan la transparencia y la divulgación y promueven la integridad en el desarrollo del mercado de Bonos Verdes al aclarar el enfoque para su emisión.

Están destinados a un amplio uso por parte del mercado. Entre ellos, proporcionan a los emisores orientación sobre los componentes claves involucrados en el lanzamiento de un bono verde creíble; ayudan a los inversores garantizando la disponibilidad de la información necesaria para evaluar el impacto medioambiental de sus inversiones en bonos verdes; y ayudan a los suscriptores a mover el mercado hacia divulgaciones estándar que facilitarán las transacciones.

Todos estos nuevos instrumentos y mecanismos financieros dan cuenta del apetito que hay por parte de inversores y accionistas en un mercado donde sus inversiones puedan considerarse tanto éticas como “verdes”.

3.5 Evaluación y gestión de los aspectos ambientales y sociales

El concepto de sostenibilidad en las intervenciones humanas de todo tipo se ha ido forjando en las últimas cinco décadas, particularmente a partir de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD) que tuvo lugar en Río de Janeiro en junio de 1992 y, más recientemente, con la Resolución de la Asamblea General de Naciones Unidas del 25 septiembre de 2015, en la que se aprobó la Agenda al 2030 y los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS).

En la actualidad ya no se discute el paradigma que vincula íntimamente los tres principales enfoques del desarrollo sostenible: el económico, el ambiental y el social. A la fecha, los nuevos proyectos de cierta envergadura deben respetar regulaciones locales, nacionales o internacionales que establecen la obligatoriedad de incluir en su diseño y planificación a estos tres abordajes, con modalidades y metodologías que, continuamente, se van optimizando en cuanto a sus contenidos, a los indicadores de sostenibilidad a considerar y a los procedimientos para monitoreo y control de la evolución de las variables seleccionadas.

Este requisito, aplicable a distintos sectores productivos o de servicios, deviene más complejo en cuanto a las actividades extractivas, en las que la explotación, procesamiento y uso de un recurso natural no renovable genera un factor de inequidad intergeneracional que es difícil de expresar en términos económicos.

En la percepción del riesgo que tienen las comunidades vecinas a un proyecto minero, y en la comunidad en general, influyen sustancialmente los antecedentes de:

- eventos producidos en el curso de distintos proyectos desarrollados en el país y en el mundo que han provocado daños ambientales y, en ocasiones pérdida de vidas humanas;
- el tipo de sustancias empleadas en el procesamiento de los minerales, puntualmente, aquellas vinculadas a la potencial afectación a la salud de los trabajadores o de las poblaciones próximas al emprendimiento;
- la envergadura de la explotación, aspecto asociado a lo que suele denominarse megaminería, término que es potenciado si se trata de una explotación a cielo abierto.
- la cantidad de pasivos ambientales originados en proyectos abandonados, generalmente no inventariados ni monitoreados.
- en algunos casos específicos, proyectos que han intervenido sitios considerados sagrados o intangibles por los pueblos originarios.
- incertidumbres vinculadas a la situación laboral que se genera a partir del cierre o abandono del sitio.

Si bien en el documento se presentan en detalle las cuestiones técnicas, sociales, legales, institucionales y económicas vinculadas a un proyecto minero y se hace referencia a los aspectos desfavorables mencionados, estas recomendaciones tienen el propósito de resaltar *los procedimientos y herramientas* que es imperativo utilizar, a fin de coadyuvar en la obtención de la licencia ambiental por parte de la autoridad competente así como en la viabilización de la “licencia social” que, a la fecha, es tan importante como la ambiental.

Las regulaciones y las buenas prácticas.

La profusa normativa ambiental nacional, jurisdiccional y aún municipal aplicable al sector minero en el país es diversa en tanto cada jurisdicción fue adoptando sus propias regulaciones mediante la promulgación de leyes, decretos y resoluciones. Ellos definen los procedimientos a aplicar para solicitar y adjudicar las concesiones, asignar responsabilidades en el control del cumplimiento de los compromisos sociales y ambientales y en el régimen de las sanciones por incumplimientos, entre otras cuestiones

Entre las regulaciones jurisdiccionales se debe consignar, como de significación, las diferencias entre los contenidos mínimos requeridos para los Estudios de Impacto Ambiental (EslA) que deben ser sometidos a la autoridad regulatoria en lo referente a la participación de la comunidad durante el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), y a la oportunidad y modalidad de dicha participación.

El Consejo Federal del Medio Ambiente (COFEMA) y el Consejo Federal Minero (COFEMIN), cada uno en su ámbito, tienen la función de establecer las coordinaciones entre el

nivel nacional y las jurisdicciones. Sería conveniente que ambas entidades en conjunto precisaran los detalles de los EsIA para el sector minero y propicien su promulgación con el alcance de presupuestos mínimos. Con ese marco, cada jurisdicción podrá profundizar o aumentar los requerimientos, según considere conveniente.

Las leyes provinciales que prohíben la minería metalífera a cielo abierto y, en algunos casos, la utilización de cianuro u otras sustancias químicas en el procesamiento de los minerales, interpretan la percepción del riesgo generada en las comunidades de esas jurisdicciones y constituyen escollos importantes para la viabilización de la licencia social en proyectos ubicados en provincias en las que esas explotaciones o sustancias no están prohibidas.

En el documento se le asigna un espacio importante a las Guías o Códigos de Buenas Prácticas, desarrolladas específicamente para las actividades mineras, las que constituyen una herramienta muy útil para la gestión de las cuestiones ambientales y sociales y un complemento importante de las regulaciones vigentes. Algunas de ellas aplican a la gestión de los relaves o del cianuro y, otras, a la planificación, seguimiento y comunicación de la performance general del proyecto.

Adicionalmente, están disponibles las normas elaboradas por la International Standard Organization (ISO), como por ejemplo las siguientes.

- ISO 9001/2015 Sistema de Gestión de la Calidad
- ISO 14001/2015 Sistema de Gestión Ambiental
- ISO 45001/2018 Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo
- ISO 46001/2019 Gestión del Uso eficiente del Agua

Todas ellas requieren de una certificación obligatoria otorgada por organizaciones autorizadas para emitirlas.

Si bien la adhesión a los Códigos o a las Normas ISO es voluntaria y no reemplazan a las regulaciones, todas tienen en común el requisito obligatorio de respetar procedimientos estandarizados y de preparar reportes periódicos de su performance, respecto a los indicadores y metas seleccionados ad-hoc. Los informes son sometidos a auditorías del Ente Auditor u Organismo Certificador y, luego, se hacen públicos en el marco de un programa de comunicación y participación de la comunidad.

Por ello, es recomendable que, en cada proyecto, se seleccionen las guías, códigos o normas voluntarias que se consideren más apropiadas a las características del emprendimiento como herramientas de generación de confianza y transparencia en la comunidad y, a la vez, facilitadoras del diseño y planificación de todas las etapas del proyecto que debe realizar la empresa minera y aprobar la autoridad regulatoria.

Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y Estudio de Impacto Ambiental (EslA)

Hasta el presente, la normativa ambiental regula a nivel nacional la obligatoriedad de la ejecución de los EslA, sin precisar, para los emprendimientos mineros, los contenidos específicos con el detalle necesario.

A partir de la presentación de los EslA ante la autoridad ambiental jurisdiccional, se inicia el procedimiento de la EIA, siguiendo lo establecido en cada jurisdicción. La envergadura de los proyectos y la trascendencia económica, ambiental y social, van más allá de los límites políticos de la jurisdicción, lo que amerita la preparación de EAEs, al menos regionales, para enmarcar correctamente los beneficios y riesgos asociados a los tres aspectos que componen el paradigma de la sostenibilidad.

Para su elaboración se dispone de información suficiente para delimitar las regiones mineras del país, identificar los minerales con factibilidad de explotación en cada zona, los procesos mineros que pueden ser desarrollados, las posibilidades de tratamiento y disposición final de los residuos generados y los potenciales riesgos ambientales que pueden presentarse en las etapas de exploración, operación y posterior cierre.

En la elaboración de esta herramienta, de incipiente aplicación en nuestro país, (la Resolución SAsyDS N°337/19, aprueba una Guía para su elaboración), deberían participar los organismos nacionales competentes en forma conjunta con las autoridades regulatorias de cada una de las jurisdicciones involucradas, utilizando las funciones de coordinación que tienen el Concejo Federal del Medio Ambiente (COFEMA) y el Concejo Federal Minero (COFEMIN). Las asociaciones empresarias del sector minero y las organizaciones no gubernamentales (ONG), pueden aportar sus puntos de vista dentro de un esquema de consultas públicas.

En este proceso de ajuste de la normativa nacional se recomienda tomar como referencias las normativas en aplicación en países de tradición minera como Chile, Canadá o Australia y los criterios y contenidos de los códigos voluntarios, como por ejemplo el “Código Internacional para el Manejo del Cianuro”, “El Estándar Global de la Industria sobre Manejo de Relaves (GISTM) y el IRMA STD-001 o el programa “Hacia una Minería Sostenible (HMS), promocionado por la Cámara Argentino Canadiense.

Las etapas del proceso minero y sus implicancias ambientales y sociales

Si bien todas las etapas tienen su significación ambiental y social debe señalarse que dos de ellas requieren de una especial atención. Son:

- La de la evaluación de la factibilidad del proyecto y
- La de cierre y post-cierre
- En la primera de ellas, se define el diseño del proyecto y los contenidos del Plan de Gestión Ambiental para todas las etapas a partir de:

- La identificación de áreas sensibles: áreas de valor patrimonial, ecosistemas naturales protegidos, áreas urbanas,
- La elaboración de la línea de base ambiental y social.
- La identificación de los riesgos asociados a los procesos a aplicar, a las sustancias químicas a emplear y a los residuos a generar.
- La selección de indicadores de performance vinculados a la preservación del entorno, a la protección de la salud de los trabajadores y comunidades vecinas y a la evolución de los indicadores del nivel social de las comunidades.
- La información detallada respecto a riesgos geohidrológicos, hidrológicos, sísmicos y meteorológicos.
- La preparación de los planes de contingencia para afrontar eventuales eventos no deseados.
- Las modalidades previstas para la gestión participativa comunitaria.
- La elaboración del plan específico de cierre y post-cierre.

En la etapa de cierre y post-cierre será esencial disponer y aplicar las medidas conducentes a:

- Monitorear el sitio del proyecto y su entorno con la frecuencia y diseño apropiados, la calidad de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, la de los suelos y del aire, y proceder a remediar cualquier alteración que se produzca, con referencia a la línea de base original, a partir de migraciones derivadas de la inestabilidad de los residuos generados en la etapa operativa del proyecto, u otras causas.
- Evitar la generación de nuevos pasivos ambientales
- Integrar a las comunidades a actividades derivadas de la generación de cadena de valor de los productos del proyecto, al aprovechamiento de la nueva infraestructura local, así como de las iniciativas de desarrollo social, incluidas en el PGA y consensuadas con las comunidades.
- Afrontar los costos del monitoreo del sitio a partir del cierre o abandono de la mina, o eventuales tareas de remediación que sean necesarias, aplicando las herramientas financieras y de aseguramiento que se hubieran seleccionado al momento de efectuar la planificación del proyecto.

Fortalecimiento de las instituciones

La dinámica y complejidad de los emprendimientos mineros hace necesario el seguimiento y control permanente por parte de la autoridad regulatoria local, que debe tener la capacidad técnica y operativa apropiada.

Las innovaciones tecnológicas en cuanto a la automatización de procesos, a las mejores tecnologías disponibles (BATs) para el procesamiento de los minerales y para la gestión de los residuos, efluentes y emisiones a la atmósfera, así como los enormes avances en las comunicaciones deben permitir al cuerpo técnico de la autoridad de aplicación supervisar en tiempo real las operaciones en el sitio y su entorno.

Estas facilidades deben complementarse con los ajustes normativos que sean procedentes y con la aplicación de medidas de coordinación entre el nivel nacional y jurisdiccional para mejorar la gobernanza y la transparencia en la información que sea suministrada a la sociedad.

ASPECTOS ESPECÍFICOS A CONSIDERAR



Gestión de riesgos por el uso de sustancias químicas

4.1 Introducción

El propósito de este punto es identificar las sustancias químicas que suelen emplearse en el procesamiento de los minerales a explotar, las características de esas sustancias que las hacen riesgosas y las regulaciones a las que están sometidas, además de señalar los indicadores que califican a los residuos derivados de las tecnologías aplicadas.

Para completar el panorama, se hace mención de las emisiones a la atmósfera que deben tenerse en cuenta en la planificación y los procedimientos a los que se puede recurrir para el control y minimización de dichas emisiones.

Los contenidos que se incorporan a continuación se refieren a la minería metalífera específicamente, teniendo en cuenta que el Plan Estratégico lanzado por la Secretaría de Minería de la actual gestión de gobierno -y que fuera aprobado por Resolución SE N°47/2020- se refiere especialmente a un conjunto de más de 250 proyectos metalíferos (cobre, oro, plata) y de litio, en distintos estadios de desarrollo. A ellos se agrega el uranio por considerarlo como alternativa a la actual importación, en el marco de la estrategia de transición energética para cumplir con los compromisos asumidos a partir de la ratificación del Acuerdo de París (2015) y de la promulgación de la Ley 27520 de Adaptación y Mitigación del Cambio Climático, en diciembre de 2019.

El otro aspecto que ha influido en la selección de los metales a incorporar en este análisis es la percepción del riesgo que la comunidad tiene respecto de los proyectos de recuperación y enriquecimiento de minerales que contienen oro, plata, cobre y uranio especialmente, que puede calificarse como alta en comparación a otros proyectos como la minería del hierro, en cuyo caso, la percepción del riesgo es menor.

Los metales se encuentran, en general, asociados químicamente a otros elementos formando compuestos sulfurosos, óxidos, silicatos, carbonatos, etc. Los minerales están constituidos generalmente por más de un metal, por elementos no metálicos, impurezas y gases disueltos. Suele denominarse “mena” a la roca que contiene minerales deseados en una concentración económicamente viable del metal o metales buscados, alojados en

un compuesto huésped, como por ejemplo el cuarzo, que constituye lo que se denomina “ganga”.

Esta gran diversidad de minerales que contienen un determinado metal, y de las formas en que se los pueden encontrar en la etapa exploratoria, hace que la tecnología a aplicar para su metalurgia deba ser analizada y adoptada específicamente en cada caso. Tanto las sustancias que corresponde emplear en cada etapa del procesamiento del mineral, como la cantidad y tipo de residuos sólidos y líquidos que se generarán, también tendrán indicadores específicos del sitio considerado.

En términos generales puede asumirse que las etapas del procesamiento de minerales, una vez extraído, suelen ser las siguientes:

- Trituración
- Molienda
 - En seco
 - Vía húmeda
- Extracción por hidrometalurgia
 - Lixiviación
 - Flotación
 - Concentración gravimétrica
 - Intercambio de iones
 - Extracción por solventes
- Transformación por pirometalurgia
 - Tostación
 - Calcinación
 - Fusión
- Transformación por biometalurgia
- Refinación por electrometalurgia
 - Electrólisis

Las dos primeras disgregan el mineral y reducen la granulometría de las partes constitutivas para facilitar la extracción del o de los metales que se quiere separar y concentrar. Las sustancias potencialmente riesgosas se suelen emplear a partir de la etapa de ex-

tracción, en las que se utilizan los procedimientos que se indican a continuación, a modo de ejemplo.

Es necesario señalar que hay numerosos centros de investigación universitarios, o de las empresas del sector, que están permanentemente analizando las posibilidades de optimizar los procesos fisicoquímicos y aún biológicos a fin de reemplazar las sustancias potencialmente riesgosas, por otras que no lo sean o al menos reduzcan los riesgos laborales y ambientales de su empleo.

En gran parte de los emprendimientos metalíferos del país no se efectúa la refinación al producto metálico puro. Obtenida una determinada concentración del metal, se procede a su exportación, con un porcentaje de impurezas o de otros metales de valor comercial.

En todas las etapas del procesamiento será ineludible efectuar una apropiada gestión de los residuos sólidos, de los efluentes líquidos y de las emisiones a la atmósfera. Se requiere una planificación integrada con los procesos productivos propiamente dichos. Esa gestión deberá ser permanente durante la vida útil del proyecto y también en el período post cierre, el que puede ser igual o más prolongado que los anteriores. Los comentarios específicos, se incluyen en el ítem 6.5.

4.2 Sustancias utilizadas en el proceso minero

Para identificar las sustancias potencialmente riesgosas utilizadas en el procesamiento de los minerales metalíferos se optó hacer referencia a las tecnologías hidrometalúrgicas por ser las utilizadas con más frecuencia en la minería metalífera. No son objeto de análisis en este documento los procesos mineros artesanales que pueden tener mayor riesgo para los trabajadores y el entorno.

El detalle de los procesos que se utilizan para cada metal se hace a título ilustrativo con el objeto de señalar que, salvo cuestiones de escala, los procedimientos y sustancias empleados son similares a los utilizados en otros procesos industriales.

4.2.1 Proceso hidrometalúrgico del oro

Dependiendo de las características y ley del mineral, el oro puede separarse de los elementos no valiosos, por gravedad o cianuración.

El oro se encuentra presente en la naturaleza en diferentes depósitos auríferos, entre los que pueden citarse:

- **Depósitos placer o yacimientos tipo placer.** Oro contenido en la grava de los ríos, arena de playa o en sedimentos producidos por aluviones.
- **Oro asociado con compuestos sulfurados.** El oro se encuentra en partículas, libre o disperso, en los sulfuros.

- **Teluros de oro.** También conocido como calaverita, se lo encuentra generalmente en presencia de oro elemental y sulfuros,
- **Oro asociado:** con plata, arsénico, antimonio, cobre, plomo, cinc y otros minerales.

4.2.1.1 Minerales auríferos

Los minerales auríferos pueden ser extraídos por un proceso de cianuración convencional (proceso de MacArthur-Forrest) o bien mediante la oxidación del mineral (por tostación, oxidación química, en autoclave por oxígeno a alta presión, etc.), como paso previo a la cianuración.

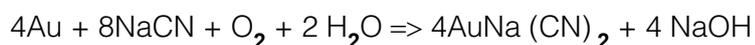
Para extraer el oro contenido como polvo muy fino, encapsulado en arsenopirita, piritita o material carbonáceo, suele realizarse una molienda extremadamente fina del mineral y, posteriormente, un proceso de flotación. El oro se encuentra generalmente asociado con la plata. Por tal motivo, este metal está regularmente presente en el metal no purificado, proveniente de la metalurgia del oro, denominado “metal doré” (oro impuro). Para incrementar la pureza del oro se recurre al proceso de refinación.

4.2.1.2 Lixiviación del mineral en pila

El cianuro presenta una alta selectividad por el oro y la plata (también por otros metales, por ej. cobre, zinc, etc.), por tal motivo el proceso más utilizado, en la actualidad, para la extracción de oro de minerales de baja ley es la lixiviación, generalmente con cianuro de sodio. Los compuestos cianurados obtenidos son solubles en agua.

El radical CN⁻, presente en solución acuosa por la disociación del cianuro de sodio (NaCN), forma complejos estables con los metales [NaAu(CN)₂ y NaAg(CN)₂]. La cianuración debe realizarse a valores elevados de pH (10,5 a 11,0) para evitar la formación de ácido cianhídrico (HCN), que se perdería por volatilización (punto de ebullición 26°C y elevada presión de vapor 100 kPa a 25°C). El control de pH se realiza utilizando cal.

La reacción química que se produce es la conocida como la ecuación de Elsner:



El oxígeno es fundamental para la disolución del oro y la plata. Es aportado por el aire durante la irrigación de la pila en forma de lluvia, por el riego por aspersion o riego por goteo.

Características operativas proceso lixiviación en pila:

Solución lixiviante. NaCN	Rango de concentración 500 a 1500 ppm, pH =10,0 a 10,5
Distribución en la pila	Aplicación según cada caso

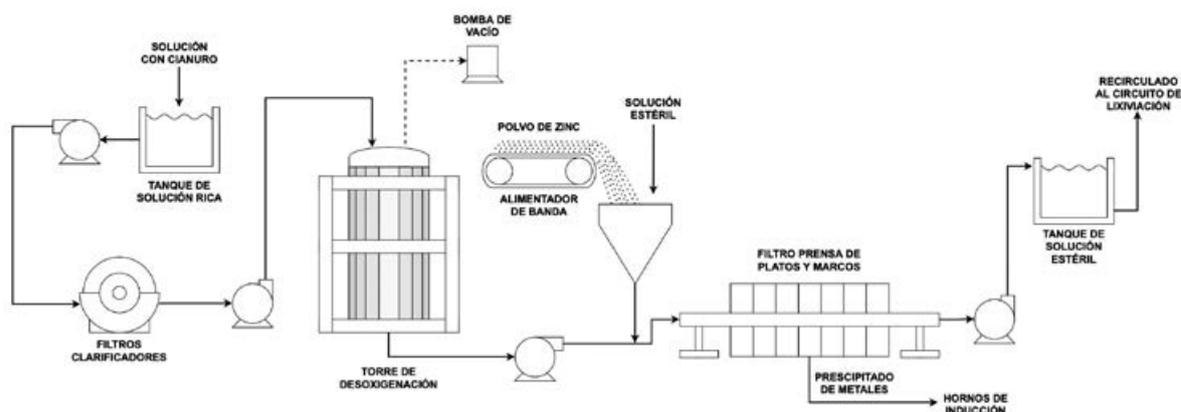
Lixiviado concentrado	Del depósito colector de la pila se bombea al proceso de carbón activado o de precipitación con zinc
Control lixivante	Concentración de cianuro y cal, dos veces al día
Tratamiento de desechos	Residuos que contienen: complejos de cianuro de cobre, hierro, níquel, molibdeno, arsénico, entre otros. En el punto 8 se incorporan detalles de los tratamientos aplicados a estos residuos

La EPA de EE. UU. considera que el cianuro es la mejor alternativa en cuanto a seguridad y ambiente, dentro de las alternativas lixiviantes. No hay evidencias que sea bioacumulable, biomagnificable, neurotóxico, ni es corrosivo ni explosivo.

4.2.1.3 Recuperación del oro de las disoluciones cianuradas

Algunas de las técnicas utilizadas para la recuperación del oro de las soluciones cianuradas, se indican a continuación:

a. Proceso Merrill Crowe



El proceso utiliza la propiedad de metal noble, del oro y la plata, para precipitarlos de la solución cianurada utilizando polvo de zinc. Se forma cianuro de zinc soluble y precipita el oro y la plata (Au^0 y Ag^0). El oxígeno disuelto en la solución debe ser extraído para evitar la redisolución del oro y plata, por la presencia de cianuro. Para la extracción de oxígeno se utilizan torres/bombas de vacío. El esquema de la siguiente figura lo ejemplifica

El efluente del filtro prensa es recolectado y recirculado al circuito de lixiviación ajustando la concentración de cianuro y de cal.

El precipitado retenido en el filtro prensa puede contener, además del oro y la plata, otros metales (cobre, plomo, mercurio, cadmio) y el exceso de zinc que no reaccionó con el cianuro. Es necesario realizar un pre-tratamiento con ácido sulfúrico para disolver el zinc excedente, el cobre y el cadmio, permaneciendo el plomo y el mercurio en el precipitado.

Si este último contiene mercurio es necesario tratarlo térmicamente para separarlo por vaporización y posterior condensación.

Este precipitado se seca en hornos de retorta a 650°C. Posteriormente se mezcla con los fundentes seleccionados en función del análisis químico del precipitado para oxidar el zinc retenido y los otros metales con el objeto de obtener una escoria vidriosa y los metales preciosos (oro y plata) fundidos. La temperatura del horno es de aproximadamente 1.200°C.

Completada la fusión, se retira la escoria (se almacena para retratamiento) y los metales preciosos fundidos se descargan en lingotera, obteniéndose el “metal doré” (si el mineral original contenía plata).

b. Adsorción del oro y la plata de la solución cianurada

La adsorción del oro y la plata contenida en las soluciones cianuradas es una de las técnicas más utilizadas (con respecto al proceso Merrill-Crowe original de precipitación con cinc) por su menor costo y mayor rendimiento en la recuperación de metales preciosos de soluciones de lixiviación de minerales de baja ley.

El efluente del proceso de adsorción es recolectado y recirculado al circuito de lixiviación, ajustando la concentración de cianuro y de cal.

- Con carbón activado (columnas de Carbón Merrill Crowe)

Las técnicas de adsorción del oro y la plata con carbón activado, la lixiviación y adsorción simultánea en carbón, en solución o en pulpas, o el carbón en columnas son utilizadas en la gran mayoría de las plantas metalúrgicas del mundo.

- Con resinas sintéticas

Actualmente las resinas sintéticas están sustituyendo al carbón activado. El proceso es similar a la adsorción con carbón, pero la resina presenta uniformidad en el tamaño de las partículas permitiendo un mayor control del proceso. Así, se obtienen mejores resultados en el tratamiento de minerales con alto contenido de arcillas y/o de compuestos orgánicos y, al tener mayor resistencia a la abrasión, se minimiza el costo operativo por reposición.

c. Desorción. Recuperación del oro y plata del carbón activado o de las resinas.

Hay varios métodos comerciales para la recuperación de oro y plata del carbón activado o de las resinas. Estos procesos utilizan como eluyente soluciones de muy baja concentración (entre 1% y 0,1%) principalmente de hidróxido de sodio y cianuro de sodio a temperaturas entre 80 y 120°C, con tiempos de tratamiento entre 24 y 50 horas.

Si el contenido de plata lo justifica, se precipita con sulfuro de sodio. Así, se obtiene sulfuro de plata (Ag₂S) que se separa por filtración, efectuando la posterior fusión (1100°C) por inducción en crisol, previo agregado de fundentes.

La solución de cianuro complejo de oro se envía a una celda electrolítica.

El oro depositado en el cátodo se funde obteniéndose el “metal doré”. El carbón descargado del proceso de desorción se envía al horno de regeneración para retornarlo a la etapa de adsorción.

4.2.1.4 Sustancias potencialmente riesgosas

Se indican a continuación las sustancias potencialmente riesgosas incorporadas en el procesamiento del mineral o las que puede contener este último, y que integran los diferentes procesos del tratamiento fisicoquímico del mineral.

a. Lixiviación utilizando cianuro de sodio

Lixiviación en Pila

El proceso es especialmente adecuado para menas de menor ley y con un alto contenido de arcilla.

Las sustancias químicas con potenciales riesgos, utilizadas en la metalurgia de minerales de oro de baja ley aparte del cianuro de sodio, son de uso eventual porque dependen del proceso utilizado para la separación del oro de la solución cianurada o del contenido de plata en el mineral, Esto se debe a que: si la separación del oro se realiza por el proceso Merrill Crowe es necesario el ácido sulfúrico, para disolver el exceso de zinc. Si el contenido de plata en el mineral justifica su precipitación se debe utilizar sulfuro de sodio, para separarlo por precipitación como sulfuro de plata.

Estas dos sustancias no representan un riesgo significativo porque pueden controlarse fácilmente, utilizando la metodología aplicada usualmente por otras industrias que las emplean habitualmente.

Por lo expuesto, es la utilización de la solución de cianuro de sodio que permite la extracción del oro del mineral la que presenta un riesgo potencial, tanto en la operatoria de la mina, como en su transporte.

Es fundamental adoptar las acciones correspondientes para reducir, al máximo posible, los potenciales riesgos. En ninguna actividad existe el riesgo cero, pero es factible aproximarse a este objetivo si se cumple estrictamente con los protocolos operativos y las normativas regulatorias.

Lixiviación en Columnas o Tanques

Permite un control del proceso de mayor eficiencia y minimiza los potenciales riesgos de la contaminación del suelo y de los acuíferos subterráneos por la eventual dispersión de la solución cianurada.

Exige un estricto control del tamaño del grano del mineral y de los niveles de oxígeno y alcalinidad para obtener la máxima recuperación de oro.

Se incrementan considerablemente los costos operativos por la mayor exigencia en la trituración de la mena y el incremento en el consumo de cianuro de sodio.

d. Lixiviación alternativa, con tiosulfato de amonio (NH₄)₂S₂O₃

El tiosulfato de amonio (ATS) es actualmente promocionado como alternativa para la metalurgia del oro, para evitar el uso de cianuro en la extracción de oro de minerales refractarios -principalmente con contenido de cobre-, de materiales carbonáceos u otros metales causantes de la baja recuperación del oro y de mayores consumos de cianuro.

El contenido de cobre en el mineral puede colaborar como catalizador en la formación del complejo estable del tiosulfato con el oro, siempre que sea usado en combinación con amoníaco.

Se indica que el tiosulfato es un reactivo no tóxico, de costo unitario menor que el cianuro y usado mayormente como fertilizante en la agricultura por contribuir a la fijación de nitrógeno en el suelo. De todos modos, su utilización requiere de la observancia de los contenidos de la Ficha de Datos de Seguridad del Tiosulfato de Amonio (N° CAS: 7783-18-8)

El uso del ATS en el tratamiento de minerales de oro asociados a cobre y minerales carbonáceos es una alternativa válida a la utilización de cianuro. Sin embargo, su aplicación no se ha extendido todavía. En la publicación del Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente “El Manejo del Cianuro en la Extracción de Oro”, se hace referencia a esta alternativa, cuya viabilidad se encuentra en evaluación.

4.2.2 Proceso metalúrgico de la plata

Corresponde destacar que sólo dos explotaciones mineras, de las quince más importantes del mundo, producen exclusivamente plata. La mayor producción de este metal está asociada con los procesos metalúrgicos de otros minerales metalíferos. Sólo un tercio de la producción mundial proviene de minas de plata, otro tercio de la metalurgia está asociada con el zinc, plomo y cobre y el último tercio se vincula con la producción de oro.

4.2.2.1 Minerales de plata

Los minerales de plata se encuentran asociados con otros metales de base, como sub-productos o viceversa. Por esta razón, en la explotación de los minerales de plata se suelen utilizar procesos metalúrgicos, directamente relacionados con las características del mineral y de los metales que suelen encontrarse

Se incorpora. a continuación, una mención de las alternativas más frecuentes

a. Obtención de plata como producto secundario

El proceso metalúrgico utilizado es el correspondiente a la obtención del mineral que se encuentra en mayor proporción. Aquí, se indican los tres procesos más relevantes, en los que la plata se obtiene como producto secundario.

Metalurgia del oro

El procedimiento de separación de plata se trató en el punto 4.1.2.1.

Metalurgia del plomo

La plata contenida en plomo fundido, obtenido en la metalurgia del mineral de plomo, se separa de este último por el proceso pirometalúrgico Parkes, que utiliza las propiedades del zinc al estado líquido. El plomo en ese estado es inmiscible con el zinc, y la plata tiene una elevada solubilidad en este último. La plata retenida por el zinc se separa fácilmente del plomo por diferencia de densidad y, luego, la solución sólida zinc-plata se calienta, a $\cong 900\text{ }^{\circ}\text{C}$, de modo que el zinc se vaporice y permita obtener plata de elevada pureza (punto de ebullición de la plata: $1955\text{ }^{\circ}\text{C}$).

En el proceso de separación de la plata del plomo no se utilizan sustancias con riesgo potencial significativo. La vaporización del zinc no representa un riesgo porque su condensación se realiza sin problemas operativos. Pero si el mineral contiene mercurio deberá realizarse una estricta condensación y tratamiento de los gases para asegurar que no se emitan al ambiente vapores de ese metal.

Metalurgia del cobre

Si la plata se encuentra presente en la mena de mineral de cobre es depositada juntamente con otros metales nobles en el lodo anódico que se genera en la etapa de purificación electrolítica del cobre, aspecto que será tratado en el punto 4.2.1.3.

b. Obtención de plata como producto principal:

La obtención de plata como producto principal sólo se presenta, actualmente, en dos minas a nivel mundial.

Si el mineral tiene característica ferrosa, y es de baja ley, puede utilizarse la lixiviación con cianuro. Pero si predomina el componente metálico no es conveniente por el elevado consumo del cianuro y por la posterior separación de la plata.

En el caso de minerales de características metálicas el principal procedimiento metalúrgico utiliza cloruro de sodio, denominado tostado clorurante de la mena. Se forma cloruro de plata que es lixiviado por uno de los siguientes procedimientos: Patera, Kiss, Russel, Augustin y Holt- Dern.

Las menas de sulfuros que contienen plata son prácticamente tratadas por el proceso de flotación selectiva.

4.2.2.2 Sustancias potencialmente riesgosas

La metalurgia de la plata se encuentra directamente relacionada con las explotaciones mineras de oro y de otros metales, por lo tanto, se deben cumplir con los mismos requerimientos señalados para la metalurgia de estos últimos ya que la probabilidad de obtención de plata, como producto principal de un yacimiento, es extremadamente baja.

4.2.3 Proceso metalúrgico del cobre**4.2.3.1 Minerales de cobre**

Existen muchos minerales de cobre en la naturaleza, pero sólo un par de decenas de ellos tienen importancia como menas aprovechables para la extracción del metal.

Los principales minerales de cobre son óxidos: ej. cuprita (Cu_2O) y sulfuros {calcopirita (CuFeS_2), bornita (Cu_5FeS_4), calcosina (Cu_2S), acompañados por sulfuros de hierro (pirita), plomo (galena), arsénico, antimonio y bismuto.

4.2.3.2 Procesos hidrometalúrgico y pirometalúrgico

La metalurgia del cobre se fundamenta en dos procesos de acuerdo con las características del mineral: el proceso hidrometalúrgico (solo o con flotación combinada) y el proceso de flotación/pirometalúrgico.

Los procesos hidrometalúrgicos son utilizados, en general, para menas de bajo contenido de cobre oxidado, o mezclas de óxidos y sulfuros, porque no son fácilmente concentrables por flotación o por otros medios. La flotación, en general, es aplicada para el tratamiento de minerales sulfurados, tanto en operaciones de pequeña como de gran escala.

Se indican a continuación los procesos mencionados, aplicados luego de la trituración del mineral. El grado de molienda depende de la ley del mineral y de la eficiencia del proceso seleccionado.

a. Hidrometalúrgico

Utilizado para el tratamiento de minerales oxidados de cobre (carbonatos, sulfatos, silicatos, oxiclорuros, óxido cuproso) o mezclas con sulfuros.

Lixiviación:

Los lixiviantes son seleccionados de acuerdo con las características del mineral. Los indicados a continuación son parte de los utilizados actualmente:

- **Ácido sulfúrico diluido:** en menas oxidadas de carbonatos, sulfatos básicos, silicatos u óxido de cobre. Se obtiene sulfato cúprico (CuSO_4) soluble
- **Soluciones de sales de hierro (III):** como sulfato férrico [$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$], atacan los minerales de cobre sulfurados.
- **Soluciones clorhídricas oxidantes.** como el cloruro férrico (FeCl_3) Atacan a los sulfuros de cobre obteniéndose cloruro cúprico (CuCl_2) soluble y azufre elemental (S).
- **Lixiviación bacteriana:** utilizada en menas de baja ley. Ciertas bacterias oxidan los sulfuros a sulfatos.

Dependiendo de la concentración del cobre en la mena se utilizan diferentes sistemas de lixiviación, hecho que permite elevar el grado de molienda del mineral a medida que se aumenta la eficiencia del proceso. En función del incremento de la ley de mineral en la mena se utiliza:

- lixiviación en pila para menas pobres,
- en piletas de hormigón para menas de mayor riqueza
- en reactor agitado para menas ricas.

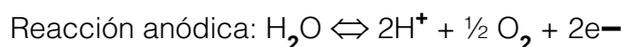
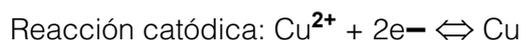
Cementación:

Se trata del proceso de precipitación química que permite retirar iones en solución agregando un reactivo precipitante. En el caso de iones metálicos disueltos la reacción se favorece agregando un metal más activo, según la serie electroquímica, como reactivo para formar un precipitado conocido como cemento. Este proceso se aplica en el tratamiento de efluentes de operaciones metalúrgicas (Puente, 2002), (Calvo, 1983).



En este procedimiento se utiliza chatarra de hierro y el cobre depositado sobre esta última se desliza hacia el fondo de la batea. Es un proceso muy antiguo, utilizado normalmente en minería de pequeña y mediana escala. Existen equipos rotatorios también antiguos. El cobre obtenido es impuro pues no supera el 85% de pureza.

Para obtener cobre de mayor pureza, puede utilizarse la electrorecuperación que consiste en la reducción del cobre sobre hojas catódicas a partir de disoluciones de lixiviación ricas.



El potencial riesgo ambiental se presenta en la lixiviación. En este caso, existe la alternativa de utilizar, como solución lixivante, sulfato férrico, cloruro férrico o bacterias, en lugar de ácido sulfúrico diluido, siempre que la ley y las características del mineral lo permiten.

b. Flotación y Pirometalurgia

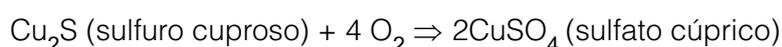
Las dos técnicas son aplicadas para el procesamiento de los minerales sulfurados de cobre.

Flotación

Es una técnica muy utilizada en la metalurgia de los minerales sulfurados de cobre. Se fundamenta en la hidrofobicidad de los sulfuros de cobre.

b2. Tostación

Es el proceso que permite reducir el contenido de azufre mediante la combustión en exceso de aire de las menas de cobre de minerales sulfurados. Si la oxidación es completa se obtiene óxido de cobre. Por el contrario, si es parcial, el compuesto obtenido es el sulfato de cobre. La oxidación completa a óxido de cobre implica un elevado consumo de energía, una retención importante de cobre en la escoria y un elevado contenido de impurezas en el cobre obtenido. Por tal motivo, el proceso pirometalúrgico de fundición del cobre se realiza por oxidación parcial del concentrado de sulfuros para obtener el sulfato.



Para realizar la tostación se utilizan tostadores de lecho fluidizado o cadenas Dwight Lloyyd.

El dióxido de azufre contenido en los gases de combustión es utilizado para la obtención de ácido sulfúrico, que suele emplearse en la etapa de refinado de lo que se denomina “blister” (que tiene una pureza de 96%), para su posterior uso industrial.

Fundición del concentrado de cobre

Al concentrado, que puede estar tostado o parcialmente tostado, se le agregan fundentes, para generar dos fases fundidas

- **mata**: fase más densa, contiene del 45 al 48 % de cobre y la mayoría de los metales que se encuentran presentes como sulfuros, en el concentrado del mineral. Los metales preciosos (Au, Ag y Pt) que pudiesen estar presentes en este último pasan prácticamente en forma total a integrar la mata.
- **escoria**: contiene la fase oxidada y ferrosa, formada principalmente por un silicato de bajo punto de fusión, la “fayalita” ($2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$). Ésta última se forma por la reacción del óxido de hierro (II) (FeO) con la sílice (SiO_2) agregada como fundente. El Ca, Mg, Al, no se oxidan, por lo tanto, integran la composición de la escoria.
- Las escorias son utilizadas como abrasivos o como sustituto de áridos. El cobre que ha sido retenido en la escoria se encuentra como óxido o sulfuro. Los demás componentes del mineral forman parte de la mata o de la escoria, o se eliminan con los gases emitidos por el horno de fusión, previo tratamiento de depuración de estos.

c. Conversión

En esta etapa, se realiza el soplado con aire de la mata fundida (contiene 45% al 48% de cobre) proveniente de la etapa de fusión, para eliminar el azufre que aún se encuentra presente como SO_2 y oxidar el hierro. La escoria retirada en esta etapa del proceso es mínima comparada con la obtenida en la etapa de fusión. En una primera etapa del proceso de conversión se produce el denominado metal blanco (contiene hasta el 75 % de cobre), que en una segunda etapa del proceso es oxidado por soplado con aire para obtener el cobre blíster (contiene aproximadamente 96 % de cobre, 1% de azufre, 0,6% de oxígeno y los metales nobles, presentes en la mena).

El cobalto, el níquel y otros metales nobles permanecen en el cobre blíster. La escoria tiene un porcentaje importante del zinc, que no se ha volatilizado.

El arsénico, antimonio, plomo y bismuto tienden a incorporarse a la corriente de gases con el material particulado, por lo que debe incorporarse el equipamiento de depuración apropiado, previo a su emisión a la atmósfera.

Corresponde destacar que el proceso de oxidación es exotérmico, por lo tanto, el excedente de energía térmica permite el precalentamiento de los concentrados antes de su ingreso al horno de fusión, con un ahorro energético importante.

d. Afino

El denominado afino consta de dos etapas:

- Refinación pirometalúrgica

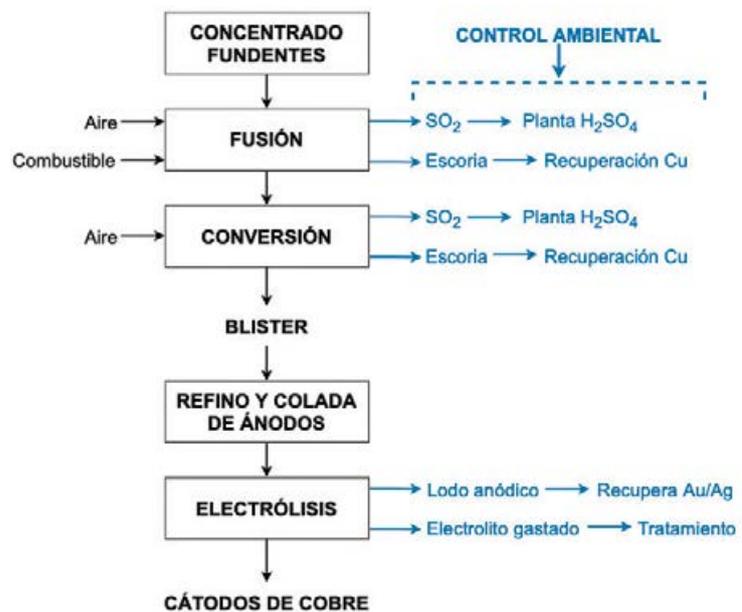
El cobre blíster es tratado térmicamente para reducir el contenido de azufre y oxígeno (< 0,1 %) previo a la electrólisis.

Para desoxidar el cobre fundido se utiliza gas natural (metano: CH₄), propano o amoníaco.

- Refinación Electrolítica:

Se introduce como ánodo planchas de cobre a purificar en la solución conductora (electrolito H₂SO₄ y CuSO₄), utilizándose como cátodo cobre puro. La temperatura de trabajo es del orden de 60 °C y la densidad de corriente varía entre 180 y 250 A/m.

El cobre se deposita en el cátodo, las impurezas hierro, arsénico, bismuto y níquel, etc., permanecen en solución, y los metales nobles (Au, Ag, y metales del grupo Pt y Se) se depositan en el lodo anódico, que puede tener un alto valor por la recuperación del oro y la plata que regularmente contiene. El esquema gráfico a la derecha muestra las etapas del proceso descripto



4.2.3.3 Sustancias potencialmente riesgosas

La metalurgia de los metales no férricos en general, y en particular la producción de cobre, originan flujos de sustancias ecotóxicas por la eventual presencia de plomo, mercurio y

arsénico los que, como ya se ha indicado, requieren del tratamiento apropiado para cada caso.

En la tabla siguiente se muestran las fuentes u origen de posibles impactos ambientales que deben ser controlados.

PROCESO	IMPACTO POTENCIAL	CAUSA DEL IMPACTO
FUNDICIÓN	Atmosférico	Gases de combustión y SO ₂
	Residuos	Filtros, refractarios y escorias
CONVERSIÓN	Atmosférico	Gases de combustión y SO ₂
	Residuos	Refractarios y escorias
REFINO	Atmosférico	Gases de combustión y partículas
ELECTRÓLISIS	Hídrico	Aguas ácidas
	Atmosférico	Lodos de cubas y electrolito gastado

Los principales aspectos vinculados a las sustancias con potencial riesgo a considerar en las instalaciones pirometalúrgicas de cobre se indican a continuación:

- Emisiones

Las emisiones que se producen en los diferentes procesos corresponden a productos de combustión (dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y material particulado).

Ya se ha observado la posibilidad de que el arsénico, antimonio, plomo y bismuto se incorporen al material particulado del flujo gaseoso lo que debe considerarse muy especialmente, adoptando un estricto sistema de purificación de gases y de control de emisiones.

Las emisiones de dióxido de azufre generadas en la metalurgia del cobre que procesa menas sulfuradas son utilizadas para la producción de ácido sulfúrico. Esto soluciona el problema que representaría realizar la disposición final del dióxido de azufre si no fuera utilizado como materia prima.

El control de las emisiones debe efectuarse cumpliendo estrictamente con las normativas vigentes, implementando las acciones correspondientes para minimizarlas, optimizando los procesos y/o incorporando instalaciones que permitan su retención, tales como precipitadores electrostáticos, filtros de mangas, sistemas de adsorción y/o absorción, etc. y, en el caso de la pirometalurgia, es importante el control de la temperatura de emisión de gases.

- Efluentes

Las aguas residuales deben ser tratadas y controladas antes de su vertido, asegurando el estricto cumplimiento de las normativas regulatorias, controlando muy especialmente el contenido de arsénico, cobre, plomo, mercurio, cinc y sólidos en suspensión, recirculando en la mayor proporción posible y adoptando los sistemas de tratamiento correspondientes. Existen procedimientos de tratamiento ampliamente conocidos (como cualquier industria que use metales pesados) que permiten controlar el riesgo de que aparezcan sustancias potencialmente peligrosas en los efluentes por encima de los límites admisibles.

- Residuos sólidos y semisólidos

La gestión de los residuos de estos procesos debe tener como objetivo evaluar cuidadosamente sus características y viabilizar la posibilidad de su reciclado. En particular son reciclables los residuos de óxidos de cinc y las escorias, previo tratamiento, para obtener un compuesto químicamente estable que puede comercializarse como abrasivo en la industria cementera, en la construcción de carreteras, etc.

4.2.4 Proceso metalúrgico del hierro

4.2.4.1 Minerales de hierro

Los minerales de hierro están compuestos de óxidos férricos (Fe_2O_3), óxidos ferrosos férricos ($\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$), carbonatos (FeCO_3) y sulfuros (S_3Fe_2) o (FeCuS_2). Las proporciones en las que se encuentra el hierro en estos minerales va desde el 60% al 70% en los óxidos, del 50% en los carbonatos y del 35% al 45% en los sulfuros.

Este proceso metalúrgico se encuentra directamente relacionado con la industria siderúrgica. En la mina se producen los pellets por horneado del mineral de hierro.

A menos que en la mina se incorpore la etapa siderúrgica, es decir, la producción de arrabio y acero, en el minado y preparación del mineral de hierro no se suelen utilizar sustancias que sean categorizadas como potencialmente riesgosas.

Preparación del mineral de hierro

- **Eliminación de impurezas (“ganga”)** del mineral extraído de la mina (subterránea o de superficie)
- **Concentración del mineral:** se realiza por alguno de los métodos indicados a continuación:
 - Lavado
 - Separador magnético rotativo

- Reducción de tamaño
- Aglomeración o briqueteado
- Separación por flotación (la ganga menos densa flota y la mena más pesada se deposita.
- Transporte al alto horno

Simultáneamente se produce coque metalúrgico (90% de C) a partir de una mezcla de carbones y calentándolo a 1.250°C en una atmósfera libre de oxígeno. El coque se utiliza como suministro energético y agente químico en el alto horno. Los volátiles: alquitrán, azufre, amoníaco, naftaleno y benceno se incorporan al flujo de gases. Previo tratamiento de depuración de estos, se emiten a la atmósfera.

La carga del alto horno se completa con piedra caliza preparada mediante un lavado, triturado y cribado previo. El arrabio obtenido en esta etapa es sometido a un proceso de AFINO, para obtención del acero- Esto es posible mediante una fase de oxidación para eliminar el exceso de C - y las impurezas de Si, Mn y P en convertidores Bessemer y Thomas u hornos eléctricos y una segunda fase de reducción para eliminar el azufre y reducir el óxido de Fe, remanente.

En las operaciones indicadas precedentemente no se utilizan sustancias químicas eventualmente riesgosas. Las agregadas en los altos hornos, en tanto se trata de cal y carbón/coque, tampoco pueden calificarse como tales.

4.2.5 Proceso de obtención de litio

4.2.5.1 Minerales de litio (li)

Los minerales presentes en la naturaleza que pueden ser utilizados para la obtención de litio se encuentran en los siguientes porcentajes aproximados:

- salares (salmueras en cuencas cerradas): 58% (*)
- pegmatitas y granitos asociados, 26%
- arcillas enriquecidas en litio, 7%
- salmueras de cuencas petroleras 3%
- salmueras geotermales, 3%
- zeolitas enriquecidas en litio, 3%.

(*): Depósito natural de diferentes tipos de sales y sedimentos originados en zonas extremadamente áridas. La mayoría de los salares de la Puna Argentina se comportan actualmente como cuencas cerradas, donde los aportes de agua superficial y subterránea no tienen salida.

El litio y el potasio se encuentran presentes en algunos salares y sus condiciones de explotación son absolutamente diferentes a las aplicadas en la metalurgia convencional, porque en este caso se utiliza la salmuera de acuíferos subterráneos, que se extrae por bombeo. La conductividad y densidad del agua de estos acuíferos es de aproximadamente 250.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y densidades de hasta 1,21 g/c.c, respectivamente y la concentración media de litio es de 650 mg/l.

En este punto es conveniente señalar la diferencia entre producción de litio en salares y a partir de pegmatitas. Las ventajas de la extracción de litio a partir de minerales pegmatíticos respecto a la explotación de salares radican en la menor dependencia de los factores meteorológicos y climáticos, y en los menores tiempos para la obtención inicial del compuesto de litio. Pero los costos operativos de los procesos hidrometalúrgicos utilizados son prácticamente 40 % superiores a los de los salares.

En comparación con las técnicas de extracción utilizadas actualmente en salares, el proceso de reducción del mineral requiere realizar perforaciones, voladuras, trituración, calentamiento y separación física del recurso: es intensivo en el consumo de energía y hace uso de una mayor cantidad de reactivos.

El litio se encuentra en la pegmatita como silicato doble de aluminio y litio ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$) asociado con cuarzo, mica y feldespato. En la salmuera natural se encuentra principalmente como sulfato doble de litio y potasio (KLiSO_4).

En ambos casos se realiza la precipitación como hidróxido de litio o como carbonato de litio (Li_2CO_3), siendo ésta última la principal forma de comercialización.

La gestión de los residuos de sales impuras de sodio, magnesio y calcio y los importantes volúmenes de agua utilizados y evaporados, debe ser cuidadosamente planificado.

La reinyección de los efluentes en los acuíferos sólo puede realizarse con un completo y detallado estudio hidrogeológico previo, que determine los potenciales impactos que podrían originarse para gestionar las autorizaciones correspondientes de los organismos de regulación y control.

4.2.5.2 Obtención del carbonato de litio (Li_2CO_3)

La extracción del compuesto de litio contenido en el agua salina bombeada, que se extrae de pozos de acuíferos subterráneos cuyas profundidades oscilan entre 40 y 400 metros, se puede realizar por dos procesos:

a. evaporación en condiciones naturales

Se realiza en piletas de grandes dimensiones y poco profundas para alcanzar la concentración de la sal de litio requerida. El proceso de evaporación se encuentra condicionado por las características climáticas y atmosféricas de la región y por la composición química

de la salmuera y la concentración de litio (oscila entre un promedio de 500 ppm hasta 3.000 ppm). El tiempo de evaporación requerido puede ser de varios meses hasta incluso un año. La evaporación, si bien no requiere el suministro de energía ni utiliza reactivos químicos, eleva la concentración de las sales determinando que algunas precipiten. El principal inconveniente que presenta la evaporación natural es la elevada cantidad de agua que requiere el proceso lo que debe ser evaluado previo a la autorización de la explotación.

b. a través de un adsorbente selectivo de Li, como el polietilenglicol

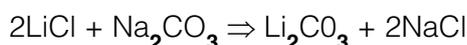
En este caso se pueden procesar soluciones con relativa baja concentración de litio que no dependen de las condiciones meteorológicas del lugar. La desventaja del proceso se encuentra relacionada con el uso relativamente importante de reactivos, el elevado costo de los equipos de adsorción y del adsorbente. El polietilenglicol presenta potenciales riesgos de seguridad (es combustible), pero no es clasificado como de riesgo para el ecosistema acuático y es fácilmente biodegradable.

La mayor producción mundial de litio proviene de las salmueras del Salar de Atacama en Chile, ricas en litio, potasio y boro y con baja relación magnesio/Litio (Mg/Li) que es nociva para la concentración del litio. El cloruro de magnesio (MgCl₂) complica el proceso, porque no puede ser separado en la evaporación, siendo necesario precipitarlo, como hidróxido de magnesio [Mg(OH)₂], con cal.

Precipitación y Purificación del Cloruro de Litio (LiCl₂)

La purificación se realiza cuando se alcanza una concentración de litio de aproximadamente 7(siete) gramos/litro, precipitándose con cal al magnesio (que no debe contaminar los compuestos de litio, porque los inutiliza para su posterior aplicación en las cadenas de valor previstas). La presencia de sales de magnesio en los compuestos de litio hace que en algunos salares, aún con elevado contenido de litio, no sea viable su utilización.

El cloruro de litio (LiCl₂) se trata con carbonato de sodio (Na₂CO₃), obteniendo carbonato de litio (Li₂CO₃).



Al considerar la creciente demanda de nivel internacional, se observa que se están realizando desarrollos de nuevas tecnologías. Las técnicas de desarrollo de explotación de los salares tratan de sustituir la evaporación para disminuir los tiempos de obtención del litio. El investigador argentino Ernesto Calvo, del CONICET, desarrolló un método electro-lítico que superó las pruebas de laboratorio, encontrándose actualmente en las pruebas de planta piloto. El método desarrollado utiliza un reactor electroquímico, con un electrodo selectivo para iones litio y otro para iones cloruro. La solución de salmuera, que contiene los cloruros de litio, magnesio, sodio, potasio, etc., al someterse a la electrólisis permite retener en los electrodos el cloro y el litio. En una segunda etapa se reemplaza la salmuera por una solución de cloruro de litio de recuperación y se invierte la polaridad del reactor electroquímico, enriqueciéndose la solución en cloruro de litio.

4.2.5.3 Sustancias potencialmente riesgosas

No se han identificado sustancias que presenten riesgo significativo en el procesamiento de sales de litio. El principal cuidado se debe enfocar en el eventual desequilibrio que se puede producir por el uso intensivo de agua “no salina” que requieran los procesos, por la importante extracción de agua de los acuíferos subterráneos del salar y la eventual intercomunicación entre acuíferos confinados. Este riesgo se incrementa si se realizan reinyecciones en los acuíferos.

Si se tiene en cuenta que los salares se encuentran en regiones de elevada aridez, la extracción de agua a gran escala y el procesamiento básico de las salmueras representa un potencial riesgo para los ecosistemas relacionados, en especial cuando hay más de una explotación en una misma cuenca.

Al momento de efectuar el EIA se deberán considerar especialmente los siguientes aspectos:

- Consumo de agua

Evaluación de los consumos de agua no salina utilizada para la máxima producción de la planta, con los fundamentos técnicos/científicos que identifiquen y minimicen los impactos que puedan comprometer el equilibrio del ecosistema.

- Evaporación de las piletas de concentración del agua salina.
- Preservación de las escorrentías y drenajes naturales
- Estudio hidrogeológico

Es esencial en estos proyectos la realización de un estudio hidrogeológico a los efectos de conocer las características de los acuíferos salinos y, a partir de ello, evaluar los posibles daños que podrían originarse por el aprovechamiento del recurso. Es fundamental considerar los impactos acumulativos y sinérgicos que pueden originarse.

- Evaluación de microorganismos extremófilos

Al considerar el importante volumen de agua salina subterránea que será procesada, es importante tener en cuenta la eventual presencia y características de los microorganismos extremófilos.

4.2.6 Proceso de obtención de uranio

4.2.6.1 Minerales de uranio (U)

El uranio natural es un elemento químico metálico, levemente radiactivo, constituido por tres isótopos, ^{238}U (99,2739 %), ^{235}U (0,7204 %) y ^{234}U (0,0057 %). Es el elemento presente en la naturaleza de mayor peso atómico, con una abundancia 0,0004 %, distribuido en rocas, suelo, agua (en agua de mar como sal compleja de uranio/carbonato) y en los seres vivos en muy bajas concentraciones. Es 70% más denso que el plomo y menos denso que el oro. A su vez es 500 veces más abundante que el oro, muy reactivo, dúctil, maleable y mal conductor de la electricidad.

Por su elevada reactividad, no se presenta en la naturaleza en forma pura, sino que se encuentra mayormente como óxidos, carbonatos, fosfatos, arseniatos, vanadatos y silicatos, siendo en alguno de esos compuestos el mayor componente, y en otros en muy pequeña proporción.

El uranio natural existe normalmente en el polvo presente en el aire, en el agua superficial, en el suelo y en las plantas, adhiriéndose a sus raíces, principalmente de algunas hortalizas ej. papas, nabos, entre otros.

La uraninita (UO_2) es el principal componente de las menas de ley elevada, existiendo otros minerales secundarios de carácter económico industrial, tales como carnotita $\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, tyuyamunita $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{V}_2\text{O}_8) \cdot 5-8 \text{H}_2\text{O}$, la torbenita $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8-12 \text{H}_2\text{O}$, etc.

4.2.6.2 Procedimientos de extracción del mineral

La extracción del uranio se realiza a cielo abierto cuando el mineral se encuentra cerca de la superficie, o en explotaciones subterráneas cuando la profundidad es mayor. Para la extracción subterránea se requiere un alto grado de ventilación para minimizar la exposición de los trabajadores al gas radón, que se produce por decaimiento natural del uranio.

Como alternativa a la minería a cielo abierto y minería subterránea, y cuando las características geológicas de la región lo permiten, puede realizarse la denominada extracción in situ, que consiste en bombear soluciones lixiviantes, a través del yacimiento de uranio, para su disolución. Las soluciones lixiviantes pueden ser ácidas (utilizando ácido sulfúrico) o alcalinas (utilizando carbonato de sodio), con el agregado de un oxidante.

La solución que contiene el uranio extraído se bombea a la superficie, para continuar con el procesamiento.

Este tipo de explotación requiere la realización de profundos estudios hidrogeológicos, para identificar y evaluar los potenciales riesgos ambientales que puedan presentarse, con la lixiviación in situ.

En nuestro país no se ha utilizado la extracción in situ.

4.2.6.3 Producción de uranio en argentina y procedimientos metalúrgicos utilizados

La producción de minerales uraníferos en nuestro país comenzó en 1952, y se procesaron 5.858.000 toneladas de mineral extraídas a través de ocho explotaciones mineras (dos en Córdoba, una en Chubut, una en La Rioja, dos en Mendoza, una en Salta y otra en San Luis), que estuvieron operativas hasta julio del año 1995 cuando se suspendieron las actividades de este sector debido a la importante disminución del precio de venta internacional del concentrado de uranio.

Aproximadamente el 10 % de la producción total del país se realizó por explotación subterránea, y el 90 % restante a cielo abierto, incluso en Sierra Pintada- Mendoza, que fue la última mina de uranio que se explotó en el país.

Los porcentajes indicados precedentemente también coinciden aproximadamente con el tipo de procesamiento utilizado ya que el lixiviado en tanque se realizó en el 10% del mineral procesado y en pila, el 90 % restante.

Corresponde por Ley a la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), y a las empresas creadas a partir de ella, la gestión del Ciclo de Combustible Nuclear en todas sus fases, que comprende:

- exploración de minerales nucleares
- extracción del mineral (suspendida desde el año 1995), por impedimentos legales de la provincia de Mendoza.
- la CNEA informó la existencia de aproximadamente 20.000 tU como recursos asegurados, para costos de producción < USD 130 /kgU. A este valor se adicionan los recursos inferidos, reportados por compañías mineras que cuentan con la certificación NI 43-101 (Norma Nacional de Divulgación de Proyectos Mineros), alcanzándose una cifra de más de 31.000 tU
- obtención del concentrado de uranio (yellow cake). El concentrado de uranio es, a la fecha, importado por nuestro país, al no poder realizarse la explotación minera.
- producción de dióxido de uranio

- fabricación de elementos combustibles
- producción de agua pesada
- gestión de los combustibles retirados del reactor

El consumo de uranio de las tres centrales nucleoelectricas (Atucha I, Atucha II y Central Nuclear Embalse), operando a plena potencia, es de aproximadamente 250 toneladas anuales de Uranio.

4.2.6.4 Operaciones mineras

A continuación, se presentan las operaciones mineras utilizadas en las explotaciones a cielo abierto y en pilas de lixiviación, puntualizando las condiciones de seguridad que deben ser observadas.

Obtención y procesamiento del mineral

Voladura; Debe realizarse un estudio de dispersión generación de material particulado, durante la ejecución de voladuras, para determinar la dispersión de partículas, de tamaño menor a PM10 ($< 10 \mu\text{m}$), en la zona de influencia de la mina. En el modelo gaussiano utilizado se considerarán las condiciones meteorológicas, especialmente la dirección y velocidad del viento, las características topográficas de la zona de influencia del complejo minero, y las variaciones estacionales de la dispersión. Se deben indicar las condiciones meteorológicas en las que es necesario suspender las voladuras para evitar una dispersión descontrolada de material particulado.

Este procedimiento también debe aplicarse en todos los procesos donde se realiza movimiento de mineral, especialmente en la trituración y en las escombreras.

Carga y transporte del mineral

Clasificación del mineral; los camiones con el mineral pasan por un túnel radimétrico en el que se efectúa la medición superficial de radiación (α , β , γ), para su clasificación de acuerdo con el contenido de uranio, a los efectos de optimizar el consumo del lixivante. El mineral que tiene un contenido igual o superior al corte de la planta es acopiado en las planchadas de la planta de trituración.

El **mineral marginal** con un contenido de uranio que permite su futuro procesamiento es separado y acopiado por ser susceptible de aprovechamiento futuro.

El **mineral de baja ley** con un contenido muy bajo de uranio es acopiado en pilas especiales, que luego debe ser posteriormente gestionado para minimizar el riesgo ambiental.

Los sectores de acopio de ambos minerales deben quedar individualizados en coordenadas GPS.

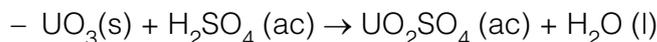
En el caso de la minería del uranio, el material *estéril* sin valor económico, extraído para permitir la explotación del mineral útil también es analizado para determinar la concentración de este último y disponerlo en escombreras identificadas.

Trituración: la planta de trituración debe disponer de un sistema de extracción y un ciclón de alta eficiencia con un tanque de burbujeo, previo a su descarga del aire al medio ambiente. El polvo recolectado en el ciclón se envía a la pila de lixiviación.

Lixiviación

El proceso se divide en dos áreas, el área de planchadas (unidades operativas, con forma de pirámide truncada, denominadas pilas) donde se realiza la lixiviación y el área de cisternas colectoras donde se recibe el lixiviado proveniente de las pilas.

Pilas de lixiviación: el ciclo de una pila de lixiviación es de aproximadamente 12 meses, de los cuales 10 meses son de tratamiento ácido, empleándose los otros 2 meses en las etapas de carga, secado, muestreo y descarga de pilas. El método de lixiviación estática en pilas se realiza con solución de ácido sulfúrico, de una concentración promedio de 12 g SO₄H₂ /l, con la que se riega directamente cada una de las pilas. Se utiliza la cantidad de pilas necesarias, de operación permanente, para asegurar un caudal máximo uniforme de alimentación a la planta de concentrado de uranio. Este tipo de lixiviación no requiere el agregado de oxidantes, aún cuando un contenido importante del uranio del mineral se encuentre al estado reducido.



La cantidad de mineral y de uranio que se mantiene en el circuito de lixiviación depende de la ley media del mineral cargado y de su respuesta a la lixiviación, y del módulo de producción anual establecido. En general la cantidad de pilas en operación es de aproximadamente 15 sobre un total de 30.

Diseño de las pilas de lixiviación

Su diseño típico es la colocación de una geomembrana generalmente de polietileno de alta densidad (HDPE) sobre una capa de arcilla compactada de aproximadamente 0,5 m de espesor y debajo de una capa de similar espesor de material. En el diseño, además de los aspectos geológicos, hidrogeológicos, sísmicos, etc., se deben considerar las condiciones meteorológicas (lluvias torrenciales, nevadas, y granizo) además de las escorrentías y los drenajes naturales de la zona de ubicación de las pilas. El líquido que estuvo en contacto con estas últimas es un efluente que debe ser recolectado e incorporado al proceso de lixiviación. Lo indicado también debe aplicarse a las cisternas colectoras y a los diques de relaves.

El diseño de las pilas de lixiviación es muy importante, de igual forma que los diques de relaves, para lo que existen estrictas guías para su construcción

Secado del mineral agotado: la pila se considera agotada cuando la concentración de uranio en el lixiviado determina que su procesamiento no resulta económico para la obtención del diuranato de amonio (ADU) $(\text{NH}_4)_2 \text{U}_2\text{O}_7$. La lixiviación en la pila se detiene al dejarla escurrir durante el tiempo necesario para disminuir la humedad del mineral, por secado natural.

Gestión del mineral agotado (colas de mineral). La descarga de la pila exige un procedimiento muy cuidadoso de la topadora porque es necesario asegurar la permanencia de un espesor mínimo de 0,50 cm de mineral agotado como protección de la membrana asfáltica y de impermeabilización de la pila. Esto permite evitar su rotura y la contaminación del suelo.

Para determinar si el contenido de uranio justifica su reprocesamiento, se realiza el muestreo por cuarteo del mineral agotado, retirado de la pila. Las colas de mineral agotado se disponen en el sector de la mina asignado, realizando la identificación correspondiente: esto es, la ubicación en el área de mina, la fecha, la cantidad depositada y las características fisicoquímicas de la cola de mineral (concentración de uranio, pH, composición, etc.)

Cisternas Colectoras. Por seguridad estas cisternas son de doble fondo para controlar posibles fugas y evitar contaminación del suelo. Son utilizadas para la recirculación del lixiviado proveniente de las pilas a los efectos de realizar el ajuste de pH ($\text{pH} \cong 1$), mediante el agregado de ácido sulfúrico. Cuando se alcanza la concentración de uranio requerido para el tratamiento en la planta de resinas de intercambio iónico, se prepara el blending, mezclando el contenido de varias piletas, con el objetivo de obtener una concentración uniforme, que permita operar la planta con el máximo rendimiento.

Las cisternas poseen sistemas de seguridad para evitar los derrames:

- se encuentran interconectadas por un sistema de rebase y por ese motivo el nivel de operación es de 2/3 de su capacidad. De esa forma pueden recibir la descarga de una cisterna que podría haber sufrido una contingencia.
- son de doble fondo y tienen sensores para detectar eventuales pérdidas de la cisterna principal.
- tienen sondas de nivel con alarma, tanto por ser alcanzado el nivel máximo, como por defectos en su funcionamiento.
- cuentan con alternativas para el desvío del lixiviado a los sistemas colectores de la planta de ADU o de los diques de relaves en caso de que superen la capacidad de los diques.
- deben contar con grupos electrógenos de emergencia por un eventual corte de suministro eléctrico que afecte la disponibilidad del sistema de bombeo.
- deben contar con un estudio hidrológico e hidrogeológico integral para determinar la factibilidad de utilización de agua y de la disposición final de los vertidos de

los efluentes tratados. Los volúmenes de agua a utilizar son significativos y es lo que justifica su existencia previa a la autorización de la operación minera.

Los volúmenes de agua a utilizar son significativos, por tal motivo es imprescindible realizar, previo a la autorización de la operación minera, un estudio hidrológico e hidrogeológico integral, para determinar la factibilidad de utilización de agua y de la disposición final de los vertidos de los efluentes tratados.

Efluentes y residuos del proceso de lixiviación

Residuos sólidos: mineral agotado que contiene uranio (concentración menor a 200 ppm), radio, acidez libre y otros elementos existentes en el mineral. Se acopia en un sector individualizado de la mina donde se identifica de igual forma a lo indicado en el ítem precedente "Clasificación del mineral".

Emisiones gaseosas. Al realizar el ajuste del ácido y preparar las soluciones se producen desprendimientos de óxidos de azufre (SO_x).

En la pila se producen emisiones de gas radón 222 (^{222}Ra) en concentraciones en aire extremadamente bajas. Es recomendable, de todos modos, realizar mediciones de radón en edificios de la mina y en las viviendas del entorno para verificar que se cumplen con las normativas nacionales e internacionales, principalmente durante los meses de invierno, por la menor ventilación de las viviendas.

Concentración

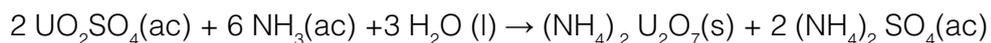
- Filtración

Los líquidos de las cisternas de blending son clarificados mediante sucesivas filtraciones para eliminar los sólidos, con el fin de evitar que queden ocluidos en los lechos de resinas.

- Resinas de intercambio iónico

El proceso se realiza en las siguientes etapas:

- **Fijación del uranio:** se utilizan resinas aniónicas de base fuerte para fijar el compuesto de uranio
- **Elución:** la elución permite la recuperación del uranio fijado en la resina de intercambio iónico utilizando una solución eluyente, formada por nitrato de amonio (NH_4NO_3) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) en solución diluida.
- Precipitación del diuranato de amonio (ADU):
- La operación consiste en precipitar el uranio como diuranato de amonio (ADU), burbujeando amoníaco



La precipitación se realiza a pH 7/7,5, porque a pH<5 precipitan los sulfatos de uranio insolubles en agua.

La extracción de gases del proceso de precipitación contiene principalmente amoníaco. Según la concentración de este compuesto, pueden ser descargados a la atmósfera o deben ser tratados en una torre de absorción, incorporando los controles correspondientes.

4.2.6.5 Sustancias potencialmente riesgosas

En la minería del uranio, las sustancias utilizadas en el proceso metalúrgico (ej.: ácido sulfúrico, amoníaco, etc.) no constituyen el problema más importante debido a su relativo fácil control operativo.

Las características fisicoquímicas del uranio natural son tales que, si ingresa al organismo por inhalación o ingestión, puede producir efectos similares al de cualquier otro metal pesado. Las emisiones de radiación alfa no representan un riesgo externo por su corto alcance, pero dentro del organismo puede producir daños cuyos efectos, como los de cualquier sustancia peligrosa, dependen de la dosis, y el tiempo de exposición. Por eso debe controlarse muy especialmente la dispersión del uranio natural que se puede producir en el medio ambiente, como consecuencia de las actividades realizadas en la mina.

Los potenciales riesgos de la minería del uranio, que se presentan por las sustancias utilizadas en el proceso metalúrgico (ej.: ácido sulfúrico, amoníaco, etc.) se controlan perfectamente, cumpliendo con los procedimientos de almacenamiento, control operativo y tratamiento/disposición de efluentes, similares a los utilizados en cualquier otro tipo de industria.

Por lo expuesto debe controlarse muy especialmente la dispersión del uranio natural que se puede producir en el medio ambiente, como consecuencia de las actividades realizadas en la mina.

La minería de uranio tiene un control muy estricto en relación con las correspondientes a otras explotaciones mineras, ya que se encuentra especialmente tratado en la "Ley Nacional de la Actividad Nuclear" N° 24.804.

La ARN cumpliendo con lo indicado por la legislación vigente, ha realizado controles sobre las instalaciones mineras durante su explotación, las que continúa efectuando luego de que estas últimas suspendieron sus actividades, las que constan en los informes anuales que la ARN presenta al Poder Ejecutivo Nacional y al Honorable Congreso de la Nación. Conclusiones y recomendaciones.

Todas las sustancias químicas que se emplean en el procesamiento de minerales están caracterizadas en cuanto a su comportamiento fisicoquímico y en cuanto a los riesgos

que deben tenerse en cuenta, respecto a su eventual impacto en el entorno natural, en poblaciones vecinas al sitio del proyecto y en la salud de los trabajadores. Están disponibles bases de datos que son actualizadas periódicamente.

A las sustancias registradas y calificadas como riesgosas para la salud humana o el entorno, les alcanzan las normativas que regulan su producción, manipulación, transporte, uso y disposición final. En Argentina la cobertura en este aspecto es abarcativa, completa y actualizada.

Las sustancias químicas utilizadas en los procesamientos mineros, como por ejemplo el cianuro, son empleadas también en otros sectores industriales (ej.: fabricación de nylon, de adhesivos, de componentes de sistemas electrónicos, en galvanoplastias, etc.) y los riesgos asociados son similares. La gestión de dichos riesgos es esencial, tanto en el sector minero como en el resto de las actividades productivas.



Operaciones a cielo abierto y subterráneas

5.1 Introducción

En la minería metalífera los métodos de extracción pueden separarse en dos categorías:

- minería a cielo abierto: consiste en la excavación de rajos, que son grandes cavidades a cielo abierto de unos 50 hasta 500 metros de profundidad, con algunos casos de más de 1.000 metros de profundidad; se emplea cuando el techo del cuerpo mineralizado está ubicado cerca de la superficie;
- minería subterránea: consiste en la excavación de túneles y cavernas para extracción de mineral; se emplea cuando el cuerpo mineralizado está ubicado en profundidad o, en casos puntuales y si la ecuación económica lo permite, en cuerpos mineralizados poco profundos, cuando hay restricciones para la operación a cielo abierto.

La elección del método de extracción depende de las características propias del depósito y el entorno donde se encuentra, incluyendo:

- geometría del cuerpo mineralizado: tamaño, forma y profundidad;
- ley y tipo de mineralización;
- el marco geológico, hidrogeológico y estructural;
- las características mecánicas del cuerpo mineralizado y de la roca de caja;
- factores ambientales;
- factores tecnológicos y económicos.

Los cuerpos de roca mineralizados tienen formas irregulares y están siempre rodeados por rocas que no contienen mineral, denominadas genéricamente “roca estéril”. Durante el proceso de extracción de la roca mineralizada, o mena, también se extrae estéril, que se separa y deposita en grandes rellenos denominados “botaderos”. Algunas veces, parte de este material se emplea para volver a rellenar las cavidades producidas en el terreno por el proceso de extracción de mena.

La mena, a su vez, es una mezcla íntima de mineral con valor económico y roca estéril, en una proporción que define la “ley”. La separación de ambos es un proceso industrial cuyo residuo es el “relave”, que es una harina de roca mezclada con residuos de los agentes químicos empleados para la extracción del mineral. Los relaves se depositan de diferentes maneras, incluyendo presas de relaves, terraplenes de relaves compactados, o como relleno de cavidades producidas para la extracción de mena.

De manera sucinta, la comparación entre minería a cielo abierto y subterránea muestra:

- la minería a cielo abierto presenta menores costos por tonelada de roca excavada y mayor productividad que la subterránea, por lo que permite la explotación de zonas marginales del cuerpo mineralizado, con baja ley;
- la minería a cielo abierto produce mayores desechos, en forma de escombreras de roca estéril. Como se procesa mineral con menor ley, también hay una mayor producción de relaves;
- como parte del proceso de excavación y sostenimiento algunas minas subterráneas rellenan las cavidades excavadas con material estéril o relaves cementados, lo que reduce el volumen de desechos depositados en superficie.

En los apartados siguientes se describen brevemente ambos métodos.

5.2 Minería a cielo abierto

La mena se expone mediante la eliminación de las capas superiores de suelo y roca estéril que lo cubre, se lo extrae mediante técnicas que pueden incluir el uso de explosivos, martillos neumáticos, excavadoras de balde, u otros, y se lo transporta mediante grandes camiones fuera de ruta hasta las plantas de proceso.

Dentro de las operaciones de la minería en superficie están:

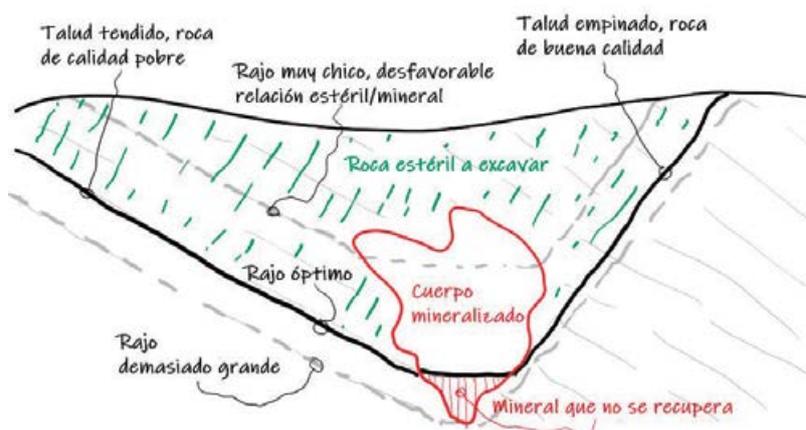
- rajos mineros: se aplican típicamente a la explotación de minerales metalíferos que requieren un proceso de concentración posterior (ej. oro, plata, cobre) y pueden abarcar grandes extensiones y profundidad;
- canteras: se aplican a la explotación de minerales industriales, ornamentales y áridos que no requieren concentración (ej. mármol, caliza, granito, arena), por lo que suelen ser de menor tamaño y complejidad técnica.

El tamaño, forma y profundidad de un rajo minero depende de consideraciones técnicas, logísticas y económicas. Por ejemplo:

- la forma del cuerpo mineralizado y la distribución de su ley;
- la calidad del macizo rocoso, que puede ser diferente en diferentes sectores del rajo;

- la máxima relación entre estéril y mineral que permiten los costos de producción.

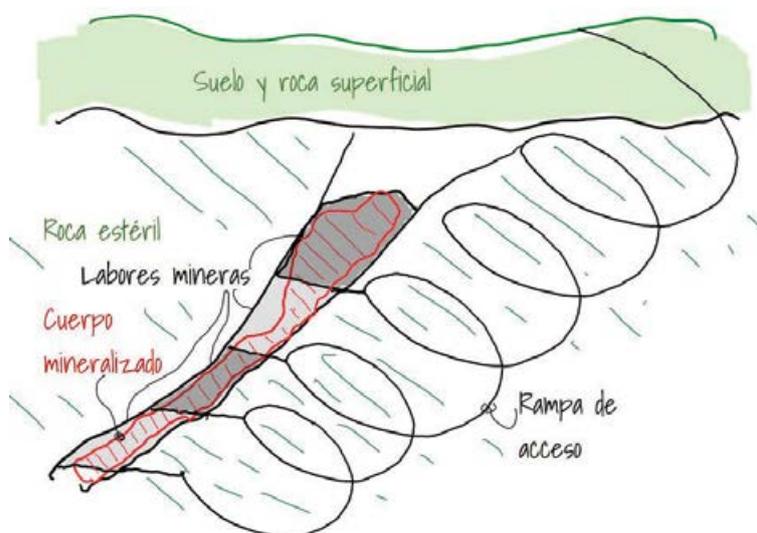
En los últimos 50 años se ha generalizado el uso de equipos de alta eficiencia y de gran porte, incluso autónomos, que han reducido significativamente los costos de excavación, carga y transporte en la minería a cielo abierto. Estos avances han permitido la excavación de rajos de profundidades superiores a los 1.000 metros (Chuquicamata en Chile, Grasberg en Indonesia y Bingham Canyon en Estados Unidos). En algunas operaciones, una vez alcanzada la máxima profundidad económica a cielo abierto se ha continuado la explotación mediante labores subterráneas.



Esquema de rajo a cielo abierto e ilustración de rajo de tamaño óptimo.

5.3 Minería subterránea

En la minería subterránea el mineral se extrae en forma localizada mediante la excavación de cámaras, túneles y galerías de acceso. Un túnel-rampa, excavado en la roca estéril, permite acceder a un lateral del cuerpo mineralizado. Desde allí se excavan galerías cortas que penetran en el cuerpo mineralizado, donde se excavan cavernas para retirar la mena.



Esquema de mina subterránea

Los métodos de excavación subterránea se eligen en función del tamaño y forma del cuerpo mineralizado y de la resistencia relativa entre la roca estéril y el mineral. Sucintamente pueden subdividirse en:

- cámaras y pilares: el mineral se extrae de cavernas que tienen forma y posición controladas, que se mantienen abiertas y estables por la acción de pilares de roca que no se excavan, aunque contengan mineral; por ejemplo, el método de cámaras y pilares (room and pillar) y método de subniveles (sub-level stoping). Esta técnica tiene un impacto mínimo en superficie;
- cámaras sostenidas: cuando, para garantizar la estabilidad de las cámaras, se emplean elementos de soporte o el relleno de las cámaras con material estéril, por ejemplo, corte y relleno (cut and fill); si el relleno es cementado, la técnica permite la extracción de los pilares. Esta técnica también tiene un impacto mínimo en superficie;
- métodos de hundimiento: en estos métodos se induce el colapso del techo y paredes de las cavernas mediante la extracción controlada del mineral desde puntos de extracción ubicados en túneles. Las cavernas se rellenan progresivamente con la roca que cae desde el techo, triturada por las tensiones naturales del terreno, con lo que puede formarse un cráter en superficie. Los métodos más usados son el hundimiento por subniveles (sublevel caving) y por bloques (block caving).

5.4 Indicadores clave de desempeño

El diseño geomecánico de una operación minera se nutre del marco geológico, hidrogeológico y estructural a escala regional y a escala mina para determinar:

- el tamaño de la operación;
- la configuración óptima de los taludes a nivel banco-berma, interrampa y global en minas a cielo abierto;
- la posición y dimensiones de cámaras, pilares y galerías, los métodos de sostenimiento y la secuencia de extracción en las minas subterráneas.

El comportamiento del macizo se controla a través de sistemas de monitoreo que permiten:

- garantizar condiciones operativas seguras para el personal y equipos;
- detectar zonas de inestabilidad y tomar medidas correctivas tempranas;
- validar, refinar y actualizar los parámetros de diseño de la mina para optimizar su operación.
- Los indicadores clave de desempeño geomecánico son:

- subsidencia y desplazamiento de paredes;
- caída de rocas, carga de mallas, deterioro de roca expuesta;
- flujo de agua y presiones de poro;
- estallido de rocas, actividad micro-sísmica, fracturamiento no controlado.

En la Tabla 1 se presentan distintos sistemas de monitoreo, indicando el entorno de aplicación (superficie o subterránea), el método de medición (observación, manual o automático) y la precisión (baja, media o alta).

Tabla 1: Sistemas de monitoreo.

Indicador	Sistema	Aplicación	Método	Precisión
Desplazamiento	Inspección visual	Superficie	Observación	Baja
	Pasadores	Superficie	Observación	Baja
	Extensómetros	Superficie / Subterránea	Manual/ Automático	Alta
	Relevamiento topográfico	Superficie	Manual	Media
	EDM y relevamiento automático	Superficie	Automático	Media
	GPS	Superficie	Manual	Media
	Fotogrametría	Superficie	Manual/ Automático	Baja a Alta
	Escaneo láser LiDAR	Superficie	Automático	Media a Alta
	Radar	Superficie	Automático	Alta
	InSAR	Superficie	Automático	Alta
	Inclinómetros	Superficie/ Subterránea	Manual/ Automático	Alta
	Sistemas de convergencia	Subterránea	Manual/ Automático	Media
	Strain gauges	Subterránea	Automático	Alta
	Fisurímetros	Subterránea	Manual/ Automático	Alta
Deflectómetros	Subterránea	Automático	Alta	

Presión de poros	Piezómetros	Superficie/ Subterránea	Manual/ Auto- mático	Media a Alta
	Drenes horizontales	Superficie	Manual/ Auto- mático	Media a Alta
Temperatura	Pozos de bombeo	Superficie	Manual/ Auto- mático	Media a Alta
	Termómetros	Subterránea	Manual/ Auto- mático	Media
	Psicrómetros	Subterránea	Manual/ Auto- mático	Media
	Termohigroanemómetros	Subterránea	Automático	Media a Alta
	Pares termoeléctricos	Subterránea	Automático	Alta
	Medidores de resistencia variable	Subterránea	Automático	Alta
Micro-sísmica	Geófonos y acelerómetros	Superficie/ Subterránea	Automática	Alta
Estado tensional	Fracturamiento hidráulico	Subterránea	Automática	Media
	Core-discing	Subterránea	Observación	Baja a Media
	Métodos acústicos	Subterránea	Automático	Media a Alta
	Jacking	Subterránea	Automático	Media a Alta
	Ovalización (breakouts) de pozos	Subterránea	Manual/ Auto- mático	Baja
	Geofísica	Subterránea	Automático	Baja

5.5 Control de riesgos de la minería a cielo abierto

Independientemente de las medidas de minimización siempre existen riesgos de origen geológico-geotécnico en las operaciones a cielo abierto. En la Tabla 2 se resumen algunos riesgos más comunes y las medidas de minimización y control recomendadas.

Tabla 2: Identificación, minimización y control de riesgos de la minería a cielo abierto.

Riesgo/Tarea	Minimización y control
Incertidumbre geológica y geotécnica	Ejecución de mapeos y perforaciones Clasificación del macizo rocoso mediante índices estándar de la industria (GSI, RMR, MRMR) Actualización del modelo geológico, estructural, y geotécnico Comparación de competencia prevista vs real del macizo rocoso
Caída de rocas	Documentación de eventos de caída de rocas y determinación de causas Calibración de modelos para estimación de trayectorias y puntos de impacto Determinación de la capacidad de retención de bermas Identificación de áreas de mayor riesgo para personas y equipos
Fallas a escala de banco-berma	Documentación de características geométricas, geológicas y geomecánicas del banco Documentación de fallas a escala de banco Identificación de daños por tronadura Condiciones de infiltración y agua subterránea, escorrentía superficial Calidad y eficiencia de la limpieza de bermas, capacidad de retención Relevancia de los controles estructurales y cinemáticos en las fallas Determinación de las causas de eventos y calibración inversa de parámetros resistentes de las discontinuidades
Fallas a escala interrampa y global	Documentación periódica y sistemática de la geometría real construida Comparación de los ángulos interrampa vs criterios de diseño Determinación de la relación entre la altura y ángulos interrampa y documentación de secciones estables e inestables Documentación de fallas a escala interrampa Análisis de riesgo (estado, impacto, medidas de mitigación y remediación, costo-beneficio)
Tronaduras	Definición de plan y secuencia de tronadura Implementación de dispositivos de alarma Capacitación del personal en manipulación y manejo de explosivos Comprobación de presencia de defectos y explosivos sin detonar Implementación de procedimientos auditados para todas las actividades (manipulación, transporte, almacenamiento, carga, tronadura)

5.6 Control de riesgos de la minería subterránea

La minería subterránea posee riesgos operativos específicos, adicionales a los de la minería a cielo abierto. En la Tabla 3 se indican los riesgos asociados a la minería subterránea y las medidas de minimización y control correspondientes.

Tabla 3: Identificación, minimización y control de riesgos de la minería subterránea.

Riesgo/Tarea	Minimización y control
Incertidumbre geológica y geotécnica	Ejecución de mapeos y perforaciones Clasificación del macizo rocoso mediante índices estándar de la industria (GSI, RMR, MRMR) Actualización del modelo geológico, estructural, y geotécnico Comparación de competencia prevista vs real del macizo rocoso
Secuencia de explotación y desempeño de la mina	Diseño de la secuencia de minado considerando la redistribución de esfuerzos Validación de la secuencia de minado con monitoreo Revisión del plan de minado y corrección de desvíos Implementación de un sistema de instrumentación y monitoreo con: secciones de control, umbrales, frecuencia de lectura, acción correctiva y plan de contingencia
Desprendimiento de bloques y estallidos de roca	Remoción de bloques potencialmente inestables Documentación de eventos de desprendimiento y determinación de causas Evaluación continua de desempeño de los sistemas de sostenimiento Inspección periódica de lugares de trabajo e identificación de riesgos para el personal
Sostenimiento	Estimación de tiempo de auto-sostenimiento Instalación temprana del sistema de sostenimiento Inspección visual de los distintos elementos de sostenimiento Implementación de un plan de calidad para la instalación de sostenimiento Ensayos de elementos del sostenimiento (ej. ensayos de arranque en pernos) Limpieza periódica de mallas cargadas con material derrumbado Implementación de plan de monitoreo de convergencia y reserva estructural de sostenimiento
Relleno de cámaras	Caracterización geotécnica y geoquímica del material de relleno Control de los agregados (granulometría, fracción fina) y mezclas Control de resistencia del relleno y evolución con la edad Determinación de las propiedades reológicas de rellenos hidráulicos
Dilución	Escaneo láser de cámaras y comparación con volumen proyectado Retroalimentación al diseño geotécnico y al diseño de voladuras
Tronaduras	Definición de plan y secuencia de tronadura Implementación de dispositivos de alarma Capacitación del personal en manipulación y manejo de explosivos Comprobación de presencia de defectos y explosivos sin detonar Implementación de procedimientos auditados para todas las actividades (manipulación, transporte, almacenamiento, carga, tronadura)

5.7 Conclusiones y recomendaciones, el aporte de la ingeniería

Los ingenieros y geólogos evalúan los elementos técnicos, económicos y regulatorios durante las etapas del planeamiento, diseño, operación y cierre de minas:

- la geología provee la exploración e identificación de recursos minerales;
- la ingeniería de minas provee el análisis económico, la determinación de reservas, la selección del método de explotación y el planeamiento económico del proyecto, desde la selección del rajo óptimo hasta el diseño del parque de equipos;
- la ingeniería civil provee los diseños geométricos de las labores, de los sostenimientos, de los servicios (agua, ventilación, iluminación, etc.), y de los recintos de deposición de residuos, como escombreras y depósitos de relaves;
- la ingeniería mecánica e industrial provee los equipos necesarios para todas las etapas del proceso;
- la geoquímica y la ingeniería química provee los procesos de extracción y concentración en planta;
- la ingeniería ambiental provee los controles e indicadores de desempeño que aseguran que las operaciones mineras se ajustan a las regulaciones gubernamentales y de la industria.

En la minería metalífera los métodos de extracción pueden separarse en dos categorías: minería a cielo abierto y minería subterránea. En ambos métodos se excava roca, se producen desechos y se consumen recursos naturales para la producción de minerales, elementos valiosos para la sociedad.

La elección de las técnicas de explotación de los recursos minerales es una decisión altamente técnica y especializada que debe ser efectuada por ingenieros y geólogos. Son los ingenieros y los geólogos quienes están capacitados para evaluar las ventajas de cada opción técnica, y quienes pueden maximizar el valor industrial y social de la actividad minera.



Glaciares, ambiente periglacial

6.1 Introducción

En las últimas décadas el interés por las consecuencias de la interacción entre las distintas actividades del hombre y el ambiente en que se desarrollan dejaron de ser una externalidad de estas para ser una parte integral de cualquier tipo de proyecto o actividad humana.

En este sentido es que se han desarrollado e implementado diferentes normativas, estándares y buenas prácticas que, en última instancia, tienen como objetivo final lograr un equilibrio sustentable en el tiempo entre los servicios ambientales que presta un ecosistema y la actividad que en él se desarrolla.

Este principio rector es inherente y aplicable a cualquier tipo de ambiente y ecosistema existente ya que todos ellos se encuentran de una manera u otra interrelacionados, muchas veces en forma directa y otras en forma indirecta, y teniendo siempre en consideración que el conjunto de todos ellos a nivel planetario conforma la biosfera.

Otro aspecto relevante que involucra a todos los ambientes es que son dinámicos y cambiantes por múltiples y variados motivos. Los glaciares y el ambiente que los contiene o les da origen, denominado criogénico (ambiente con temperaturas de 0°C o menores), no son ajenos a esta dinámica.

6.1.1 Proceso de glaciación

Al analizar la evolución reciente de nuestro planeta se observa que, aproximadamente hace 2,6 millones de años atrás, se profundizó la tendencia de enfriamiento global que había comenzado hace 30 millones de años. Es a partir de este periodo desde donde se estableció una ciclicidad climática con períodos fríos de crecimiento glaciar en alternancia con periodos interglaciales comparativamente más cálidos.

Durante este tiempo los grandes cuerpos de hielo se extendieron más allá de los polos e invadieron los continentes de ambos hemisferios. Si bien el mayor impacto ocurrió en el hemisferio norte, en el hemisferio sur y, particularmente, en la Patagonia los hielos llegaron a extenderse desde los Andes hasta el Atlántico cubriendo gran parte de la re-

gión hace aproximadamente un millón de años, durante la denominada Gran Glaciación Patagónica. Las regiones andinas septentrionales no quedaron exentas del enfriamiento global y, sin desarrollar grandes mantos de hielo, se instalaron glaciares pedemontanos como los que hoy se observan en los Andes Patagónicos.

En su totalidad se evidencian 20 ciclos de avance y retroceso glaciario, periodicidad que refleja las variaciones orbitales de la tierra. La última gran glaciación se estima que comenzó hace 115.000 años atrás y su mayor extensión en el hemisferio sur ocurrió hace 27.000 años. En nuestro presente, el planeta se encuentra sobre un estadio interglaciario que comenzó hace aproximadamente 11.700 años.

Como ya se mencionó, la evolución dinámica del planeta permitió que en territorios previamente ocupados por ambientes criogénicos se desarrollaran otros ecosistemas, adecuados a las nuevas condiciones de equilibrio.

En el actual período de evolución de nuestro planeta, el ambiente criogénico representa una fracción del espacio ocupado en la última gran glaciación y se encuentra representado por los diferentes tipos de glaciares ubicados en cordilleras y regiones montañosas, las grandes masas de hielo que ocupan las regiones polares (incluyendo el hielo marino) y las regiones con suelo congelado o permafrost.

Las investigaciones, mediciones y evidencias científicas recientes indican que los ambientes criogénicos se encuentran en retroceso en todo el planeta. Esta situación se atribuye principalmente al calentamiento global, aunque existen otros factores que interactúan y que pueden generar cambios climáticos que hayan influido y puedan influir en los ambientes criogénicos, tales como la actividad solar, la actividad volcánica, variaciones en la órbita de la tierra alrededor del sol, etc. Dado que en general estos cambios ocurren en una escala de tiempo amplia (del orden de los miles de años), existe el consenso en la comunidad científica internacional que el aceleramiento del calentamiento global es producto de los gases de efecto invernadero de origen antrópico.

6.1.2 Importancia y distribución de los ambientes criogénicos

El amplio interés que ha despertado el estudio de los ambientes criogénicos en las últimas décadas se debe a que los mismos en sus diferentes manifestaciones albergan agua en estado sólido (hielo) que representa el 75% del agua dulce del planeta.

Las condiciones de frío que permiten el desarrollo de estos ambientes criogénicos los ubican en latitudes altas tanto del hemisferio norte como del hemisferio sur, en las zonas polares y en zonas de montaña donde la latitud a la que se encuentran y la altura topográfica condicionan su aparición, así como las condiciones climáticas la amplitud de su desarrollo.

Un 10% de la Tierra está cubierta de glaciares, y en tiempos geológicos recientes ese porcentaje llegó al 30%. Los glaciares acumulan más del 75 % del agua dulce del mundo. En

la actualidad el 91% del volumen y el 84% del área total de glaciares están en la Antártida, 8% del volumen y el 14 % del área en Groenlandia mientras el resto de los glaciares suma apenas 4% del área y menos del 1% del volumen.

Los casquetes polares, que reciben también el nombre de glaciares continentales o inlandsis, son los glaciares más importantes que existen actualmente sobre la Tierra. Ocupan en total 15 millones de km², lo que significa el 90% de las áreas cubiertas por el hielo. El casquete de la Antártida es el más extenso.

El ambiente criogénico en nuestro país se encuentra mayormente ubicado en la cordillera de los Andes, a altitudes que varían según la latitud, en la Antártida Argentina y en las Islas del Atlántico Sur (Georgias y Sandwich). Una particularidad de tales lugares es que, debido a sus condiciones geográficas, topográficas, geológicas y climáticas son sitios de extrema dificultad para acceder, habitar y desarrollar casi cualquier tipo de actividad antrópica. En este sentido, cabe mencionar que las condiciones geológicas que ocupa el ambiente criogénico en el país no son aptas para la existencia de hidrocarburos, aunque sí para la existencia de yacimientos minerales, algunos de ellos con el potencial de ser de clase mundial.

En otras regiones del mundo con presencia de ambientes criogénicos, tales como Canadá, Alaska, Siberia y China, existen diferentes tipos de infraestructuras, poblaciones, desarrollos hidrocarburíferos y mineros. Diferentes técnicas ingenieriles han sido desarrolladas y aplicadas en estos casos y son objeto de continua investigación para optimizarlas y adaptarlas a las consecuencias que sobre estos ambientes está generando el calentamiento global.

6.1.3 Estudio de los ambientes criogénicos y el calentamiento global

Los efectos del calentamiento global están acelerando el derretimiento y disminuyendo la superficie de los ambientes criogénicos. Por este motivo, ha surgido un interés particular por comprender y evaluar sus consecuencias sobre el ambiente, los ciclos hidrológicos, los peligros de inestabilidad que pudieran generarse, así como sus consecuencias sobre la infraestructura que en ellos se encuentra desarrollada, como ocurre en Alaska, Siberia, ciertas regiones de China, el sector alpino de Europa, etc.

Diversas organizaciones internacionales, tales como Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS), World Glacier Monitoring Service (WGMS) y National Snow and Ice Data Center (NSIDC), han generado una serie de metodologías de monitoreo y control del ambiente criogénico. Este desarrollo se debe en gran parte al avance en los programas de capturas de imágenes satelitales que le han brindado a la comunidad científica un instrumento de observación y cuantificación de extrema utilidad para el estudio del ambiente criogénico, permitiendo realizar observaciones en sitios de difícil acceso, generar bases de datos para futuras comparaciones, registrar la composición global de estos ambientes, sus cambios, etc.

Para lograr la más completa caracterización del ambiente criogénico del planeta estas asociaciones compuestas por científicos de diferentes procedencias han invitado a las comunidades científicas de otras regiones del mundo a participar de estos programas con la finalidad de ampliar su base de datos con información de sus áreas de estudio y compartir sus resultados.

El continuo estudio de estos ambientes permite obtener información estadística sobre los cambios en la masa, volumen, área y longitud de los glaciares a lo largo del tiempo, así como la distribución y comportamiento de los suelos permanentemente congelados o permafrost. Este tipo de información es clave y conforma la base de los modelos hidrológicos relacionados con el cambio climático debido al calentamiento global.

6.1.4 Otras aplicaciones del estudio de ambientes criogénicos

Entre los intereses científicos vinculados con el estudio y comprensión del ambiente criogénico terrestre está el hecho de la existencia de hielo y evidencias de ambientes criogénicos en el planeta Marte, a cuyo estudio se aplican criterios semejantes a los utilizados en la tierra, lo cual le da un valor extra al estudio en profundidad de este tipo de ambientes en nuestro planeta.

El hielo en Marte se considera un elemento vital, no sólo por la información que pueda brindar sobre la posible presencia microbiana, sino como un recurso necesario para la potencial sobrevivencia humana en ese planeta.

Es en este contexto mundial que se considera a los ambientes criogénicos como indicadores de procesos diversos, tales como:

- El cambio climático, en su rol en los ciclos hidrológicos y cómo estos pueden verse afectados por éste.
- Las consecuencias del aumento de temperatura sobre la estabilidad de terrenos por descongelamiento y su efecto sobre la integridad de infraestructura existente.
- El comportamiento de las masas de hielo en el planeta Marte.

La República Argentina promulgó la Ley de Protección de Glaciares y Ambiente Periglacial, que incluyó el mandato de confeccionar un inventario de glaciares y geoformas periglaciares que constituyan reservas hídricas estratégicas, tal como consideran estos autores a todos los recursos hídricos de agua dulce, más allá de su génesis, disponibilidad y fragilidad.

Desde su promulgación, esta ley ha generado una serie de inquietudes y reclamos de un sector de la sociedad, así como apoyo irrestricto de otros. El motivo de estas inquietudes y reclamos radica en que, si bien es una ley de presupuesto mínimos, la misma incluye una serie de restricciones a actividades productivas (entre las que se destaca la actividad minera y la hidrocarbúrfera) y a obras de infraestructura, excepto aquellas que sean para

prevenir riesgos o para investigación científica. Las prohibiciones atinentes a la actividad minera son las que más controversia han generado llegando incluso a generar reclamos judiciales.

6.2 Definiciones y métodos de estudio del ambiente criogénico

La **geocriología** es la ciencia que estudia el proceso del congelamiento y descongelamiento, como también todos aquellos mecanismos de los ecosistemas de ambientes fríos y sus geformas. La palabra geocriología proviene de la fusión de tres raíces griegas, “geo”, de *ge* que significa tierra; “crió”, *kryos*: frío y “logía”, *log*: tratado. Esta ciencia se ocupa del ambiente, la geomorfología y la ecología de las zonas frías, los procesos naturales, geológicos y fisicoquímicos que se relacionan con el congelamiento y el descongelamiento, con el suelo permanentemente congelado o permafrost de la relación de todos estos fenómenos con la vida del hombre.

Para una mejor comprensión de este ambiente se exponen las siguientes definiciones que lo caracterizan comenzando por el ambiente criogénico no glaciario:

6.2.1 Ambiente criogénico no glaciario Permafrost

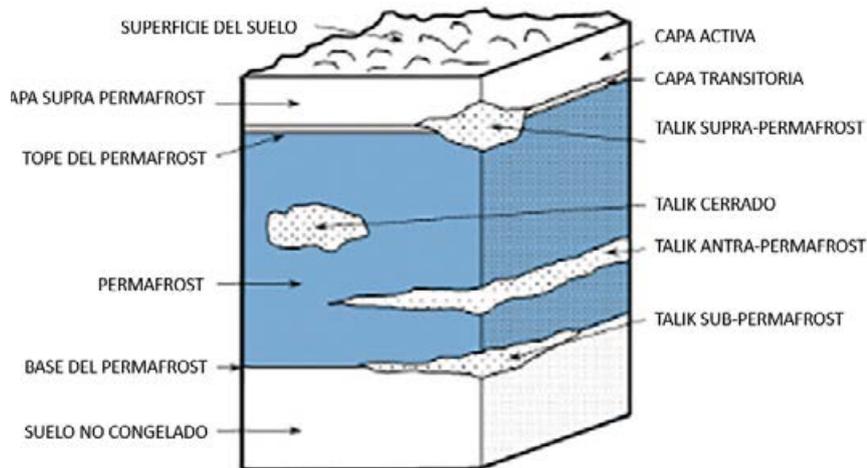
Es el suelo o roca, incluyendo hielo y materia orgánica que permanece a una temperatura de 0°C o menos durante dos años consecutivos como mínimo. Permafrost es sinónimo de suelo perennemente criótico y es definido en base a su temperatura. No se encuentra necesariamente congelado, ya que el punto de congelamiento del agua contenida puede estar deprimido en varios grados bajo 0°C o presentar un contenido mínimo de agua. Es así que, todo suelo perennemente congelado es permafrost, pero no todo permafrost está perennemente congelado. Permafrost no debe ser considerado permanente, ya que cambios climáticos o de terrenos naturales o inducidos por el hombre pueden causar un aumento de la temperatura del suelo.

Capa activa

Es la capa superficial del terreno que sufre ciclos anuales de congelamiento y descongelamiento en áreas con permafrost subyacente. En áreas con permafrost continuo, la capa activa generalmente alcanza el tope del permafrost; pero generalmente no es así en zonas de permafrost discontinuo. La capa activa sufre ciclos de congelamiento y descongelamiento debido a niveles de salinidad o concentraciones de arcilla, aun cuando ésta permanezca criótica. Su profundidad puede variar considerablemente de un año a otro, dependiendo de un número considerable de variables; en particular, si el régimen térmico del suelo ya no se encuentra en equilibrio climático de largo plazo, las capas activas tienden a aumentar su espesor.

Talik

Es una parte del suelo no congelado emplazado en un área con permafrost que ocurre como resultado de una anomalía local de las condiciones térmicas, hidrológicas, hidrogeológicas o hidroquímicas. Los talik pueden tener temperaturas sobre 0°C (no criótico) o bajo 0°C (criótico). Algunos talik pueden ser afectados por congelamiento estacional. Diferentes tipos de talik pueden ser distinguidos en base a su relación con el permafrost de los alrededores (cerrado, abierto, lateral, aislado o transitorio) y en base al mecanismo responsable de su condición de descongelamiento (hidroquímico, hidrotérmico o térmico).



La siguiente figura ilustra la disposición espacial de estos componentes en el terreno.

Un aspecto relevante de los suelos crióticos o permafrost es que poseen una profundidad de desarrollo finita, ya que la acción del gradiente geotérmico (aumento de la temperatura del suelo en función de la profundidad) le hace perder su condición de suelo congelado.

Ambiente periglacial– Definición andina

El ambiente periglacial es un ambiente frío y criogénico, pero no glaciario, por arriba del límite superior del bosque si éste existe. El límite físico con el ambiente glaciario puede ser difuso, pero el límite con el ambiente no periglacial está claramente marcado por los siguientes indicadores importantes:

- ocurrencia de permafrost en profundidad, o suelo congelado permanente, y posible presencia de hielo subterráneo atrapado y preservado bajo condiciones naturales por largo tiempo, constituyendo así el elemento decisivo del ambiente criogénico;
- dominio del proceso de congelamiento, con ciclos de congelamiento y descongelamiento que afectan a las rocas y a la parte superior del suelo; y
- presencia de soliflucción/geliflucción y otros procesos criogénicos (crioclastía, selección, crioturbación, etc.) que conducen a la denominada "geomorfología peri-

glacial”, como por ejemplo, la formación de “suelos estructurados” en pequeña escala, o a los “glaciares de escombros” en una mesoescala.

Si bien, para algunos autores del hemisferio norte, el permafrost no representa un elemento *sine qua non* del ambiente periglacial, sí lo es para los geocriólogos que trabajan en la Cordillera de los Andes, y debe mencionarse y especificarse.

Lo cierto es que el mencionado ambiente es sumamente heterogéneo, cuya composición depende de un sinnúmero de variables, litológicas, estructurales, topográficas, climáticas, etc., que ameritan estudios pormenorizados para conocer su conformación, su dinámica y su aporte a los recursos hídricos locales.

Glaciar de escombros

Un Glaciar de Escombros, también denominado glaciar rocoso o litoglaciar, es una masa de fragmentos o bloques de roca y material fino que yace en una pendiente y contiene hielo intersticial o partes con hielo macizo y presenta evidencias de movimiento pasado o presente. Es una mesoforma criogénica de permafrost de montaña, sobresaturada en hielo que, si es activa, se mueve pendiente abajo por gravedad, reptación y deformación del permafrost.

Los glaciares de escombros no se forman donde no hay suficiente humedad como para formar hielo intersticial que permita la deformación y movimiento de la geoforma. Se piensa que algunos se formaron, al menos parcialmente, por el enterramiento de hielo glacial.

Glaciar de escombros activo

Son aquellos que se mueven pendiente abajo por gravedad y por reptación y deformación del permafrost.

Una particularidad de los glaciares de escombros activos es que sus frentes o narices presenten pendientes mayores de 35°. Las superficies de estos glaciares de escombros no están vegetadas y muestran arrugas perpendiculares y paralelas al flujo de la críoforma.

Glaciar de escombros inactivo

Es un cuerpo de fragmentos de roca y material fino, en pendiente, que está congelado y contiene diferentes tipos de hielo. El glaciar de escombros inactivo ha cesado de moverse y muestra evidencia de movimientos pasados, pero no presentes; mientras su frente presenta una pendiente menor de 30°, su superficie es caótica con depresiones y señales de colapsos.

La capa activa de un glaciar de escombros inactivo es probablemente más gruesa que la de uno activo emplazado a una altitud equivalente. La inactividad generalmente resulta de tendencias de calentamiento que han causado una disminución del contenido de hielo de suelo.

Glaciar de escombros relíctico o fósil

Es una masa de fragmentos de roca y material más fino, en una ladera, que muestra evidencias de movimiento anterior, pero que ya no contiene ningún hielo de suelo o subterráneo. Su superficie ya se encuentra vegetada y sus frentes presentan ángulos menores de 20°.

La Ley N° 26.639, define al ambiente periglacial como: "...en la alta montaña, al área con suelos congelados que actúa como regulador del recurso hídrico. En la media y baja montaña al área que funciona como regulador de recursos hídricos con suelos saturados en hielo."

La mención a áreas con suelos congelados que actúan como reguladoras del recurso hídrico está directamente vinculada a los procesos de congelamiento y descongelamiento de agua que se generan en la capa activa del permafrost. Siendo la época estival la que, por temperatura y radiación solar, entre otros factores, genera las condiciones para el derretimiento y flujo del agua existente, si la hubiera.

6.2.2 Ambiente criogénico glaciar

Se define como glaciar a "un cuerpo permanente de hielo y nieve, que se ha formado por la acumulación, compactación y recristalización de la nieve acumulada en el invierno y que no logra derretirse durante el verano siguiente. Una vez que alcanza un espesor determinado puede moverse pendiente abajo por la acción de la gravedad. Debido a que los glaciares dependen de la precipitación y la temperatura son buenos indicadores del cambio climático."

"Un glaciar está compuesto por dos zonas: la zona de acumulación, en la parte superior, en donde el glaciar gana masa por la acumulación de nieve, y la zona de ablación, en la parte inferior, donde el glaciar pierde masa por derretimiento o sublimación de la nieve y el hielo, aportando agua a los ríos. El hielo glaciar fluye en la zona de acumulación hacia la de ablación por deformación interna y deslizamiento basal. Separando estas dos zonas se encuentra la línea de equilibrio donde el glaciar no gana ni pierde masa."

Según la Guía Terminológica de la Geocriología Sudamericana la definición de glaciar alude a "una masa de hielo que se origina en la tierra en contraposición al hielo marino que suele tener una superficie mayor que una décima parte de un kilómetro cuadrado (10 ha). Muchos autores creen que un glaciar debe mostrar algún tipo de movimiento o evidencia de deformación; otros creen que puede mostrar evidencia de movimiento pasado o presente. Normalmente, los primeros buscan diferenciar en un glaciar la *rimaya* o *Bergschrund*, las *crevasses* y los *séracs*.

Las grietas o *crevasses* indican el movimiento del glaciar y son transversales cuando la extensión del cuerpo de hielo es longitudinal; mientras que las grietas longitudinales suceden por extensión transversal. Por otro lado, las *ojivas* son las formas que delatan movimientos compresivos y superposiciones de diferentes niveles de hielo por diferentes velocidades.

Los glaciares pueden presentar una estratificación con capas de hielo y sedimento alternado, como también foliación, que es una diferenciación de capas de formación de acuerdo con su contenido de burbujas de aire y estructura cristalina. Cuando un nivel posee más burbujas las capas son más blancas, cuanto menos son más azuladas.

Las principales formas de cuerpos de hielo son: *inlandsis* (> 1 M km²), campos o calotas de hielo (<1 M km²) como los campos de hielo patagónico Norte y Sur, y mantos o casquetes de hielo, que pueden ser clasificados dependiendo de si cubren altas o bajas alturas (cuencas montañosas), o si cubren plateaus. También pueden mencionarse como cuerpos de hielo a las plataformas o barreras de hielo y las *banquisas* o hielo marino, de las cuales hay una clasificación numerosa y compleja.

La Ley N° 26639, define a los glaciares como: "...toda masa de hielo perenne estable o que fluye lentamente, con o sin agua intersticial, formado por la recrystalización de nieve, ubicado en diferentes ecosistemas, cualquiera sea su forma, dimensión y estado de conservación. Son parte constituyente de cada glaciar el material detrítico rocoso y los cursos internos y superficiales de agua."

Según la publicación de los Fundamentos y Cronograma de Ejecución del Inventario Nacional de glaciares y Ambiente. Periglacial la definición de

Glaciar (descubierto y cubierto) refiere a un cuerpo de hielo permanente generado sobre suelo a partir de la recrystalización de la nieve y/o hielo debido a la compactación por su propio peso, sin o con cobertura detrítica significativa, que sea visible por períodos de al menos 2 años, con evidencias de movimiento por gravedad (grietas, ojivas, morenas medias) y de un área mayor o igual que 0,01 km²(una hectárea.).

Los glaciares son básicamente cuerpos de nieve y de hielo que se mueven pendiente abajo por acción de la gravedad y que han sido formados por la recrystalización de la nieve (UNEP/GEMS, 1992). Los glaciares se forman en áreas donde la cantidad de nieve caída en invierno excede a la cantidad que se pierde en verano. El movimiento del glaciar transfiere el exceso de nieve y de hielo (formado a partir de la nieve) desde el área de acumulación, en la parte superior del glaciar hacia el área de ablación, en la parte inferior del mismo.

Clasificación de glaciares

Básicamente existen tres tipos de clasificaciones para los glaciares:

- una clasificación morfológica a partir de la forma y tamaño de estos,
- una clasificación climática, que tiene en cuenta el clima donde está presente el glaciar,
- una clasificación termal, que se basa en la temperatura del hielo glaciar y está relacionada en parte con la climática.

Es importante señalar que estas clasificaciones son complementarias.

Según su tipo los glaciares se clasifican en:

- **Glaciar descubierto:** "Es un cuerpo permanente de hielo y nieve, que se ha formado por la acumulación, compactación y recrystalización de la nieve acumulada."

- **Glaciar cubierto:** “Es un glaciar, con la diferencia de tener una importante cobertura de material detrítico que lo tapa.”
- **Glaciaretes y manchones de nieve perenne:** Son masas de hielo pequeñas emplazadas en espacios cóncavos, cuencas de ríos y en pendiente protegidas. Los manchones de nieve perennes se han desarrollado como resultado de redistribución de nieve por viento, avalanchas o acumulaciones considerables durante ciertos años. Usualmente no tienen patrones de flujo marcados y permanecen por al menos dos años. El glaciarete, también llamado helero, es un cuerpo de hielo que no presenta rimaya o crevasses. Podría ser un relictos de la última glaciación, se supone que no posee grietas de tracción, ni señales de movimiento, pero sí la herencia de bandeamientos glaciares.

Nota: Algunas de estas definiciones han sido sintetizadas de sus versiones originales, no en cuanto a su significado, pero si en cuanto a detalles técnicos descriptivos a los efectos de facilitar su comprensión. Como se puede observar, existen variaciones en las definiciones que intentan reflejar los distintos matices que se pueden presentar y las opiniones de los diferentes autores o academias.

6.2.3 Métodos de estudio del ambiente criogénico

A continuación, se mencionan en forma somera los métodos de estudio de este ambiente. En primer lugar, cabe mencionar que los métodos utilizados para el ambiente glaciario (glaciares de hielo) no son estrictamente los mismos que se utilizan en el ambiente periglacial con permafrost (glaciares de escombros), aunque ambos presentan las mismas limitantes de accesibilidad y climáticas para el desarrollo de los estudios.

El uso de fotografías aéreas, imágenes satelitales de diverso tipo, modelos digitales del terreno, sistemas de información geográfica (SIG), series de datos climáticos, etc.; son las herramientas básicas para la detección y caracterización de estos ambientes en gabinete para luego ser validados en campañas sobre el terreno.

Para evaluar los movimientos y balance de masa (pérdida o ganancia de hielo) de los glaciares de hielo se utilizan diferentes métodos y técnicas, entre ellos la fotogrametría terrestre, uso de sistemas de posicionamiento global (GPS), balizas, calicatas y perforaciones. Como la superficie que se estudia es hielo, existe toda una metodología técnica para la diagramación, ejecución, toma y medición de datos y tratamiento de estos. Se suelen utilizar métodos geofísicos para establecer la profundidad y estructura interna del hielo, así como la forma del basamento subglaciar en los glaciares de montaña; pudiendo además obtenerse información indirecta sobre la presencia de aguas inter y subglaciares. En los grandes campos de hielo polares también se utilizan métodos sísmicos y gravimétricos.

Las metodologías para el estudio de los glaciares de hielo tienen un historial de ejecución mucho más desarrollado y comprobado que aquellas utilizadas en los glaciares de escombros, que son de más reciente desarrollo y uso.

En el caso de los ambientes periglaciares con permafrost, la principal diferencia con el ambiente glaciario es que el hielo no se encuentra visible ya que está enterrado, la presencia de hielo en general no es continua y además el permafrost puede o no contener hielo ya que por definición es un sustrato que se mantiene por debajo de 0°C al menos por dos años consecutivos. Además, presentan la denominada capa activa que es aquella sección superior del terreno que presenta congelamiento y descongelamiento estacional por acción de los cambios de temperatura del suelo. En el caso de contener hielo, su derretimiento es el principal aportante al ciclo hidrológico local.

Para identificar áreas con probabilidad de existencia de permafrost se desarrollan modelos probabilísticos que utilizan como base de datos modelos digitales de elevación del terreno; series de datos de temperatura media anual del aire que, dada la escasez de estaciones climáticas en estos ambientes, se obtienen de modelizaciones globales del clima; mediciones de temperatura del suelo obtenidas con satélites; datos de radiación solar; etc.

En zonas con potencial desarrollo de permafrost y, en particular, en los glaciares de escombros -que son las principales geoformas criogénicas capaces de albergar recursos estratégicos de agua y que pueden actuar como reguladores hídricos- se utilizan diferentes metodologías para obtener datos in situ y poder corroborar, en los casos en que es factible, los resultados de los métodos de observación indirecta y las modelizaciones que se hubieren realizado sobre su presencia y comportamiento. Entre éstas se destacan el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) para establecer tanto sus desplazamientos pendientes abajo como los cambios en su espesor.

Se realizan también perforaciones que permiten conocer el perfil litoestratigráfico del sustrato, presencia de agua, suelos congelados o hielo y, lo más relevante, es que permiten la instalación de sensores de temperatura. Estos datos de temperatura son los que definen tanto la existencia de permafrost como su evolución en el tiempo. Los perfiles de temperatura permiten medir las variaciones de espesor de la capa activa. Estas variaciones de espesor cuando se incrementan en profundidad a lo largo del tiempo son indicadoras de degradación del permafrost, y cuando el mismo posee hielo, se está derritiendo y, en consecuencia, liberando al sistema hídrico agua que anteriormente constituía la reserva estratégica del recurso. Esta última situación es un indicador clave del cambio climático producto del aumento de temperatura global que está ocurriendo.

Diferentes métodos geofísicos tales como sísmica de refracción, tomografías eléctricas y el uso de instrumentos como el georadar son utilizados para obtener información de la estructura interna e indicaciones indirectas de la presencia y distribución de hielo en el interior de estas geoformas.

Los datos obtenidos de estas técnicas geofísicas permiten el uso de modelos denominados 4PM que permiten estimar el volumen de agua, hielo y aire contenidos en el sustrato frente a diferentes escenarios de porosidad. También se contemplan los cambios de volumen de la superficie de estas geoformas a lo largo del tiempo. Estos cambios volumé-

tricos se utilizan como indicadores de primer orden para la estimación interanual de los cambios en el almacenamiento de agua de los glaciares de escombros y, por ende, su potencial aporte hídrico.

6.3 Jurisdicciones y presupuestos mínimos

6.3.1 Jurisdicción sobre los recursos minerales y la actividad extractiva

Sin incursionar en los procesos históricos, es importante destacar que el dominio de los recursos minerales, como otros recursos naturales, fue establecido en la Constitución Nacional de 1994, donde el artículo 124° *in fine* establece: “Corresponde las provincias el dominio originario de los Recursos Naturales, existentes en su territorio.” Mientras el artículo 41°, tercer párrafo dice: “Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementirlas, sin que aquellas alteren las jurisdicciones locales.”

Entre 1990 y 1993, se firmó el Pacto Federal Ambiental, entre el Poder Ejecutivo Nacional y las provincias y, en ese período, se constituyó el Consejo Federal de Medio Ambiente, con el objeto de coordinar acciones de política ambiental.

En 1995 se sancionó la Ley N° 24585 que modificó el Código de Minería, al sustituir el artículo 282°. Ese cambio permitió incorporar “La Protección Ambiental para la Actividad Minera” que trata sobre los instrumentos de gestión ambiental de la actividad y establece la obligatoriedad de “Informes de Impacto Ambiental”, que serán aprobados por las autoridades ambientales designadas por las provincias, con la emisión de la “Declaración de Impacto Ambiental (DIA)”. Esta normativa tiene la característica de ser una ley de adhesión por parte de las provincias, las cuales en su gran mayoría la han adoptado.

Durante el año 2002, se sancionó la Ley de Presupuestos Mínimos N° 25675, denominada “Ley General del Ambiente”, que en su artículo 4° expresa, entre otros principios, el de congruencia en la aplicación de la política ambiental. Allí se establece que “la legislación provincial y municipal referida a lo ambiental deberá ser adecuada a los principios y normas fijadas en la presente ley; en caso de que así no fuere, éste prevalecerá sobre toda otra norma que se le oponga”.

El artículo 6° de esta normativa, interpretó el significado estricto de los presupuestos mínimos, al fijar que: “Se entiende por presupuesto mínimo, establecido en el artículo 41° de la Constitución Nacional, a toda norma que concede una tutela ambiental uniforme o común para todo el territorio nacional, y tiene por objeto imponer condiciones necesarias para asegurar la protección ambiental. En su contenido, deben prever las condiciones necesarias para garantizar la dinámica de los sistemas ecológicos, mantener su capacidad de carga y, en general, asegurar la preservación ambiental y el desarrollo sustentable.”

Como puede observarse la actividad minera está sujeta a la competencia eminentemente provincial, haciendo observancia de las leyes de presupuestos mínimos y de los acuerdos que puedan surgir del COFEMA.

6.3.2 Ley de Presupuestos Mínimos N° 26639, reglamentación y otras normativas

En 2010, se sancionó la Ley de Presupuestos Mínimos N° 26639 sobre la Preservación de Glaciares y Periglaciares, reglamentada por el Dto. N° 207/11. Esta normativa, si bien tiene por objeto la preservación y regulación de los recursos hídricos, como reservas estratégicas para el consumo humano, agricultura, etc., limita o restringe las distintas actividades que se puedan realizar en las áreas definidas por la misma, especialmente la actividad minera, la cual expresamente prohíbe. Esta normativa estableció la creación del “Inventario Nacional de Glaciares”, y se designó al Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) a cargo de su conformación. Si bien la mencionada ley estableció de utilidad pública a los glaciares, no dio la misma jerarquía al ambiente periglacial. No obstante, posteriormente el Código Civil y Comercial de la Nación, Ley N° 26994, en el Libro Primero. Parte General. Título III: “Bienes”, en la Sección 2da, “Bienes con relación a las Personas”, en su artículo 235, inciso c) estableció lo siguiente:

“Los ríos, estuarios, arroyos y demás aguas que corren por cauces naturales, los lagos y lagunas navegables, los glaciares y el ambiente periglacial y toda otra agua que tenga o adquiera la aptitud de satisfacer usos de interés general, comprendiéndose las aguas subterráneas, sin perjuicio del ejercicio regular del derecho del propietario del fundo de extraer las aguas subterráneas en la medida de su interés y con sujeción a las disposiciones locales.....”

Otro aspecto a considerar en la Ley como elemento a destacar, en su artículo 6°, inciso c), sobre las actividades prohibidas en los glaciares y en los ambientes periglaciares, son expresamente “la exploración y la explotación minera e hidrocarburífera”, sin hacer referencia a la prospección que es la etapa inicial de un proyecto extractivo. La etapa de prospección, si alcanzara a demostrar que un determinado proyecto minero no afectará las reservas estratégicas de los recursos hídricos (de existir en cantidad y calidad como tales), debería dar paso a la etapa de exploración y explotación propiamente dicha. Esto sería la aplicación del criterio de razonabilidad que no es más que la base principal del desarrollo sostenible. Parece un exceso de la norma la prohibición lisa y llana de ciertas actividades en ambientes periglaciares sin conocer expresamente y en profundidad sus características y los aportes que en cada caso se producen, y la afectación que un proyecto determinado ejerce sobre los recursos que se pretenden preservar.

6.4 Inventario de glaciares y ambientes periglaciares

6.4.1 Estudios realizados y en vías de ejecución

Este Inventario se preparó para ejecutarse en tres (3) niveles:

“El primero busca determinar la cantidad, ubicación y superficie de los distintos cuerpos. El primer nivel es un relevamiento del estado general que se actualiza cada 5 años.”

“El segundo consiste en un análisis de cuál ha sido la dinámica y cómo han variado su tamaño y desplazamiento en un plazo reciente. Este nivel se apoya en un modelo matemático.”

“El tercero responde a los parámetros físicos que rigen el comportamiento de los cuerpos de hielo. Se estudia y determina el volumen de agua que contienen, cómo es la topografía bajo ellos, cuál es su aporte a la escorrentía de los ríos, cómo reaccionan frente a las condiciones meteorológicas actuales o cómo lo harían frente a los escenarios climáticos futuros. Para ello se estudia en detalle, renovando y actualizando de manera continua la información de un total de ocho cuerpos glaciares y periglaciares.”

Durante 2018, se presentó el primer nivel del Inventario donde se establece en cada una de las cinco zonas en que se subdividió la Cordillera de los Andes (4000 km., 12 provincias y 39 Cuencas hídricas), en cinco (5) sectores de N a S, a saber:

- Andes Desérticos (Hasta Río Jachal – San Juan)
- Andes Centrales (Hasta Río Colorado – Neuquén)
- Andes del N de la Patagonia (Hasta Río Senguer – Santa Cruz)
- Andes del S de la Patagonia (Hasta Cuenca Río Gallegos y Chico – Santa Cruz)
- Andes del Tierra del Fuego e Islas del Atlántico Sur.

Los resultados de este primer nivel revelaron la siguiente información:

- Se relevaron 8500 km² cubiertos de hielo, de los cuales 5769 km² pertenecen a los Andes y 2715 km² a las Islas del Atlántico Sur.
- El 73% son descubiertos, 12% de escombros, 5% cubiertos, 5% cubiertos con glaciar de escombros y 5% de manchones de hielo.
- Se identificaron 16.968 cuerpos criogénicos, de los cuales el 95% pertenecen a los Andes y el 5% a las Islas del Atlántico Sur

En la actualidad, se continúa con las etapas segunda y tercera destinadas a definir volúmenes, movilidad, etc.

6.4.2 Otros estudios regionales y locales

Otras organizaciones públicas y privadas, las cuales se han ido mencionando oportunamente, han realizado aportes significativos a la comprensión de los procesos criológicos de los Andes. También numerosos investigadores individualmente -muchos de ellos vinculados al CONICET, o a instituciones provinciales vinculadas a universidades nacionales radicadas en distintas provincias, han realizado estudios de las características de las geoformas criogénicas y de los procesos que ocurren en las mismas, tanto en pequeñas regiones, como localmente.

En particular, es de destacar el esfuerzo académico y de investigación llevado a cabo por el IANIGLA que gracias a sus capacidades y conocimientos específicos pudo llevar adelante este inventario.

Una de las limitantes que tiene el estudio in situ de los ambientes criogénicos es su difícil accesibilidad y la rigurosidad climática que solo permite realizar campañas en la época estival. En algunas zonas de la cordillera de los Andes vinculadas con áreas de prospección y exploración minera se han realizado en los últimos años algunos estudios sobre estos ambientes, inclusive con la instalación de estaciones meteorológicas que han permitido obtener datos primarios del clima los cuales se consideran esenciales para su estudio y monitoreo, siendo muy pocas las estaciones de este tipo dada la dificultad de acceso que presentan los ambientes criogénicos en la alta cordillera.

6.5 Vinculación e incidencia sobre los recursos hídricos

El aporte hídrico proveniente de los diferentes componentes del ambiente criogénico a los recursos hídricos de la cuenca en la que se desarrollan se considera esencial y a veces crítico, así como muy complejo de cuantificar tanto en cantidad como en calidad de sus aguas.

Esta complejidad parte del hecho que los balances hídricos en todo tipo de ambientes requieren de numerosas series de datos climáticos (precipitaciones, heliofanía, temperaturas, humedad, etc.), modelos conceptuales del sustrato que permitan establecer las características acuíferas del mismo, junto con sus tasas de infiltración, su comportamiento hidráulico y datos sobre la calidad química de las aguas (hidroquímica).

6.5.1 Procesos de deshielos anuales

Sin duda, los derretimientos de nieve ocurridos anualmente son los que alimentan desde lo más alto de los Andes las cuencas hídricas que se desarrollan hacia el Este, especialmente en el verano, aunque ocurren durante todo el año.

También se producen deshielos estacionales donde la variación de la isoterma de 0°C asciende en altitud suficiente para que se produzcan derretimientos en aquellos sectores expuestos a temperaturas más bajas, ayudadas por la mayor radiación y exposición a vientos del sector norte.

Las aguas de derretimiento de nieve estacional o hielo pasan por distintas vías de escurrimiento (superficial, subsuperficial, subterráneamente a través de clastos o fracturas) a formar parte de los aportes a las cuencas hídricas en los sectores de sus cabeceras.

La capa “activa” superior del permafrost, que tiene espesores muy variables según la topografía, el posicionamiento respecto a la radiación y los vientos predominantes suele producir anualmente procesos de descongelamiento, aportando volúmenes variables de

agua que fluyen por diferentes vías hacia los cuerpos receptores tanto superficiales como subterráneos.

A la compleja trama de variables en juego en el ambiente criogénico, se suma lo que agrega el vulcanismo, los constantes movimientos sísmicos, el geotermalismo y la influencia del grado geotérmico, que en profundidad tiene su protagonismo, dependiendo de las características litológicas de las rocas expuestas como base de la criósfera.

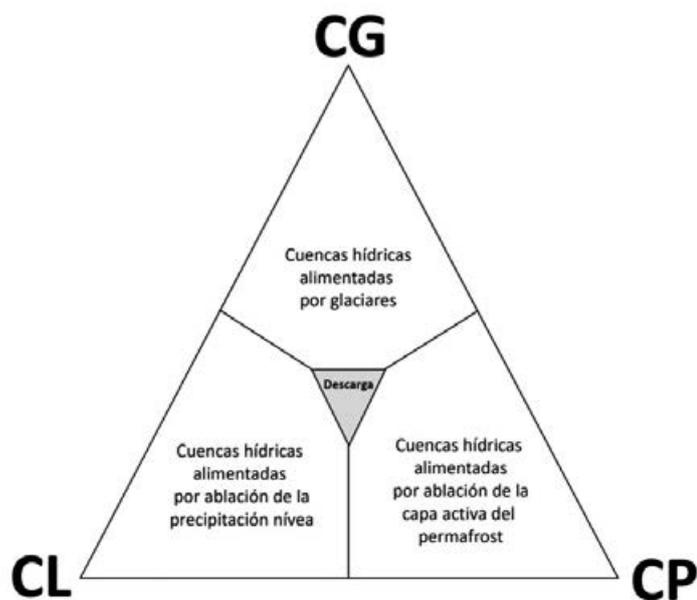
En el ambiente criogénico esta complejidad se ve incrementada por el rol de la temperatura y los cambios de calor que ocurren en los suelos congelados al producirse los ciclos de congelamiento y descongelamiento estacionales que deben establecerse y medirse para poder ser comprendido su comportamiento e influencia en el aporte hídrico que generan.

6.5.2 Aporte de otras fuentes hídricas

Al mismo tiempo, debería establecerse el aporte, o no, de otras fuentes hídricas que se sumen a las de origen criogénico como pueden ser los acuíferos existentes en la zona.

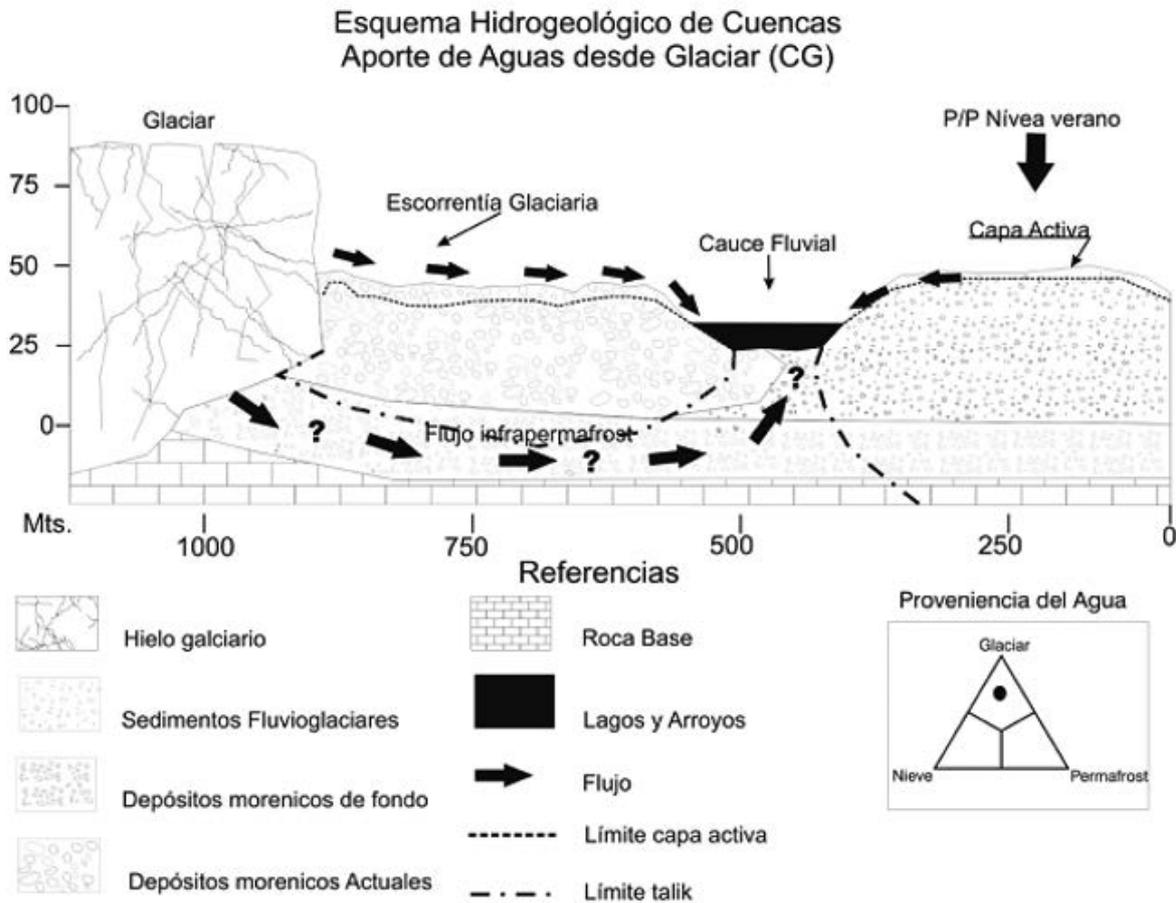
El conocimiento de todos estos procesos es incipiente en los ambientes periglaciares y sus geoformas más relevantes, los glaciares de escombros.

El gráfico a la derecha muestra los diferentes orígenes de los aportes hídricos en los ambientes criogénicos siendo una combinación de éstos los que en definitiva aportan a las cuencas, aunque puede predominar alguno de ellos en cada cuenca en particular. Es un esquema cualitativo que en cada cuenca debería determinarse y cuantificarse para establecer la importancia relativa de cada componente.



Cuencas hídricas alimentadas por glaciares

Los principales aportes hídricos se deben a la ablación directa del glaciar y los aportes de agua subterránea que pueden encontrarse por debajo del permafrost. El siguiente esquema grafica esta situación.

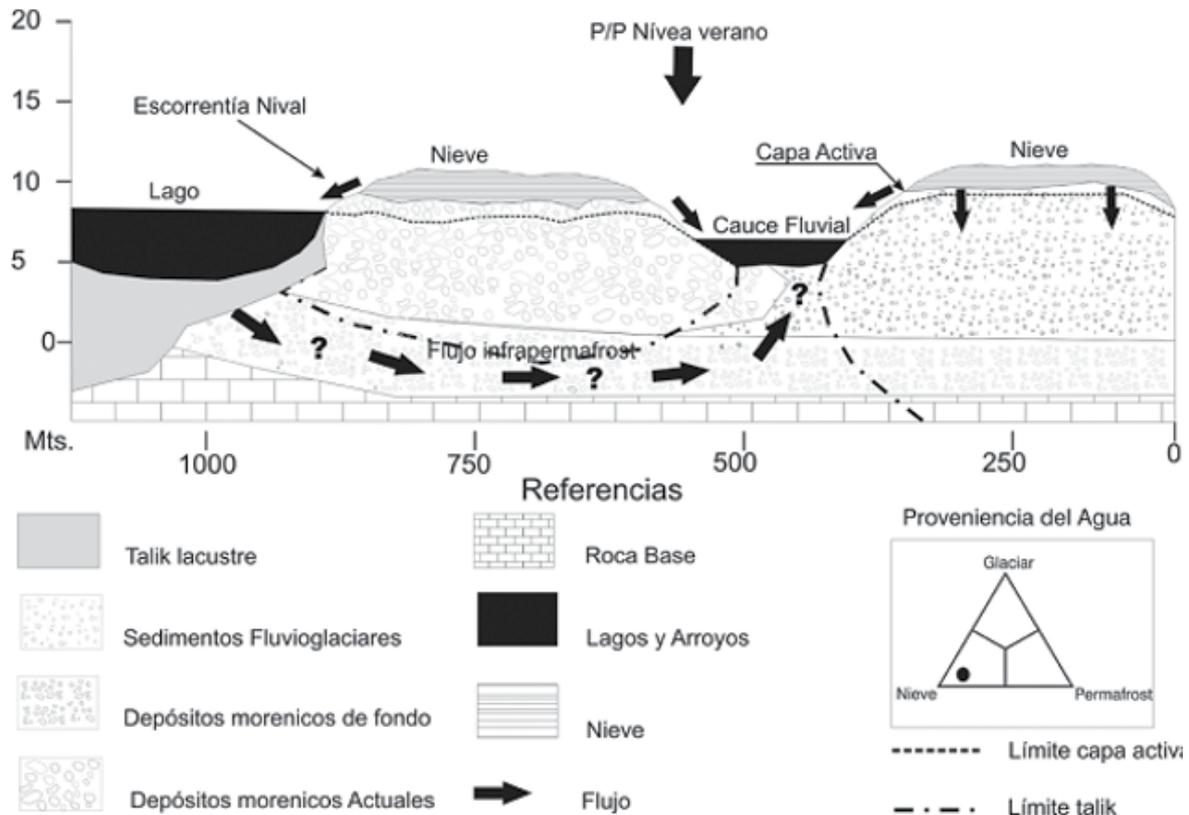


Cuencas hídricas alimentadas por precipitación nívea

En los balances hídricos las precipitaciones son la única fuente de alimentación de agua al sistema. En los ambientes criogénicos estas se manifiestan en forma de nieve alimentando por igual a las zonas de acumulación de glaciares, manchones de nieve y cubriendo las zonas y componentes del ambiente periglacial.

En época estival, con el aumento de las temperaturas sobre los 0°C, la misma se derrite y sus aguas alimentan la red de drenaje de la cuenca y por infiltración a los acuíferos, comportándose como una red fluvial de áreas templadas. El siguiente esquema indica esta situación.

Esquema Hidrogeológico de Cuencas
Aporte de Aguas por Precipitación Nívea (CL)



Por sus condiciones climáticas, en los Andes Desérticos y Centrales que se extienden en la Cordillera de los Andes desde el extremo norte del país hasta el norte de la provincia del Neuquén (35°S), la nieve caída en invierno es la principal fuente de aportes hídricos de las cuencas cuando la misma se derrite en la temporada estival.

Eventos climáticos como la Corriente del Niño explican la ocurrencia de años con mayores precipitaciones y, en consecuencia, un incremento en los caudales de las cuencas hídricas, así como el fenómeno opuesto denominado la Niña corresponde a un ciclo de bajas precipitaciones con su consecuente disminución de caudales en dichas cuencas.

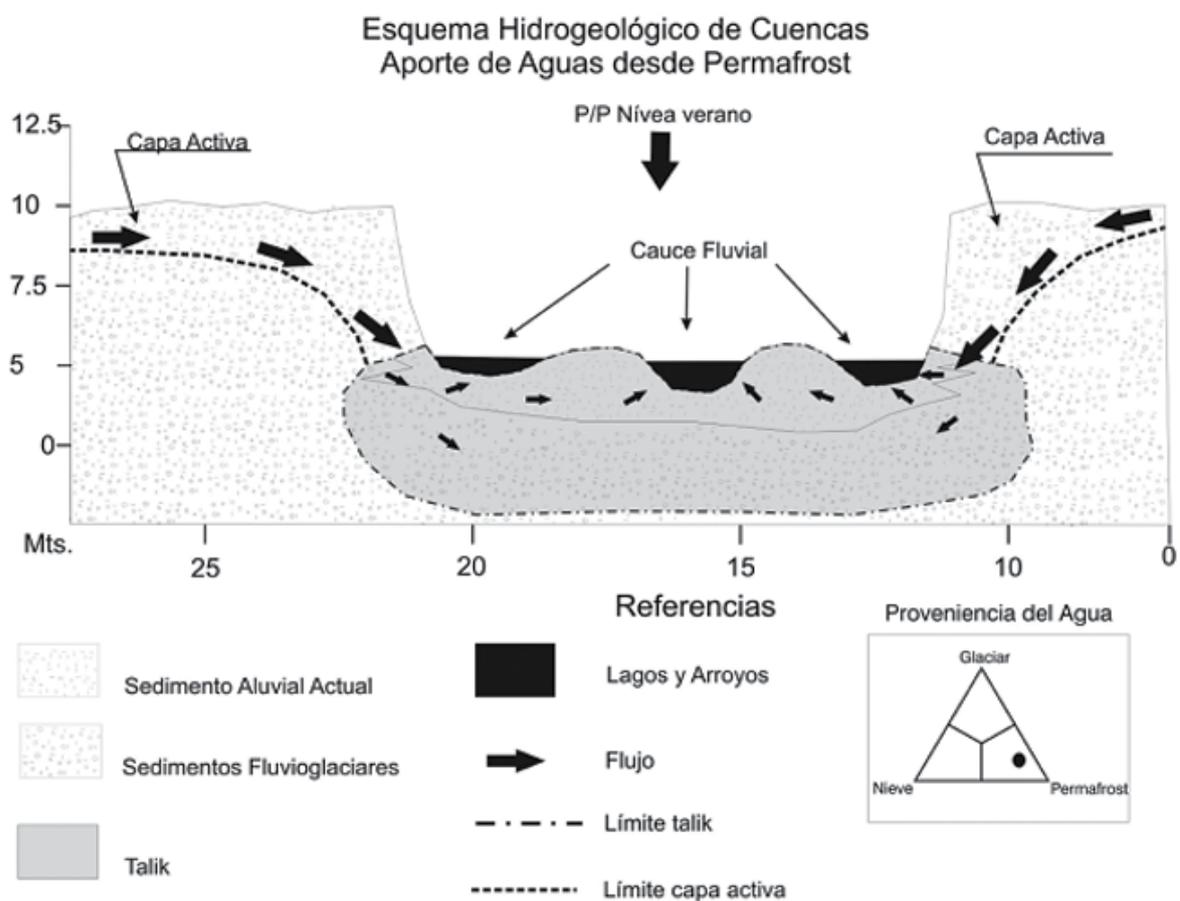
Debido a que las áreas pobladas y de producción de estas regiones dependen de los recursos hídricos de este origen para su abastecimiento³¹, es que los períodos de escasas precipitaciones en la alta montaña generan una escasez de recursos o stress hídrico.

Como las precipitaciones aumentan con la latitud de norte a sur, las regiones criogénicas de los Andes del norte de la Patagonia hasta Tierra del Fuego no poseen este rasgo tan marcado.

Cuencas hídricas alimentadas por la capa activa del permafrost

En los ambientes periglaciares el potencial recurso hídrico disponible es el hielo, ya sea contenido en el suelo (si está presente) o en las diferentes geoformas que lo caracterizan y que se engloban en el concepto de permafrost.

Los procesos que intervienen en estos ambientes vinculados con su aporte hídrico provienen del desarrollo de la capa activa del permafrost. La capa activa es la sección superior del permafrost que sufre estacionalmente una acción de congelamiento y descongelamiento. En períodos estivales el descongelamiento de la capa activa permite el cambio de estado sólido a líquido del hielo que contiene y, por acción del gradiente hidráulico, se moviliza hasta las redes de drenaje existentes.



Los factores condicionantes que intervienen en este caso son múltiples y variados tales como la cantidad de hielo presente, los tipos de sedimentos involucrados, la continuidad o discontinuidad areal del suelo congelado en profundidad o techo del permafrost que puede actuar de barrera impermeable, así como la presencia de hielo masivo, el clima, la temperatura y los flujos de calor en el sustrato, entre otros. La siguiente figura representa este esquema.

Existe un consenso científico en que los mayores contenidos de hielo se encuentran presentes en los glaciares de escombros que, junto con los demás glaciares existentes en

una cuenca, actúan como reservas hídricas estratégicas las cuales en parte se liberan en las épocas secas, actuando como un regulador del recurso hídrico a partir del descongelamiento del hielo que contiene.

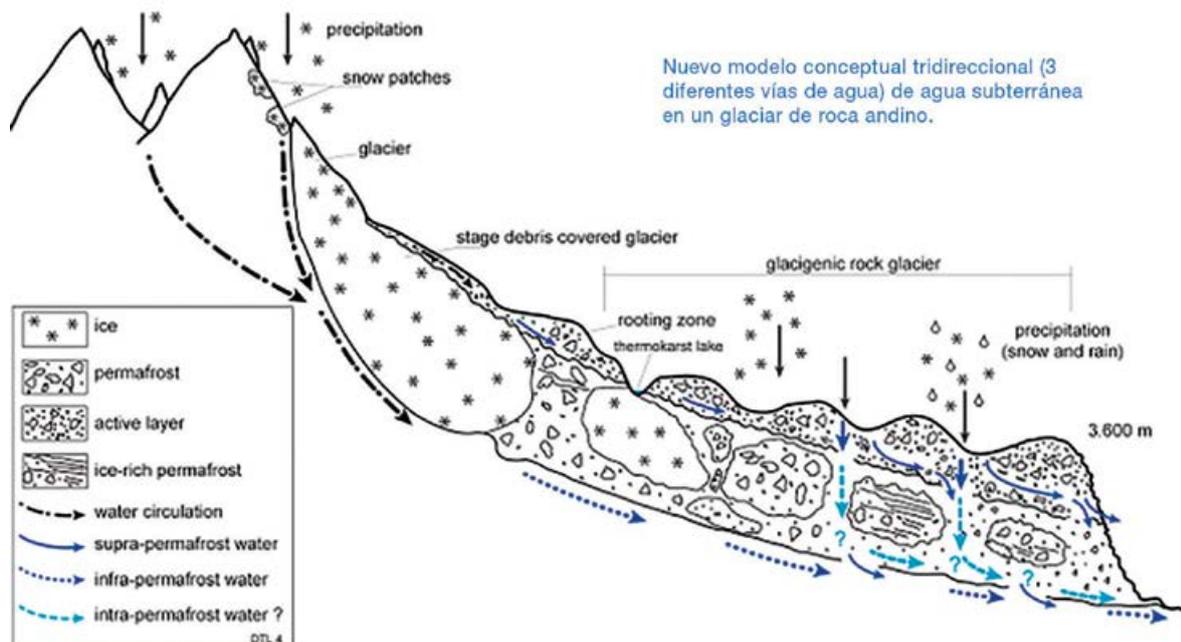
La particularidad del contenido de hielo de estas geoformas es que se encuentra enterrado y no directamente expuesto en la superficie. Esto a su vez trae aparejada la complejidad de establecer el volumen de hielo contenido en la misma y, en consecuencia, su potencial aporte hídrico.

Según la información relevada en el inventario nacional de glaciares³², las regiones de los Andes Desérticos y Centrales poseen el 68,8% de los glaciares relevados y ocupan el 35,3% del área total de glaciares relevada. A su vez, representan el 24,2% del área total de glaciares, cuerpos de nieve y glaciares cubiertos y el 95,1% de los glaciares de escombros.

Estos datos revelan la importancia dada a los glaciares de escombros como reserva estratégica de agua en estado sólido en estas regiones donde la principal fuente de agua de las cuencas hídricas son las precipitaciones de nieve en la cordillera de los Andes. De ahí la necesidad de profundizar las investigaciones en estos sistemas complejos.

Como fue mencionado, los estudios orientados a cuantificar el contenido de hielo y los aportes hídricos en cantidad y calidad de estas geoformas es incipiente y dada la heterogeneidad que presentan, demandan exhaustivos estudios en el terreno que permitan generar un modelo de su funcionamiento como aportantes de recursos hídricos (ver punto 7.2.3). En forma ideal se requieren series de datos históricos sobre sus movimientos, clima, variaciones de profundidad de la capa activa, variaciones de temperatura de la capa activa, pozos de monitoreo de agua subterránea, establecer los contenidos de hielo, etc.

A continuación, se presenta esquemáticamente un modelo conceptual del posible flujo de agua subterránea dentro de un glaciar de escombros de los Andes Centrales.



6.5.3 Cambio Climático

El cambio climático es indudablemente el factor de estrés más relevante que soportan los glaciares y los cuerpos periglaciares, produciendo la retracción de los primeros a posiciones de mayor altitud y la desaparición o minimización de los segundos, en la totalidad del planeta.

La sensibilidad del ambiente criogénico al calentamiento global le confiere una categoría de indicador clave frente a este proceso. Esta sensibilidad se debe a que los aumentos de temperatura del ambiente en que se desarrollan modifican la posición de la isoterma de 0°C incrementando la altitud o latitud de su posición, que impacta directamente en los procesos criogénicos en general y, en particular, en los sectores de este ambiente que quedan debajo de dicha isoterma en los cuales la condición criogénica tiende a fraccionarse, degradarse y finalmente perderse, pasando el ambiente a un nuevo estadio no criogénico.

El retroceso de los glaciares es un proceso geológico que se ha repetido en varias oportunidades en la historia geológica. Algunos científicos ubican el inicio del período “interglaciar” más reciente en el siglo XVIII y consideran que se ha profundizado a partir de la revolución industrial, por una variable antrópica que acelera el proceso, como es la Generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Lo cierto es que, en las últimas tres décadas, se ha profundizado el retroceso de los glaciares, por pérdida de masa de hielo en los Andes Meridionales.

Esta pérdida de masa acelerada de los glaciares produce “picos máximos” de aportes que, según algunos autores, ya se han manifestado en ciertos sectores de los Andes y otros se encuentran en ese proceso. Esto implica un futuro poco promisorio para las próximas décadas, con una disminución significativa de aportes en la cabecera de las cuencas hídricas, que pondría en riesgo la disponibilidad del recurso para los diferentes usos antrópicos.

Estudios realizados sobre glaciares de escombros, característicos de los ambientes periglaciares en los Andes Centrales aportan información sobre los cambios producidos en estas geoformas criogénicas producto del calentamiento global. Los mismos se reflejan en un aumento del espesor de la capa activa por incremento de las temperaturas del suelo, pérdida de hielo por derretimiento y cambios en la dinámica de sus movimientos.

El cambio climático es un problema y un desafío que afecta a toda la humanidad y como tal ha sido reconocido por la gran mayoría de los países miembros de las Naciones Unidas que a través de la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático estableció en el año 2015 el Acuerdo de París.¹³ Dicho acuerdo tiene como objeto reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático en el contexto del desarrollo sostenible, entre otros aspectos.

Específicamente, persigue mantener muy por debajo de los 2°C el aumento de la temperatura media mundial con respecto a los niveles preindustriales e inclusive realizar esfuerzos para limitar este aumento a 1,5°C.

Al mismo tiempo, busca aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de modo que no comprometa la producción de alimentos, entre otras consecuencias.

Este concepto de adaptación se considera muy apropiado para la gestión y manejo de los recursos hídricos provenientes de ambientes criogénicos, en particular en aquellas regiones áridas cuyos regímenes alimentan los oasis en donde se desarrollan los principales centros urbanos y actividades productivas.

6.6 Minería en ambientes criológicos

La Argentina y Chile tienen el privilegio no sólo de compartir la Cordillera de los Andes por aproximadamente 4.000 km de Norte a Sur, sino sus riquezas minerales y paisajísticas, como también las reservas sólidas de agua más importantes de América. La criósfera que comparten provee el agua que alimenta desde sus cabeceras las cuencas hídricas tanto superficiales en sus distintas manifestaciones, como subterráneas. Estos aportes que históricamente han permitido año a año el uso de esa agua para riego, para uso industrial, para la generación de energía y especialmente para consumo humano, se consideran desde siempre y a partir de la Ley N° 26639 reservas estratégicas. Si bien esta calificación es cierta, no lo es solamente porque la ley así lo establece, sino porque toda fuente de agua dulce, más allá de su disponibilidad, presenta riesgos de agotamiento, stress, contaminación, afectando los distintos usos, por lo cual se considera como un recurso estratégico.

La relación de un desarrollo minero con su entorno se inicia en forma ineludible con la ubicación en el terreno del yacimiento del mineral/es que por diversos procesos geológicos se han acumulado en una concentración tal que hacen que su extracción resulte viable. En consecuencia, la ubicación del mineral a extraer es única y discreta por cuanto es cuantificable su extensión areal y en profundidad. Las tareas de prospección y exploración minera son las encargadas de estos estudios.

Una vez ubicado y cubicado el yacimiento se desarrollan estudios de prefactibilidad y factibilidad en los cuales se determina la forma de explotación, las tecnologías a utilizar para el tratamiento del mineral, la ubicación en el terreno de sus diversos componentes, insumos, fuentes y consumos de agua, generación, manejo y tratamiento de efluentes; manejo de aguas de precipitaciones; generación, tipo, cantidad, manejo y tratamiento de residuos, tipo de energía a utilizar, caminos de acceso, etc.

Estas etapas funcionan en forma escalonada en el sentido que, si el estudio de prefactibilidad resulta positivo, se pasa al de factibilidad que contiene mayores precisiones y cuantificaciones. Una vez que un proyecto se considera factible puede pasar a una etapa de proyecto ejecutivo para su construcción y operación, a la vez que se delimitan los ejes rectores de su cierre y post cierre, para cuando se culminen las tareas productivas. El tiempo involucrado en este proceso hasta llegar a la etapa de factibilidad dura varios años.

Todo proyecto productivo de relevancia (minero o no) se encuentra sometido a la elaboración de estudios de impacto ambiental, los cuales son evaluados por las autoridades de aplicación y sometidos a consulta ciudadana. Los proyectos mineros en sus distintas etapas (prospección, exploración y explotación) se encuentran regulados por la Ley N° 24585.

Estas aclaraciones se realizan para precisar la dinámica de este tipo de proyectos y la manera en que los mismos se diseñan y adaptan a las condiciones ambientales del entorno.

Esta adaptación del diseño de los proyectos a las condiciones ambientales se logra a través de la información que se obtiene de los estudios de línea de base ambiental, que abarcan el amplio espectro de disciplinas profesionales que permiten caracterizar las tres grandes ramas que conforman el ambiente: los aspectos físicos, los aspectos biológicos y los aspectos socioeconómicos. Los mismos abarcan el área de influencia directa e indirecta del proyecto. Se entiende como área de influencia indirecta a todo aspecto del ambiente que pueda verse afectado por alguna acción del proyecto más allá del lugar de su ejecución.

Esta información ambiental que se va generando y desarrollando en forma paralela al avance de los estudios de prefactibilidad y factibilidad, permite ir incorporando la variable ambiental en los diferentes componentes del proyecto con el objetivo de evitar, prevenir y disminuir una potencial afectación.

En el caso particular del ambiente criogénico, éste se encuentra contemplado en el estudio de los aspectos físicos del ambiente.

Desde la publicación del Inventario Nacional de Glaciares pueden cotejarse estos estudios específicos del ambiente criogénico de un proyecto con los glaciares y crioformas glaciares del inventario y, en consecuencia, realizar los ajustes pertinentes.

En cuanto a los efectos que un proyecto desarrollado en un ambiente criogénico pueda tener sobre los glaciares y las geoformas periglaciares inventariadas, se parte de la base que estos son elementos del ambiente que no pueden ser intervenidos ni en forma directa ni indirecta y así lo deben contemplar los proyectos en sus diseños. En particular en aquellos aspectos que involucran el manejo tanto de las aguas interceptadas durante las actividades de obtención del mineral, como aquellas utilizadas en los procesos industriales de separación, tratamiento, transporte, etc., y los correspondientes efluentes líquidos resultantes.

Los efectos indirectos que la presencia de un proyecto puede tener sobre los glaciares y las geoformas periglaciares inventariadas son de difícil cuantificación, si existieran. Esto es debido a que ambos están sujetos a una dinámica estacional propia del ambiente criogénico sumado a una tendencia natural a la degradación producto de los efectos del cambio climático global.

Los continuos monitoreos de los factores ambientales que se encuentran en las áreas directa e indirecta de los proyectos se utilizan como indicadores de calidad y control del ambiente. De la misma manera, en ambientes criogénicos estos monitoreos deben incluir los glaciares y las geoformas periglaciares. Las series de datos que a lo largo del tiempo se obtengan pueden llegar a ser comparadas con ambientes semejantes sin proyectos y concluir si existe algún cambio que no siga un patrón general y regional. Como ya se mencionó, la línea de base ambiental que se realiza en forma previa al inicio de la construcción de los proyectos genera una base de datos primarios que puede permitir el inicio de estas comparaciones.

6.7 Aportes de la ingeniería y profesiones afines

La ingeniería y sus disciplinas profesionales afines, como la geología en distintas especialidades; la meteorología; la climatología; la glaciología, la geofísica y muchas otras, tienen mucho para aportar en lo referente a las siguientes temáticas:

- Diagnóstico y estado de situación de los distintos componentes de la criósfera.
- Evolución de los cuerpos criogénicos y su vinculación con las cuencas hidrográficas asociadas.
- Impactos ambientales de las actividades mineras y mitigación de sus consecuencias. Evaluación de riesgos asociados.
- Cambio climático y su afectación a las distintas geoformas criogénicas.
- Reemplazo de insumos utilizados en los procesos, por otros menos impactantes al medio ambiente y a la exposición de los trabajadores.
- Mejoramiento tecnológico de los procesos mineros.
- Reducción de sus residuos y efluentes emergentes.
- Eficiencia energética de la actividad y descarbonización de la energía utilizada que limite la emisión de gases de efecto invernadero
- Metodologías de diseño, construcción, operación y mantenimiento en zonas criogénicas y que permitan su preservación.
- Disminución de los caudales extraídos y alumbrados producto de procesos u obras de infraestructura.

- Aplicación de nuevas tecnologías integradas de captación y análisis de datos online que permitan la automatización de procesos productivos y de monitoreo de variables ambientales.

6.8 Conclusiones y recomendaciones

Los cuerpos glaciarios y el resto de las crioformas que componen la criósfera son ambientes sensibles, comportándose según un sin número de variables que la afectan, entre el día y la noche, entre el invierno y el verano, incluyendo los cambios climáticos regionales y globales.

La *litósfera* que suprayacen, o con la cual se entrelazan en los sectores más superficiales de la corteza terrestre, presenta características muy heterogéneas, por su mineralogía, su consistencia, diaclasamiento, fracturación, vulcanismo, morfología y posición topográfica.

Los aspectos *atmosféricos* (clima y meteorología) condicionan fuertemente el comportamiento de la criósfera, en un vínculo estrecho, dinámico y permanente. La temperatura y su variabilidad, la precipitación pluvial o nival con su frecuencia e intensidad, la radiación, los vientos, la humedad, etc., son condicionantes para el comportamiento de las masas de nieve y hielo.

Ambos componentes, uno subyacente y otro suprayacente, establecen la composición y la dinámica de estos cuerpos de hielo y nieve.

Interpretar todos estos procesos que suceden, exige contar con información suficiente sobre las distintas variables en juego, sobre todo las meteorológicas, en virtud de la dinámica que las mismas tienen. En general, salvo contadas excepciones, esa información no está disponible en la actualidad, lo cual dificulta la interpretación de los procesos que ocurren en esos cuerpos de hielo.

La heterogeneidad del ambiente donde ocurren todos estos procesos que conforman la criósfera en su conjunto, y que paralelamente son reales y potenciales aportantes de caudales de agua para abastecer las distintas cuencas hidrográficas, dejan muchas incertidumbres sobre su comportamiento, y la disponibilidad real y esperable del recurso aportado.

En particular esta última consideración es válida para los cuerpos criogénicos del ambiente periglacial (en particular los glaciares de roca) ya que, a diferencia de los glaciares de hielo donde su masa puede ser definida con un grado apreciable de exactitud lo mismo que su evolución, en los primeros la masa de hielo es variable, complejo de estimarla y en consecuencia de evaluar su real significancia hidrológica.

En consecuencia, la importancia y consideración del ambiente criogénico debe ser tratada como la de cualquier otro tipo de ambiente existente en la biósfera que requiere continuos y sistemáticos estudios para comprender su funcionamiento y la magnitud de sus

servicios ambientales. En el caso particular del ambiente criogénico, su almacenamiento y aporte real de agua a las cuencas hidrográficas en que se encuentran ubicados.

Un elemento muy importante a considerar es la influencia del cambio climático (CC) sobre estos cuerpos de hielo y nieve¹². Todos los glaciares de la Argentina, salvo rarísimas excepciones, se encuentran en un proceso de retracción significativo desde hace por los menos 40 años, pareciendo acelerarse la pérdida de masa de estos cuerpos criogénicos.

Según la información de especialistas en cambio climático es poco probable que los compromisos asumidos por los países en la reducción de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), alcancen los objetivos fijados para 2030 y 2050. Esto presupone que ese proceso de retroceso y pérdida de masa de los glaciares y otras crioformas se profundizará. Así, algunos desaparecerán y otros quedarán relegados a su mínima expresión en las altas cumbres.

Las consecuencias futuras de esta situación implican una disminución en el tiempo de las reservas estratégicas de agua sólida contenida en el ambiente criogénico independientemente que se realicen o no actividades en su entorno, incrementándose al mismo tiempo la dependencia de las precipitaciones en las cuencas hídricas para su abastecimiento.

Las consecuencias futuras de esta situación implican una disminución en el tiempo de las reservas de agua sólida contenida en el ambiente criogénico independientemente que se realicen o no actividades en su entorno, incrementándose al mismo tiempo la dependencia de las precipitaciones en las cuencas hídricas para su abastecimiento, las cuales de por sí son las mayores aportantes de recursos hídricos a las mismas.

Esta dependencia se incrementa en la región de los Andes Desérticos y Centrales y en particular en esta última ya que posee la mayor concentración de glaciares de escombros considerados reservas de agua en estado sólido. Esto significa que, frente a una escasez de precipitaciones en las cuencas, el derretimiento del hielo contenido en la capa activa u otros presentes en los cuerpos criogénicos periglaciales aportarán un flujo de agua a las cuencas aún no determinado fehacientemente. Los datos existentes a la fecha demuestran que estos flujos de agua no compensan a aquellos provenientes de las precipitaciones.

En las restantes regiones criogénicas del país el cambio climático las podrá degradar, pero por ser zonas de mayores precipitaciones se estima un menor stress hídrico futuro.

El avance en la actualización del nivel 1 y el desarrollo de los niveles 2 y 3 del inventario nacional de glaciares permitirán profundizar el conocimiento del ambiente criogénico y sus resultados ser parte de una gestión activa del mismo.

Dada la extensión territorial del ambiente criogénico este inventario puede encontrar una sinergia y retroalimentación con estudios específicos y monitoreos de este ambiente que puedan llevar a cabo emprendimientos mineros en cercanías de los glaciares y cuerpos periglaciales inventariados.

En paralelo, deberían plantearse medidas de adaptación al cambio climático en aquellas regiones habitadas y con diversas actividades productivas dependientes de las cuencas hídricas cordilleranas dentro de las cuales los niveles 2 y 3 del inventario nacional de glaciares pueden considerarse un sistema de alerta temprana.

Las medidas de adaptación implican conceptos de uso eficiente de los recursos disponibles, así como la prevención de su afectación, en este caso en particular el agua. Estas medidas deben estar orientadas tanto para períodos de escasez como para eventos climáticos que incrementen su flujo de manera anormal.

Esto conlleva toda una optimización en infraestructura y cambios tecnológicos en su uso, los cuales requieren de inversiones públicas y privadas.

En este contexto los proyectos mineros que potencialmente puedan desarrollarse en zonas cercanas a glaciares y geoformas periglaciares inventariadas considerados reservas de recursos hídricos, en estado sólido, deben contemplar desde sus planteos originales y para sus distintas etapas de desarrollo y cierre, todas las condiciones de diseño, gestión y monitoreo que permitan mantener el equilibrio del ambiente en que se desarrollan; su contralor por parte de las autoridades de aplicación y mantener políticas activas de información y transparencia de sus actividades a la sociedad.

De lo expresado precedentemente se puede concluir que, ante una iniciativa de explotación de un recurso minero en estas zonas, es requisito primordial disponer desde el momento de analizar su prefactibilidad, del dictamen del organismo especializado encargado de la elaboración del Inventario, (IANIGLIA), en el que se delimite el área periglacial correspondiente a la zona que se propone intervenir y, a partir de ello, avanzar o modificar el diseño y planificación del proyecto, previo a avanzar hacia las siguientes fases del proyecto.



Uso y consumo de agua

7.1 Introducción

El agua es un elemento clave en el diseño, desarrollo y operación de un proyecto minero, y una necesidad imperiosa en los procesos de extracción del mineral y concentración metalúrgica. También es fundamental tanto en procesos de flotación como en refrigeración. Su control resulta clave en la construcción de galerías y túneles pues, de lo contrario, se corre el riesgo de generar complicaciones a nivel técnico. En Argentina gran parte de la actividad minera se concentra en la región Andina, particularmente en las zonas áridas. El agua consumida en los procesos en esos lugares puede impactar en dichos entornos, tanto en cantidad, a través de la sobreexplotación de los recursos hídricos convencionales disponibles, como en calidad, a través de la generación de efluentes residuales que pueden impactar en el medio.

Por ello, la minería debe optar desde el diseño básico del proyecto minero, por las mejores soluciones de tratamiento que permitan recuperar la mayor cantidad posible de agua (reduciendo la dependencia de fuentes hídricas externas) y minimizar y adecuar la calidad de los vertidos a las buenas prácticas y normas ambientales.

La operación responsable de proyectos mineros debe proteger los recursos hídricos a través del uso eficiente del agua, a fin de que las extracciones totales mantengan los flujos ambientales en arroyos, manantiales y otras aguas superficiales, y que se minimice el abatimiento de las aguas subterráneas, sin dejar de lado que el agua influenciada por las minas y su descarga se efectúe de tal manera que minimice los perjuicios a los usuarios de agua circundantes y aguas abajo, y los recursos ambientales. En algunos casos debe proporcionar un suministro de agua de una fuente alternativa adecuada a las poblaciones o producciones potencialmente afectables.

Las empresas mineras deben participar en acciones colectivas para abordar los desafíos y oportunidades comunes en materia de agua entre las diversas partes interesadas, y deben adoptar enfoques que produzcan resultados positivos de gobernanza del agua a nivel local y regional.

Estas identificaciones proactivas y colaborativas de posibles problemas de calidad y cantidad del agua, y el desarrollo de estrategias de gestión adecuadas adaptadas a lo largo

del ciclo de vida de una mina, ayudan a prevenir o minimizar la contaminación de las aguas superficiales y las aguas subterráneas y los impactos en la cantidad de agua disponible para otros usos aguas abajo.

7.2 Uso del agua

Usos operativos

Operaciones mineras: extracción del mineral bruto a través de técnicas mineras superficiales o subterráneas. En estas operaciones, el agua se utiliza para la represión del polvo, y limpieza de equipos.

Fases de procesado: tratamiento del mineral bruto para recuperar minerales o metales de valor. En las fases de procesado el agua se utiliza para mezclar con el mineral bruto con el objetivo de humedecer y permitir separaciones físicas tales como el lavado, separaciones por espesado y flotación, utilizados en combinación con químicos para lixiviar los minerales.

Transporte y manejo del mineral bruto y productos: desaguado, almacenamiento y transporte del mineral o metales brutos y productos a la mina y al mercado. El agua se utiliza aquí para bombear corrientes residuales mineras (relaves) a sitios que se puedan descargar, o productos (p.e. concentrados mineros) a medios de transporte.

Usos no operativos

El agua en exceso no operativa (agua de mina) incluye toda el agua recolectada en las minas superficiales o subterráneas producto de la infiltración de aguas subterráneas o el influjo de aguas superficiales o la precipitación, y que no resulta necesaria para la extracción o elaboración del mineral.

Mientras que la mina siga operativa, se debe bombear el exceso de agua para mantener la mina seca y permitir el acceso al cuerpo mineral.

El agua en exceso se puede utilizar en el beneficiado o para el control de polvo, bombeado a los desechos o estanques de agua minera, o descargada a las aguas superficiales (siempre que cumpla con las normas de descarga).

Las minas son a menudo un usuario importante de agua en donde están localizadas, aunque muchas veces no influyan sobre una región muy extensa. Los impactos del agua utilizada por un proyecto minero son muy específicos de la ubicación, dependiendo del clima local, así como de la competencia por los recursos hídricos.

En las regiones áridas, la escasez de agua puede ser una preocupación crítica, mientras que en las regiones de lluvias elevadas o en las zonas donde el nivel freático está por en-

cima del nivel de la mina, los desafíos surgen de la necesidad de desviar las aguas para desarrollar una mina.

7.3 Concepto de uso y consumo de agua en las operaciones mineras

Se denomina “uso de agua” a la extracción de una cantidad de agua de su fuente de provisión o cauce de circulación. Se denomina “consumo de agua” (también denominado uso consuntivo o extractivo), cuando la operación aparta el recurso hídrico de su fuente y no la retorna en un tiempo relativamente corto a la fuente, o la aparta totalmente de ella (ej.: evapotranspiración de las plantas).

En términos de consumo y,, ordenado de mayor a menor por su impacto cuantitativo sobre el ambiente y según el tipo de usuario, resulta el siguiente ranking:

1. Agrícola,
2. Doméstico.
3. Industrial y energético

La ubicación del uso industrial en el ranking de consumo de agua se explica por el bajo consumo real (alta tasa de devolución) que hace la industria con el recurso. Las operaciones mineras se integran dentro del consumo industrial.

Comparativamente, se tienen estos consumos globales para otros usos en la Argentina:

- **Agrícola:** (70%) El consumo para riego es tan grande debido a que la técnica mayormente utilizada es normalmente el riego por inundación.
- **Ganadero:** (10%)
- **Consumo humano directo** (13%).
- **Uso Industrial:** (7%).

En Argentina, la actividad minera usa menos del 1% del consumo total y está englobado dentro del consumo industrial y energético, del orden de 7 %.

Según proyecciones realizadas por Naciones Unidas esta tendencia global se mantendrá aún hasta el año 2040.

7.4 Fuentes de provisión de agua en áreas mineras

7.4.1 Disponibilidad general de agua en la argentina:

Globalmente, la Argentina dispone de una oferta hídrica media anual por habitante sumamente importante, superior a los 22.500 m³ /hab, No obstante, la distribución de la oferta es muy irregular, por lo que en varias provincias de la región árida la disponibilidad

de agua se ubica bien por debajo del umbral de stress hídrico propuesto por el PNUD. El Sistema de la Cuenca del Plata, por ejemplo, concentra más del 85 % del derrame total medido.

La variedad de climas que resultan de la gran extensión y ubicación del territorio, la diversidad de relieves y las consecuentes variaciones de humedad y temperatura determinan regímenes hídricos muy variados. Dos tercios de la superficie del país se encuentran bajo condiciones climáticas áridas o semiáridas. A la variación estacional muy pronunciada se suma una alta variabilidad interanual, en muchos casos incrementada por los fenómenos climáticos globales como el de la Corriente del Niño, que provocan problemas de sequías e inundaciones según las regiones.

El riego demanda un 70,5% del total, seguido por el abastecimiento de agua potable (13%), el abrevado de ganado (9%) y el uso industrial (7,5%). La superficie con infraestructura de riego disponible cubre 1,75 millones de ha. Aunque el área bajo riego representa solamente 5% del área agrícola del país (30 millones de ha), su participación en el valor de la producción sectorial ha oscilado entre 25% y 38%. El sector de riego argentino está experimentando una profunda crisis estructural y un 30% del total del área bajo riego se considera que está afectada en distintos grados de intensidad, por problemas de drenaje y/o salinidad. La eficiencia de uso del agua en general se encuentra en niveles muy bajos: la media es inferior a 40%.

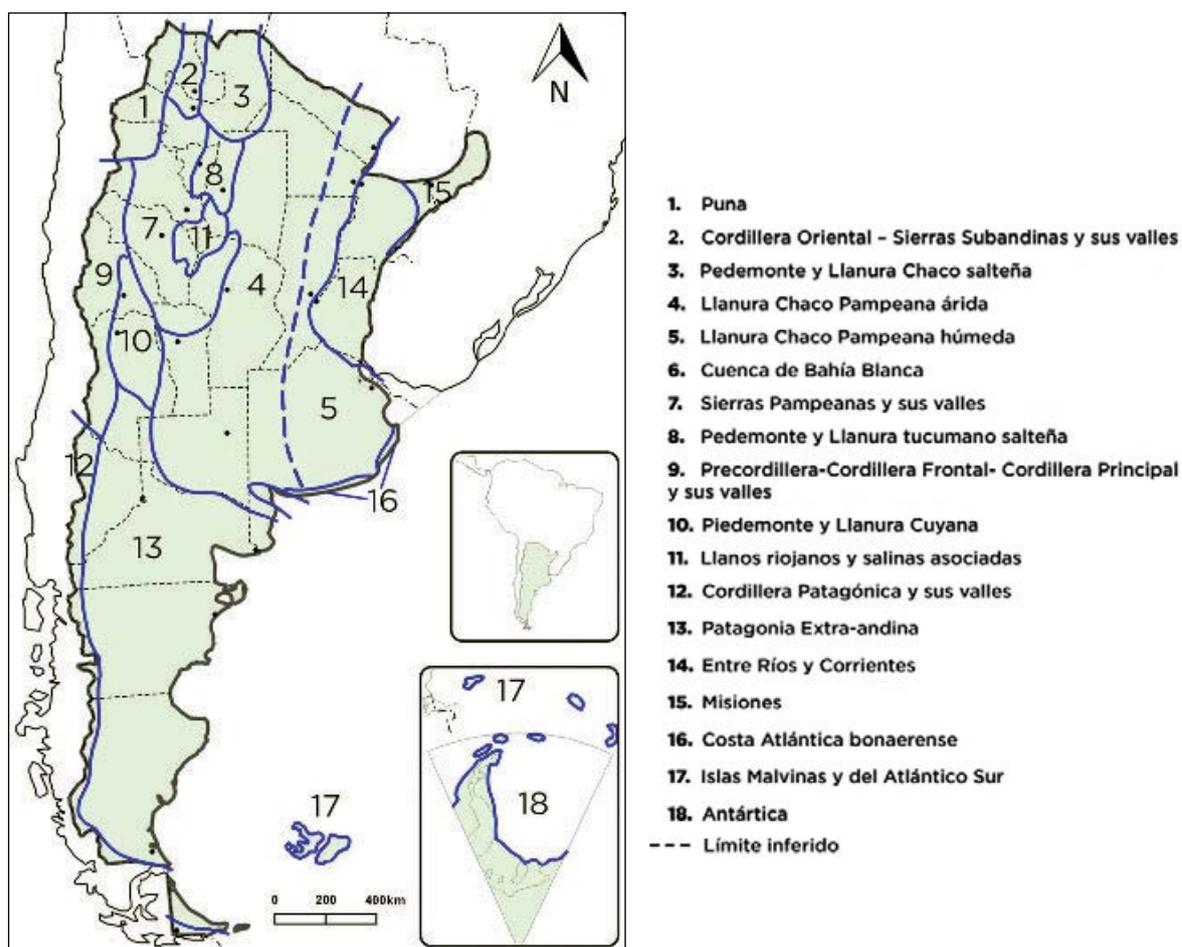
En la Argentina, a pesar de la importante oferta global de agua que exhibe, se presentan grandes desbalances entre demanda potenciales y disponibilidad en amplias regiones del país. En la región árida y semiárida, donde se desarrolla o es potencialmente desarrollable la minería metalífera, el déficit hídrico por escasez y variabilidad estacional de la oferta, limita las posibilidades productivas que los suelos y condiciones climáticas hacen favorables al desarrollo de productos agrícolas de alto valor relativo.

En la región húmeda y subhúmeda, donde la oferta de agua y climática permite desarrollar cultivos de secano o con riego complementario, la degradación de la calidad de las aguas establece limitaciones cada vez más severas a la disponibilidad del recurso. En esta región se ubican los asentamientos humanos más importantes en coincidencia con áreas de fuerte desarrollo industrial. La Argentina ha soportado periódicamente fenómenos extremos de crecidas y de sequías en distintas regiones del país. Estos fenómenos se han visto intensificados y con ocurrencia más frecuente en las últimas décadas.

7.4.2 Hidrología e hidrogeología en argentina

Alrededor del 75% del territorio argentino es árido o semiárido, o sea, presenta déficit en el balance hídrico. A esto se agrega el hecho de que sólo dos regiones tienen abundante agua superficial apta para consumo (Mesopotamia y Cordillera Patagónica). Es por ello por lo que el agua subterránea juega un rol importantísimo en la provisión para consumo

humano y riego. En nuestro país, aproximadamente un 50% del abastecimiento para consumo humano es de origen subterráneo.



Mapa de Cuencas Hidrogeológicas en la República Argentina

7.4.3 Aguas superficiales

Las aguas que escurren por la superficie terrestre son esenciales para la existencia de vida a pesar de que representan una ínfima parte del total de agua que hay en el planeta. Su importancia reside en la proporción de sales que llevan disueltas, muy pequeña en comparación con las aguas marinas y de ahí su denominación: agua dulce. Su origen se debe a las lluvias, la fusión nival y de hielos continentales o de los acuíferos subterráneos que alimentan las vertientes/manantiales. Por la fuerza de la gravedad las escorrentías colectadas por los ríos y arroyos labran redes de drenaje, comúnmente de estructura dendrítica, transportando las aguas hasta desembocar en el mar o en áreas sin salida dando lugar en este caso a cuencas endorreicas.

Cada cuenca conforma un enorme sistema de transporte de sedimentos y nutrientes en el que la capacidad de arrastre es función del caudal y de la pendiente mientras que el tipo

de cauce que forma varía con el tamaño del sedimento y de lo erosionable que sea el sustrato. En cada región la variable más explicativa del módulo de un río (caudal medio anual) es el área de drenaje, que va aumentando a medida que se desplaza hacia aguas abajo.

Por esa razón, en zonas de montaña donde se desarrollan las principales actividades mineras metalúrgicas de la Argentina -que se corresponden con las cabeceras de la cuenca con áreas pequeñas y pendientes elevadas- los caudales suelen ser bajos y las velocidades altas. En el mapa anterior esto corresponde esencialmente a las cuencas de la Puna (1), precordillera-cordillera frontal-cordillera principal y sus valles (9), cordillera norpatagónica (porción Norte de 12).

También en esas áreas ocurren fenómenos aluvionales por lluvias torrenciales con movimiento de grandes masas de material sólido (región de la precordillera en el noroeste, bardas en la región del Comahue), por fusión rápida de las nieves en el piedemonte andino, o por fuertes tormentas en zonas urbanas

Hacia la desembocadura en las regiones planas, la pendiente del cauce disminuye con lo que se reduce la velocidad y la capacidad de acarreo de sedimentos. Los ríos pasan entonces a tener lechos arenosos o limosos y normalmente generan cauces con meandros que escurren en medio de una amplia llanura de inundación pudiendo general humedales.

7.4.4 Aguas subterráneas

Los acuíferos son una parte principal del ciclo hidrológico. Se generan a partir del agua que precipita sobre la superficie terrestre en forma de lluvia o nieve y que, al infiltrarse en la tierra, crea reservorios en el subsuelo que han sido aprovechados por el hombre para diferentes usos desde tiempos muy antiguos.

Dada su visibilidad, las aguas superficiales son un recurso tangible para la mayoría de la población. Para su captación y uso los países han asignado importantes inversiones en presas de derivación y embalse, acueductos, obras de protección y canales de riego, todas obras visibles, por lo que induce a pensar que las aguas superficiales son la fuente más importante para cubrir las necesidades de agua de la humanidad. Sin embargo, los ríos y lagos constituyen menos del 3% del agua dulce de nuestro planeta mientras que el 97% restante (unos 1230 km³ de agua) se encuentran en el subsuelo. (No se tienen en cuenta aquí las reservas de agua en glaciares y casquetes polares).

En Argentina se hace un uso importante de las aguas subterráneas ya que un 30% del agua promedio extraída en el ámbito nacional para los distintos usos es de origen subterráneo. En el caso del riego en las regiones áridas y semiáridas, las reservas de agua subterránea cumplen un rol esencial al asegurar una regulación plurianual de los recursos. Contrasta con esa importancia, la insuficiencia del conocimiento general de los aspectos geomorfológicos e hidrológicos de las principales regiones hidrogeológicas. En los últimos años, sin embargo, se advierte la tendencia a una mayor utilización, derivado por

una parte de los problemas de disponibilidad y calidad que se están registrando en las fuentes superficiales, y por otra, de una mayor actividad en los procesos industriales en áreas con insuficientes fuentes superficiales, como los de la actividad petrolífera y minera. Entre ellas se pueden mencionar los valles intermontanos de la Puna, oeste de Catamarca y La Rioja, zona central de San Juan y Mendoza.

En la Argentina los acuíferos de mayor magnitud son:

- El Acuífero Guaraní (AG), que constituye uno de los reservorios subterráneos de agua dulce más importantes del mundo, con una reserva estimada entre 40.000 y 50.000 km³, volumen suficiente para abastecer a la población mundial actual (7.700 millones) durante unos 150 años, a una tasa de 100 litros/día por habitante. Se desarrolla en el ámbito de la cuenca del Río Paraná en alrededor de 1.190.000 km² y es compartido en orden de extensión territorial por Brasil, Argentina, Paraguay y Uruguay. En Argentina, el uso está restringido a 7 perforaciones de 1.000 a 1.300 m, situadas en Entre Ríos, que se emplean para baños termales y otras más someras, de menos de 200 m, en áreas donde el acuífero aflora o se ubica a poca profundidad (Misiones y Corrientes), que se utilizan para el abastecimiento humano y el riego. No hay explotaciones mineras de importancia en su cuenca.
- El Sistema Acuífero Toba (SAT) abarca en la República Argentina una superficie aproximada de 210.000 km², correspondiendo a un 7,7% de la superficie continental del territorio nacional. Incluye a las provincias de Salta, Jujuy, Tucumán, Formosa, Chaco y Santiago del Estero. No se conoce el número total de pozos perforados en el Sistema Acuífero Toba, sin embargo, a continuación, se expresan algunas cifras orientativas. En el Chaco Boreal Salteño se han censado 447 pozos, pero en la región el número se estima que debe superar los 500. En el Chaco Austral Salteño se estima que existen otras 750 perforaciones y en la región de Termas de Río Hondo se han perforado aproximadamente 4.000 pozos. No hay explotaciones mineras de importancia en su cuenca
- El Sistema Acuífero Yrenda (SAY) es un sistema hidrogeológico regional que abarca cerca de dos tercios de la Región Occidental del Paraguay y parte del Chaco argentino y boliviano. Este acuífero incluye al Acuífero Toba mencionado más arriba, y está formado por sedimentos cuaternarios y terciarios no consolidados de la formación Chaco. La salinidad de su agua subterránea aumenta a lo largo de la dirección de flujo, que es de oeste a este, y su velocidad se estima en el rango de 20 a 46 m/año. La recarga de este sistema acuífero tiene lugar en la región boliviana a través de la infiltración directa de precipitación y agua del río, en las colinas sub-andinas (serranía Aguaragüe). No hay explotaciones mineras de importancia en su cuenca
- El acuífero semiconfinado más importante de Argentina es el Puelche dada sus reservas, calidad, explotación actual y diversidad de usos. Su extensión es del

orden de 240.000 km² y alcanza a las provincias de Santa Fe, Entre Ríos, Córdoba y Buenos Aires, cubriendo en esta última unos 92.000 km². El espesor del Puelche varía entre 20 y 90 m, y aumenta ligeramente hacia los ríos Paraná - de la Plata y marcadamente hacia la cuenca del Salado y el Cabo San Antonio. No hay explotaciones mineras de importancia en su cuenca

Los acuíferos presentes en las zonas de interés minero corresponden a las Regiones Hidrogeológicas 9 y 10 del mapa anterior que abarcan las provincias de Catamarca (parcialmente), La Rioja, San Juan, y Mendoza.

La Región 9, que comprende la precordillera, cordillera Frontal, cordillera Principal y sus valles, se ubica en el sector oeste de la Argentina con una superficie de 129.000 km².

Los principales valles son: Iglesia, Calingasta, Barreal, Uspallata; luego al Este, en depresiones precordilleranas: Jáchal, Gualilán, Matagusanos y Ullum-Zonda, vistos de Norte a Sur.

Son cuencas elongadas con dirección Norte/Sur, rellenas por conos aluviales coalescentes y recargadas por ríos y arroyos de deshielo como Los Patos (49,7 m³/s). La población no supera los 20.000 habitantes que se concentran en localidades distribuidas a lo largo de ríos y zonas de descarga de agua subterránea. La actividad económica principal es la agrícola (forestal, frutales, pasturas, aromáticas), la ganadería caprina y el turismo.

Respecto de los recursos hídricos disponibles en dichos acuíferos cabe destacar que los sedimentos que rellenan estos valles poseen espesores entre 40 y 270 m. Los acuíferos son libres y los pozos arrojan caudales del orden de 100 m³/h, con rendimientos específicos de hasta 55 m³/h. El agua es de buena calidad y apta para cualquier tipo de cultivos.

La Región 10 comprende el pedemonte y la llanura cuyana. Esta ocupa el sector oeste del país donde cubre unos 86.000 km². Los relieves montañosos de rumbo general Norte-Sur, constituidos por rocas de diferentes edades (Paleozoico al presente), definen cuencas rellenas por sedimentos de distinto origen con variada granulometría y espesor. Son alimentadas por cursos fluviales de régimen nivoglaciario y constituyen importantes cuencas de agua subterránea, que se explotan intensamente para riego y, en menor medida, para uso industrial, ganadería y consumo humano. Se destacan, entre otras, las cuencas del Valle de Tulum y de los ríos Tunuyán, Mendoza, Diamante y Atuel.

Los principales acuíferos se alojan en terrenos sedimentarios del Terciario superior y del Cuaternario. Los últimos consisten en abanicos aluviales que, hacia el este, pasan a la llanura aluvial extendiéndose hasta el río Desaguadero. El espesor de los sedimentos que albergan estas cuencas de agua subterránea varía entre unas decenas y unos 600 m y almacenan acuíferos libres, semiconfinados y confinados.

Es decir, que en general son acuíferos de una fuerte disponibilidad de agua dulce de buena calidad.

Como una referencia, los usos del agua subterránea en esta cuenca se pueden visualizar en la tabla a continuación, donde se observa que frente a 20.000 pozos en explotación en la provincia de Mendoza, solo 15 corresponden a explotaciones mineras y petrolíferas.

Detalle de pozos por uso y por cuenca

Para la provincia de Mendoza se cuenta con el detalle de pozos según cuencas controlados por la Dirección General de Irrigación:

Cuencas	Mendoza	Tunuyán Superior	Tunuyán Inferior	Diamante	Atuel	Malargüe	TOTAL
Poblacional	271	46	79	54	16	10	476
Agrícola	9.756	2.305	3.235	1.326	372	33	17.027
Agua Mineral	1	4	-	-	-	-	5
Avícola	2	1	-	-	-	-	3
Doméstico	777	78	51	346	3	9	1.264
Ganadero	5	5	31	27	2	12	82
Industrial	432	65	103	144	24	21	789
Minería y Petróleo	-	-	2	-	4	9	15
Monitoreo acuífero	23	-	-	-	-	-	23
Recreativo	95	14	10	42	1	6	168
Refuerzo dotaciones	57	14	37	9	7	-	124
Termal medicinal	-	-	-	1	-	-	1
Uso Público	19	1	3	6	-	3	32
TOTAL	11.438	2.533	3.551	1.955	429	103	20.009

Fuente: Departamento General de Irrigación, (2015)

Estos datos detallados corresponden Mendoza. Esta provincia tiene tradición, junto con otras provincias cuyanas, de llevar un registro ordenado y cuidadoso de las fuentes y usos del agua. Lamentablemente otras donde también esto es importante no cuentan con registros de igual detalle y confiabilidad, tales como Chubut y Santa Cruz.

7.4.5 Agua dulce

El tenor de contenido salino del agua depende de los tiempos de permanencia entre los estratos a través de los que percola y de las características geoquímicas de los mismos, puesto que el agua termina adquiriendo y transportando las sales que disuelve a su paso.

El agua proveniente de deshielo, prácticamente destilada, que se infiltra en la cabecera de una cuenca puede llegar a tener un contenido salino que la vuelva no apta para consumo. De hecho, en suelos kársticos (rocas calcáreas) el agua alcanza a disolver macizos de roca con elevado contenido de calcio para conformar grandes cavernas y túneles.

7.4.6 Aguas salobres

Tanto las aguas superficiales como las subterráneas pueden tener elevado contenido salino e incluso contener arsénico y flúor que no las hace aptas para el consumo humano ni para riego. Aguas con elevado contenido de arsénico y flúor generan un severo problema de salud pública en provincias como La Pampa y Santiago del Estero.

La minería tiene la posibilidad de usar agua de mala calidad, tanto sea salobre, como incluso salada. Por ejemplo, en Famatina (Argentina), un eventual proyecto puede usar agua del río Amarillo, la que no es apta por razones naturales para el consumo agrícola y humano. En lugares con muy poca agua como en el norte de Chile, incluso se utiliza agua de mar desalinizándola, como en Michila, El Tesoro y Escondida o directamente agua salada como en Esperanza, una práctica que se está extendiendo a otros proyectos. En Argentina, un proyecto cercano a la costa en Santa Cruz también considera la posibilidad de operar con agua de mar.

7.5 Consumos de agua competitivos con la minería

7.5.1 Uso humano

Se considera que 80% de la población de Argentina cuenta con conexión domiciliar a una red de agua potable y que sólo 47% posee conexión domiciliar a red de cloacas (alcantarillado sanitario), proporción que se amplía a 90% cuando se consideran sistemas de saneamiento mejorado. Solamente 12% de las aguas residuales recolectadas son tratadas antes de su vuelco a los cuerpos hídricos receptores.

Se estima que el promedio nacional de producción de agua potable por habitante es de 400 litros por día con un amplio rango de variación entre las provincias que oscila entre un máximo de 650 l/h/d en San Juan y un mínimo de 170 l/h/d en La Pampa. El agua no contabilizada constituye uno de los principales problemas de eficiencia en los servicios de agua potable. Se calcula que las pérdidas en la red y la subfacturación por conexiones clandestinas y desactualización de los catastros de usuarios representan entre 35% y 45% del agua producida.

Por esto se estima que el consumo promedio en la Argentina se encuentra alrededor de los 250 l/h/d pero con máximos de hasta 400 l/h/d. Este alto nivel de consumo, comparado con el que se registra en numerosos países del mundo y de América Latina, en buena parte se explica por el bajo desarrollo de micro medición en los consumos que prevalece en los sistemas de la Argentina, sobre todo en la mayoría de los servicios de las grandes

ciudades en los cuales la facturación a los usuarios se basa en regímenes tarifarios del tipo “canilla libre”. En este sentido, según antecedentes internacionales, el consumo medio que registran los sistemas que operan con micro medición generalmente se encuentra por debajo de los 200 l/hab/d.

En provincias de la zona andina, que en general corresponden a zonas áridas o semiáridas, se da el contrasentido que siendo el agua un bien escaso, se desperdicia por un uso no racional y medido de la misma en el ámbito doméstico.

7.5.2 Uso Agrícola

Mundialmente, más de 65% de las extracciones de agua se destinan al riego. El riego consume la mayor parte del agua que se extrae como resultado de procesos de evaporación, de incorporación de agua a los tejidos vegetales y de transpiración de los cultivos. El agua extraída que no es consumida recarga los acuíferos o se evapora.

Aunque el índice mundial de crecimiento demográfico disminuye, el número de personas que pasan a formar parte de la población mundial suma aproximadamente 75 millones por año. A medida que la población aumenta, los recursos hídricos per cápita disponibles son más restringidos, por lo que se hace necesaria una mayor productividad agrícola para poder compensar dicho crecimiento. Para satisfacer el aumento estimado de la demanda entre 2000 y 2030, se prevé que el cultivo de alimentos en los países en vías de desarrollo aumente en 67%. Al mismo tiempo, la mejora continua de la productividad debería hacer posible un incremento previsto de 14% en el uso de agua con fines agrícolas.

7.5.3 Uso industrial no minero

La industria es un usuario importante de los recursos hídricos y la que más contribuye al desarrollo económico y social de los países por su alta participación en el producto bruto interno (PBI) de los mismos. Para garantizar su desarrollo, la industria ha de disponer de un suministro adecuado de agua; en contrapartida, debería comprometerse a que el agua utilizada en los procesos industriales sea usada de manera eficaz y no vuelva a la naturaleza como efluentes no tratados que contaminen el medio ambiente. Según las regiones, mucho más que el volumen efectivo de agua usado por la industria lo que preocupa es el impacto negativo de ésta sobre el medio ambiente acuático. La calidad del agua se está deteriorando en muchos ríos y lagos en todo el mundo, y el medio ambiente marino también está siendo afectado por la contaminación industrial. Gran parte de este tipo de actividad en los países de ingresos medios y bajos se ve acompañada por unos niveles innecesariamente altos de consumo y contaminación del agua. El uso industrial del agua aumenta según el nivel de ingresos del país, variando desde 10% en países de ingresos medios y bajos, hasta 59% en países de ingresos elevados. Se estima que, en los países en desarrollo, 70% de los efluentes líquidos industriales se vierten al agua (ríos, lagos, mar) sin tratamiento descontaminante.

Los usos principales del agua en la industria son:

- Sanitario: en inodoros, duchas e instalaciones que garanticen la higiene personal.
- Transmisión de calor o refrigeración: es por mucho el que más cantidad de agua emplea en la industria. Aproximadamente el 80% del agua industrial corresponde a esta aplicación, siendo las centrales térmicas y nucleares las instalaciones que más agua requieren.
- Producción de vapor: suele estar dirigida a la obtención de un medio de calentamiento del producto que se desea elaborar.
- Materia prima: el agua puede ser incorporada al producto final, como en el caso de la producción de bebidas, o puede asegurar un medio adecuado a determinadas reacciones químicas.
- Utilización como disolvente en los diferentes procesos productivos.
- Tareas de limpieza de las instalaciones.
- Generación de energía: las centrales térmicas usan vapor de agua para el movimiento de turbinas y refrigeración. Las centrales hidroeléctricas requieren grandes cantidades de agua, pero su utilización es no consuntiva y sin alteración alguna.

Para producir o fabricar algo, siempre hace falta agua y si bien no todas las industrias tienen los mismos requerimientos, todas consumen agua.

La industria del papel y cartón requiere el 27% del consumo industrial, debido a la gran necesidad de agua asociada a la fabricación de pasta de papel.

De igual manera, las industrias químicas requieren un 25%, aunque% de dicho consumo. La mayor parte de estas instalaciones disponen de sistemas de recuperación que permiten la reutilización en proceso del agua depurada.

Las industrias agroalimentarias y explotaciones ganaderas se llevan un 17% del total del consumo industrial. Las industrias de bebidas incorporan el agua consumida como parte de su producto final.

La producción y transformación de metales suman un 13%. Las instalaciones de fabricación de elementos de acero consumen gran cantidad de agua debido a los sistemas de refrigeración utilizados.

Las instalaciones de combustión utilizan un 5%.

Las industrias de gestión de residuos utilizan un 1% debido a que los vertederos sólo suministran agua en camiones cisterna para uso sanitario, y reutilizan el agua de lluvia recogida en reservorios para usos no sanitarios.

El Instituto para la Educación relativa al Agua o Red de Huella del Agua (Institute for Water Education o Water Footprint Network), de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) es uno de los organismos que la determina y aporta el siguiente ejemplo:

Producto	Consumo de agua (litros)
Vino (750 ml)	650
Cerveza (1 litro)	300
Barra de chocolate (100 gr)	1700
1 jarra de café (750 ml)	840

7.6 Estándares de consumo de agua en operaciones mineras

La minería en verdad no consume agua, ya que los productos mineros no tienen agua en su composición, pero usa agua en el proceso extractivo e industrial que es reutilizada o devuelta al medio ambiente.

En minería el uso real, aunque variable, es casi siempre inferior al permiso concedido. El agua nueva incorporada al sistema es para reemplazar las pérdidas que se producen mayormente por evaporación. El agua que se “pierde” es en realidad entregada al medio ambiente, sin contaminantes, al evaporarse.

De acuerdo con estándares mundiales globales la industria minera usa cerca del 2% del agua empleada por el hombre.

Australia y Perú usan ese 2% promedio, mientras que en Estados Unidos ese valor se ubica en 1%, según el USGS-2015. En muy pocos países se superan esos valores, como en Chile y Canadá, ambos con el 4%, prácticamente el tope de participación en el uso de agua, dada la preponderancia del sector minero en estos países.

La minería usa agua para el procesamiento y transporte de minerales, el riego de caminos y el consumo del personal de la mina. En las operaciones mineras el agua puede llegar a provenir del subsuelo, arroyos, ríos, lagos y océanos.

El agua cumple un rol fundamental en el proceso hidrometalúrgico como es la extracción, separación y recuperación de metales, usando soluciones líquidas, acuosas u orgánicas a través de tres métodos: lixiviación, flotación y separación gravitacional.

En el caso particular de la lixiviación, el agua con el agregado de reactivos solubles disuelve los metales de interés en forma selectiva, extrayéndolos de las rocas. En la flotación, en cambio, la separación de minerales se realiza con reactivos que permiten generar un producto que es colectado, concentrado y luego filtrado donde el agua es el medio de solución y transporte. No obstante, la importancia del agua en estos procesos a la minería

le corresponde sólo el 1% del agua usada por el hombre, de acuerdo con datos del Banco Mundial en la Argentina.

A nivel local, San Juan, la principal provincia en materia de la minería metalífera de Argentina, a través de su Departamento de Hidráulica proporciona información detallada acerca de las concesiones otorgadas que permiten comparar los requerimientos de agua de la minería con los usos agrícolas:

Río San Juan, uso de agua:

- Concesiones agrícolas en Calingasta 5,343%
- Concesiones agrícolas en Ullún 2,420%
- Concesiones agrícolas en Zonda 2,016%
- Concesiones agrícolas en Tulum 90,130%
- Concesiones mineras (Casposo) 0,091%

Ríos Jáchal-Guandacol, uso de agua:

- Concesiones agrícolas en Jáchal 74,5%
- Concesiones agrícolas en Iglesia 23,5%
- Concesiones mineras (Gualcamayo) 0,4%
- Concesiones mineras (Veladero) 0,4%

Se observa que las concesiones de agua para las explotaciones mineras son varios grados de magnitud menores que las correspondientes a explotaciones agrícolas.

Si bien al inicio del proyecto se suele utilizar el caudal otorgado, cuando la mina ya está en operación se empieza a recuperar el agua para volver a emplearla en el proceso. Existen estos datos de minas en Argentina:

- VELADERO: permiso 110 l/s – uso real 57 l/s. Se usa el 50% del caudal otorgado
- CERRO VANGUARDIA: permiso 70 l/s – uso real 42 l/s. Se usa el 60% del caudal otorgado
- GUALCAMAYO: permiso 116 l/s – real 40-70 l/s. Se usa el menos del 60% del caudal otorgado

El proyecto Pachón tiene otorgada una concesión de uso minero desde 1970 por un 0,8% del total del aporte de la cuenca del Río San Juan. Con Pachón en funcionamiento, el uso sería del 1%, siendo en la actualidad menor del 0,1% (0,091%).

Por lo tanto, el uso de agua en las explotaciones mineras no resulta ser competencia para los otros usos del agua en lo que respecta a la cantidad.

7.7 Posibilidades técnico-económicas de reúso del agua en operaciones mineras

En las operaciones modernas, donde el concepto del adecuado manejo del agua en las operaciones mineras se tiene en cuenta desde el comienzo de las tareas de planificación y diseño, en general el reúso de aguas es técnica y económicamente factible.

Asimismo, en operaciones en marcha, con una adecuada ingeniería de mejoramiento de procesos, se puede aumentar la tasa de reutilización.

Chile es un claro ejemplo de “más tecnología, menos agua”. Tal es el caso de la mina Los Pelambres, donde el 85% del agua utilizada proviene de recirculación en la misma operación.

En el caso de la mina Cochilco, los promedios anuales del consumo de agua externa en los procesos mineros se han reducido de 0,79 m³ a 0,70 m³ por tonelada para el periodo 2006 a 2010, lo que representa una disminución superior al 11% en apenas 4 años.

En términos porcentuales, para el período 2000-2010, el proceso de concentración ha tenido un aumento en la eficiencia hídrica de un 36% y el proceso de hidrometalurgia de un 57%.

Por lo tanto, con un adecuado uso de la tecnología existen las posibilidades técnicas y económicas de reciclar la mayor parte del agua necesaria para la operación minera, y reducir a un mínimo la extracción de agua del medio ambiente y el vuelco de efluentes al mismo.

7.8 Estimaciones de necesidades y disponibilidades de agua para operaciones mineras

En general, en las zonas de explotaciones mineras en la Argentina puede considerarse que las necesidades de agua necesarias para las explotaciones mineras son muy inferiores en relación con las disponibilidades de agua existentes, y que su uso no compromete en cuanto a la cantidad, los usos competitivos aguas abajo de los emprendimientos.

Por lo tanto, en lo que respecta a la cantidad de agua que usa y podría usar la minería metalífera en las zonas de interés minero, no existen conflictos en cuanto a la cantidad disponible del agua, pues el consumo de la minería se ubica por debajo del 2% del agua disponible en el peor de los casos. Esto cobra mayor relevancia si se tiene en cuenta que emprendimientos modernos con una adecuada intervención de la ingeniería en todas las etapas de su desarrollo permiten un fuerte reúso y mantener acotado el uso.

En dichos ambientes, caracterizados por ser zonas áridas o semiáridas, resulta más importante aumentar la eficiencia del riego agrícola que, en general, no ha adoptado las técnicas más modernas.

A efectos comparativos de la cantidad usada de agua por la minería respecto de otros usos, en 2011 la mina de oro y plata más grande de San Juan, Veladero, tuvo un consumo total de agua promedio de 57 lts/seg, que es la misma cantidad de agua que tiene como permiso de uso agrícola una finca de solo 60 ha. en esa provincia.

7.9 Posibles conflictos por la calidad de los efluentes

La actividad minera puede afectar la calidad del agua de muchas maneras, incluyendo:

- la descarga de agua de mina al medio ambiente,
- la filtración a través de los desechos de minas a las aguas subterráneas y superficiales,
- las filtraciones o fallas de los relaves y las instalaciones de almacenamiento de agua,
- los derrames químicos
- y la liberación de aguas pluviales no controladas.
- el vuelco a aguas superficiales de desagües de uso humano, provenientes de aguas subterráneas como fuente de agua potable para los emprendimientos mineros.

La composición y cantidad del agua de mina varía entre las diferentes ubicaciones mineras debido a las condiciones locales y al tipo de capa y mena. La composición química del agua de mina depende de la geoquímica del cuerpo minero y del área circundante. El agua de mina puede también estar contaminada con pequeñas cantidades de petróleo y grasa del equipo mecánico usado en la minería y por nitratos de las operaciones de voladura.

La depresión de las aguas subterráneas, las aguas superficiales y los efluentes de las operaciones de drenaje de minas y el uso general del agua por parte de las instalaciones mineras pueden tardar décadas en reponerse después de que cesa la operación de la mina, y en algunos casos, los niveles de las aguas subterráneas y las direcciones de flujo pueden alterarse indefinidamente.

Después de que se abandona una mina generalmente se detiene el bombeo, permitiendo que la fosa con labores se llene de agua si la mina está por debajo del nivel freático antes de la excavación.

A través de la aeración y el contacto con minerales sulfurosos el agua acumulada se puede acidificar y convertirse en agua contaminada con metales pesados, así como sólidos disueltos y suspendidos. Incluso en aguas no ácidas, los metales y metaloides tales como el antimonio, arsénico, mercurio, y demás se pueden liberar dependiendo del pH del agua.

Con el tiempo, si no hay un manejo adecuado, esto puede conducir a la liberación descontrolada de agua de mina a las aguas superficiales y subterráneas, así como generar la formación de lagunas de fosas de post minería que imponen riesgos a los pájaros acuáticos y demás recursos biológicos.

La remediación de la contaminación causada por la minería puede ser extremadamente costosa y, en algunos casos, imposibles de lograr si no se ha evitado en sus fuentes y en etapas tempranas. En consecuencia, el diseño de sistemas para prevenir la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas debe ser un objetivo principal desde las etapas iniciales de planificación de la operación minera.

La operación responsable de proyectos mineros puede minimizar la contaminación del agua mediante el uso de una variedad de enfoques de control de fuentes, entre ellos:

- limitar la infiltración de aire y agua a los residuos de lixiviación de ácidos/metales y materiales extraídos,
- recoger y tratar el agua influida por la mina lo más cerca posible de la fuente
- controlar cuidadosamente la descarga de aguas pluviales influidas por la operación minera y aguas tratadas de la propia operación al medio ambiente.
- establecer sistemas de gestión de calidad del agua en cada una de las etapas de los emprendimientos mineros.
- tener un control por parte de las autoridades, con participación comunitaria, con las mejores prácticas de auditorías profesionales e independientes, tanto a cargo de empresas sin conflicto de interés con las operaciones mineras, como por autoridades elegidas por capacidad y antecedentes, y adecuadamente remuneradas.

En definitiva, con un adecuada intervención de las ramas de la ingeniería y sus ciencias conexas correspondientes en las etapas de planificación, diseño, evaluación del impacto ambiental, construcción, operación y cierre de los emprendimientos mineros, aplicando criterios holísticos y adoptando las mejores prácticas internacionales, para la gestión y control, se puede asegurar que los emprendimientos mineros tengan efluentes que no produzcan daños ambientales o afectación de los usos competitivos agua abajo, como los de cualquier actividad industrial moderna.

7.10 Buenas prácticas para la gestión del agua en operaciones mineras

Para asegurar que toda la gestión del agua de un proyecto minero sea ambientalmente aceptable es fundamental que el mismo siga en todas sus etapas las mejores prácticas vigentes emitidas por entidades internacionalmente reconocidas tales como IRMA, la International Standard Organización y la Water Footprint Network. Dichas buenas prácticas son complementarias y, en conjunto, son las directrices que un proyecto minero moderno,

ambiental y socialmente responsable debe cumplir, y que las autoridades a cargo de la regulación y control deben exigir.

En el presente punto se sintetizan las buenas prácticas referidas a la gestión del agua en un proyecto minero que como mínimo debe respetar.

7.10.1 Recomendaciones de la Iniciativa para la Aseguramiento Responsable de la Minería (IRMA)

La Iniciativa para la Aseguramiento Responsable de la Minería (IRMA por sus siglas en inglés: Initiative for Responsible Mining Assurance) fue fundada en 2006 por una coalición de organizaciones no gubernamentales (ONG), conformada por empresas que compran minerales y metales para los productos que producen y venden, mano de obra organizada (por ejemplo, sindicatos), comunidades afectadas y empresas mineras.

El Comité de Monitoreo de IRMA tomó la misión de establecer un sistema de aseguramiento de la minería responsable de múltiples partes interesadas y de verificación de forma independiente que mejore el desempeño social y ambiental, y cree valor para los principales sitios mineros.

La Norma para la Minería Responsable (v.1.0 2018) emitida por dicha organización, especifica un conjunto de objetivos y requisitos de desempeño líderes para la práctica ambiental y socialmente responsable.

La norma sirve como base de un sistema voluntario que, mediante la evaluación independiente de terceros y certificación de medidas de desempeño ambiental y social en sitios mineros a escala industrial en todo el mundo, permite validar que un proyecto minero es ambiental y socialmente aceptable.

En lo que respecta a la gestión del agua en un proyecto minero, IRMA requiere que la empresa:

- Identifique a los usuarios de agua, titulares de derechos de agua y otras partes interesadas que puedan verse afectados. Todo, a partir de entonces, debe hacerse en colaboración y consulta con dichas partes interesadas;
- Identifique usos actuales y potenciales a futuros del agua a nivel local y regional que puedan verse afectados;
- Identifique desafíos y oportunidades respecto de uso compartido del agua, y elabore los planes correspondientes;
- Recopile información de base respecto de la variación estacional, y otras fuentes de contaminación o cambios en la cantidad o calidad de agua que no tengan que ver con el proyecto minero.

- Identifique potenciales impactos significativos a la cantidad y/o calidad de agua por parte del proyecto minero;
- Elabore planes de minimización y/o mitigación de impactos;
- Monitoree, en colaboración con las partes interesadas, la gestión del agua durante la vida del proyecto;
- Elabore un plan de alerta temprana a impactos no contemplados con su correspondiente plan de gestión adaptativa;
- Publique y comunique con transparencia su accionar y su gestión del agua.

7.10.2 Sistemas de Gestión de Uso Racional del Agua ISO 46001

El sistema de normas puesto en vigencia por la International Standard Organization (ISO) denominadas normas ISO 46001:2019 «Sistemas de gestión de la eficiencia del agua - Requisitos con orientación para su uso», es el estándar publicado por dicha la organización internacional en 2019, con el objeto de permitir una gestión eficiente del agua, y es de muy reciente vigencia.

Esta norma, al igual que otras (ISO 14001-ISO 45001) se puede certificar y está basada en la estructura de alto nivel con la cual se han diseñado las últimas normas publicadas por ISO. Esto quiere decir que se puede integrar con los sistemas de gestión de otras normas, como por ejemplo la ISO ISO 9001 (Gestión de la Calidad) o 14001(Gestión Ambiental)

La ISO 46001 se basa en prácticas de monitoreo, medición, documentación, informes, diseño y adquisición de equipos, sistemas, procesos y formación para la gestión de la eficiencia del agua, en todas las etapas de un proyecto.

La norma tiene 3 aspectos claves fundamentales que coinciden casi en su totalidad con las 3R (**reducir, reciclar y reutilizar**). Sin embargo, en este caso se sustituye reciclar por reemplazar.

- **Reducir:** en este punto se pretende usar procesos y equipos que usen el agua eficientemente y también que permitan monitorear su uso y detectar fugas.
- **Reemplazar:** hay casos en los que no es necesario utilizar agua dulce superficial o subterránea, y se puede reemplazar por agua de mar o agua salobre.
- **Reutilizar:** simplemente consiste en volver a utilizar el agua siempre que sea posible y no desperdiciarla una vez haya sido usada.

Por consiguiente, teniendo como objetivo en todas las etapas de desarrollo de un proyecto minero (planificación, diseño, evaluación del impacto ambiental, construcción, operación y cierre) los conceptos de este sistema de normas con el objetivo de ser certificable bajo ella, se puede afirmar que se trata de un método que asegura que los desarrollos

mineros no sean competitivos con otros usos del agua, principalmente en áreas áridas o semiáridas. Esto también permite demostrar certificadamente ante terceros (autoridades, opinión pública, etc.) que este bien escaso es usado eficientemente.

7.10.3 Evaluación de huella hídrica según ISO 14046 Y WFN

La huella hídrica muestra el impacto humano sobre los recursos globales de agua dulce y proporciona una base de conocimiento sobre la cual formular las estrategias a seguir de cara a minimizar los impactos negativos.

La primera publicación del “The Water Footprint Assessment Manual”, emitida por la Water Footprint Network, (WFN) tuvo lugar en el año 2009. En ella se definió a la Huella Hídrica de un producto como el volumen de agua consumida tanto directa como indirectamente para su producción.

Según el enfoque de la WFN, la Huella Hídrica se puede dividir en tres indicadores según su procedencia:

- Huella hídrica verde: relacionada con el agua de lluvia incorporada en el producto o evapotranspirada por las plantas.
- Huella hídrica azul: relacionada con el consumo de agua dulce.
- Huella hídrica gris: relacionada con la calidad del agua y su contaminación debido a los contaminantes vertidos en un determinado proceso.

El análisis de la huella hídrica según WFN puede servir como una herramienta de concientización o como una herramienta de evaluación y gestión regional del agua.

La metodología de cálculo según las directrices de la ISO 14046 sirve para cuantificar en una forma más rigurosa, los efectos sobre la disponibilidad de agua y el impacto ambiental debidos a una determinada actividad.

La evaluación de la Huella de Agua según la ISO 14046 es más útil para estudios exhaustivos de sostenibilidad ambiental de un producto o de una organización.

La decisión de utilizar una u otra metodología en un cálculo de Huella Hídrica de un emprendimiento minero dependerá de muchos factores, como puedan ser de la información de partida disponible, el tipo de usuarios al que el estudio vaya dirigido, o el nivel de detalle que se quiera alcanzar, según la etapa de desarrollo del emprendimiento, siendo que ambas herramientas son compatibles y se pueden complementar mutuamente.

La Huella de Agua tiene dos dimensiones: una dimensión directa que se refiere a los impactos producidos en el propio proceso y una dimensión indirecta que es causada por todas las actividades que ocurren aguas arriba y aguas abajo y que permiten que dicha actividad se lleve a cabo. La mayoría de las actividades en el sector minero se dan fuera

de los límites operacionales del proyecto, por lo que la mayor parte de la Huella de Agua se presentará de manera indirecta.

La Huella de Agua o Huella Hídrica, según norma ISO 14046 se basa en la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), también estandarizada por la ISO 14040 y 14044, estableciendo los principios, requisitos y directrices para una correcta evaluación de la Huella Hídrica de productos, procesos y organizaciones, a partir del análisis de su ciclo de vida.

Como diferencia respecto a la metodología WFN, la norma ISO no contabiliza únicamente el volumen de agua consumido, sino que evalúa los posibles impactos medioambientales relacionados con dicho consumo, a través de indicadores relacionados con el agua. Los indicadores que establece la ISO 14046 en el cálculo de huella de agua son escasez de agua, eutrofización de agua dulce y salada, y uso del agua.

La interpretación de los resultados juega un papel clave en el proceso pues es necesario reinterpretar continuamente tanto las decisiones que se han tomado en cuanto al alcance y objetivos como los resultados obtenidos. Una de las etapas más relevantes es la obtención de los datos de base (inventario) que incluye todas las entradas y salidas del sistema: como materiales, agua, energía, residuos y transporte.

En la huella de agua según el enfoque ISO 14046 se evalúan los impactos regionalizados relacionados con el uso consuntivo y con el uso degradativo del agua. Así en un análisis basado en la ISO 14046, se analizan los impactos sobre el medio ambiente, la salud humana, y sobre los recursos naturales relacionados con el agua consumida o degradada por un producto, proceso u organización.

En la huella hídrica según WFN se contabilizan volúmenes de agua consumida o contaminada en un proceso, para la producción de un producto, por un individuo o por una organización. Su metodología está ampliamente establecida y debido a su mayor recorrido está más difundida entre organizaciones y público general, ya que sus resultados son fácilmente interpretables.

La determinación de la huella hídrica de un proyecto minero cuantifica fehacientemente las necesidades de agua del mismo, y las documenta para demostrar ante terceros las mismas.

7.10.4 Sistemas de auditorías técnicas independientes ISO 19010

La norma ISO 19011 "Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión" es una norma internacional desarrollada por la Organización Internacional de Normalización (ISO) que establece las directrices para la auditoría de los sistemas de gestión de la calidad. La revisión vigente de la norma es de julio de 2018 (ISO 19011:2018).

Esta norma internacional proporciona orientación sobre la metodología sistemática de auditoría de los sistemas de gestión, incluyendo los principios de una auditoría indepen-

diente, la gestión de un programa de auditoría y la realización de auditorías de sistemas de gestión, así como orientación sobre la evaluación de la competencia de los individuos que participan en el proceso de auditoría.

La norma está compuesta de los siguientes capítulos:

- Objeto
- Referencias normativas
- Términos y definiciones
- Gestión de un programa de auditoría
- Realización de una auditoría
- Competencia y evaluación de los auditores

La aplicación de las recomendaciones de la norma ISO 19011 a las auditorías independientes de los distintos sistemas de gestión vigentes en un proyecto minero, en cualquiera de sus etapas, asegurará que las mismas respeten las mejores prácticas en la realización de auditorías, realizadas por auditores independientes y calificados, por lo cual sus conclusiones y recomendaciones sean confiables.

Por lo tanto, es recomendable que todas las auditorías, sean o no participativas, referidas a los aspectos del agua en un proyecto minero, respeten las directrices de esta norma.

7.11 Conclusiones y recomendaciones

Como conclusiones principales de lo expresado y documentado en este punto, cabe destacar:

- En las zonas de explotaciones mineras en la Argentina puede considerarse que las necesidades de agua necesarias para las explotaciones mineras son muy inferiores en relación con las disponibilidades de agua existentes, y que su uso no compromete en cuanto a la cantidad, los usos competitivos aguas abajo de los emprendimientos. Por lo tanto, en lo que respecta a la cantidad de agua que usa y podría usar la minería metalífera en las zonas de interés minero, no existen en general conflictos en cuanto a la cantidad disponible del agua, estando el consumo de la minería debajo en general del 2% del agua disponible en el peor de los casos, y más aun teniendo en cuenta que emprendimientos modernos con una adecuada intervención de la ingeniería en todas las etapas de su desarrollo, permiten un fuerte reúso y mantener acotado el uso.
- La operación responsable de proyectos mineros puede, a través de los medios que le ofrecen la tecnología y la ingeniería, minimizar la contaminación del agua mediante el uso de una variedad de enfoques de control de fuentes, entre ellos:

- limitar la infiltración de aire y agua a los residuos de lixiviación de ácidos/metales y materiales extraídos,
- recoger y tratar el agua influida por la mina lo más cerca posible de la fuente,
- controlar cuidadosamente la descarga de aguas pluviales influidas por la operación minera y aguas tratadas de la propia operación al medio ambiente,
- establecer sistemas de gestión de calidad del agua en cada una de las etapas de los emprendimientos mineros.

Tener un control por parte de las autoridades, con participación comunitaria, con las mejores prácticas de auditorías profesionales e independientes, tanto a cargo de empresas sin conflicto de interés con las operaciones mineras, como por autoridades elegidas por capacidad y antecedentes, y adecuadamente remuneradas.

En definitiva, con un adecuada intervención de las ramas de la ingeniería y sus ciencias conexas correspondientes en las etapas de planificación, diseño, evaluación del impacto ambiental, construcción, operación y cierre de los emprendimientos mineros, aplicando criterios holísticos y adoptando las mejores prácticas internacionales, para la gestión y control, se puede asegurar que los emprendimientos mineros tengan efluentes que no produzcan daños ambientales o afectación de los usos competitivos agua abajo, como los de cualquier actividad industrial moderna.

En cuanto a las recomendaciones respecto a los temas del Agua relativos a la Minería, que la ingeniería puede y debe realizar a dicha actividad, la principal es que las partes interesadas (empresas, autoridades, reguladores, legisladores, organismos de financiación, etc.) adopten en todas las explotaciones mineras las buenas practicas internacionalmente desarrolladas y aceptadas por los organismos más serios tales como la OECD, el UN Global Pact y los Principios de Ecuador exigen.

Las principales son:

- La Gestión del Agua según la Iniciativa para la Aseguramiento Responsable de la Minería (IRMA por sus siglas en inglés: Initiative for Responsible Mining Assurance)
- Las normas ISO 46001:2019 «Sistemas de gestión de la eficiencia del agua - Requisitos con orientación para su uso» tendientes a:
 - Reducir: en este punto se pretende usar procesos y equipos que usen el agua eficientemente y también que permitan monitorear su uso y detectar fugas.
 - Reemplazar: hay casos en los que no es necesario utilizar agua dulce superficial o subterránea, y se puede reemplazar por agua de mar o agua salobre.
 - Reutilizar: simplemente consiste en volver a utilizar el agua siempre que sea posible y no desperdiciarla una vez haya sido usada.

- La evaluación sistemática y comparable de la Huella de Agua o Huella Hídrica, según norma ISO 14046, basada en la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), también estandarizada por la ISO 14040 y 14044,

La realización de Auditorías Técnicas Independientes incluyendo la gestión del agua, según las normas ISO 19010 e ISO 19011 “Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión”, con participación comunitaria



Gestión de residuos sólidos, efluentes líquidos y gaseosos

La actividad minera moviliza gran cantidad de minerales debido a la baja ley o proporción en la que se encuentran los metales en cada mineral a procesar, a lo que se agrega la ganga que aporta la roca que lo contiene. Las leyes que la literatura menciona como usuales son del orden de los gramos por tonelada en el caso de los minerales que contienen oro, de los 100 gr/tn en los minerales que contienen plata, del orden del kg/tn para los minerales de cobre, molibdeno y uranio y de los 500 kg/tn, para el hierro y el aluminio.

Adicionalmente, la dificultad de encontrar nuevos potenciales yacimientos a minar es cada vez mayor, ya que las leyes de los minerales tienen una tendencia declinante, lo que significa que los estudios de prefactibilidad y factibilidad resultan más complejos. En el caso que se hayan sorteado esas dos fases y se aborden las etapas de construcción y explotación en el diseño del proyecto se deberá contemplar, necesariamente, la gestión de los remanentes de los minerales de baja ley o rocas inertes, que serán separados del proceso de producción.

El método de minar también tiene su influencia en la cantidad y tipo de residuos y emisiones a gestionar. El minado a cielo abierto está utilizado en casos de menas cerca de la superficie, para minerales de baja ley y la operación de extracción no es selectiva.

En cuanto a la minería subterránea, se aplica en depósitos de relativamente alta ley y la extracción es más selectiva que la de cielo abierto. En este caso, la cantidad de residuos que se generan es menor y como también las emisiones a la atmósfera, pero se incrementan los riesgos para el personal de operación.

La minería es un proceso electro-intensivo. Entre otros factores, el tipo de fuente de energía que se utilice condiciona fuertemente la magnitud y tipo de emisiones gaseosas y particuladas que se generen. Se hacen más adelante los comentarios correspondientes a los factores de emisión.

8.1 Sectores o procesos unitarios que pueden originar residuos o emisiones

En las etapas previas a la puesta en operación, es decir, las de relevamiento preliminar, prospección, pre-factibilidad y factibilidad, los residuos están asociados a los cateos y perforaciones que permiten verificar las características mineralógicas del recurso, su disposición areal y en profundidad, y a cuantificar las reservas. Al mismo tiempo que se obtienen las respuestas específicas que hacen a la viabilidad económica del proyecto, se relevan las condiciones del entorno ambiental y social del sitio y se inicia la fase de diseño y planificación en el sentido amplio. Los residuos y emisiones asociados a esta fase no suelen ser importantes y provienen de la movilización del equipamiento y del personal, de la apertura de vías de acceso temporarias y del empleo eventual de explosivos, si correspondiere.

Cuanto mejor se conozca el subsuelo, la actividad será más eficiente en el uso de la energía en términos de tonelada de producto elaborado, y seguramente menor será la cantidad de ganga o minerales de baja ley a gestionar. Con la utilización de la geología espectral se ha podido optimizar el diagnóstico y, por ende, la selección de la metodología extractiva y las tecnologías a aplicar en las etapas del proceso metalúrgico y en la instrumentación de las medidas de prevención de las condiciones laborales y de la protección ambiental.

A partir de esa etapa tan importante desde el punto de vista socio-ambiental y obtenidos los permisos y habilitaciones de las autoridades competentes, se procede a la construcción de los accesos vía terrestre, al acondicionamiento topográfico del sitio y a la construcción de las estructuras constitutivas de la planta de producción, de las líneas de transmisión de energía, de las oficinas, depósitos de materias primas y de almacenamiento de explosivos y combustibles, talleres de reparaciones, de salas de atención médica, de alojamiento permanente y campamentos temporarios y de las obras de captación, conducción, tratamiento, recirculación y distribución de las aguas para uso doméstico e industrial y las de recolección, depuración y disposición final de residuos sólidos, líquidos y de las emisiones a la atmósfera.

Si bien durante la etapa operativa se podrán efectuar adecuaciones y modificaciones en las tecnologías y procesos seleccionados en el diseño y planificación originales, es fundamental tener en cuenta desde el comienzo, las mejores tecnologías disponibles a los efectos de minimizar en lo posible, los indicadores de consumos de energía, del recurso hídrico y del nivel del riesgo laboral y ambiental asociado, respecto a la unidad de producción.

A partir de la puesta en marcha del minado propiamente dicho se originan los llamados “residuos mineros masivos”, según la jerga del sector y que son provenientes de:

- Extracción del mineral de la roca.

- Transporte del material al área de trituración, almacenamiento y molienda
- Separación sólido líquido por flotación, lixiviado, concentración por gravedad, ósmosis inversa, según corresponda.
- Concentración y refinado por procesos pirometalúrgicos-tostado, calcinación o fundición, según corresponda.
- Refinación por electrólisis
- Transporte de los productos procesados

Las características fisicoquímicas y la cantidad de residuos a gestionar serán dependientes de cada proyecto en particular. Una clasificación general que suele hacerse de los *residuos masivos* para identificar su fuente es la siguiente:

- Roca estéril
- Minerales de baja ley
- Mena residual de minerales tratados por lixiviación en pilas
- Escorias de procesos térmicos
- Relaves

A este listado deben agregarse los residuos originados en forma diaria, por ejemplo, los generados por la población de trabajadores (residuos sólidos domésticos), en la operación de las unidades de tratamiento de agua y de desagües cloacales y en las instalaciones complementarias ya señaladas (talleres, unidades sanitarias, almacenamiento y despacho de combustibles, etc.).

Adicionalmente pueden producirse esporádicamente, residuos o efluentes derivados de fenómenos meteorológicos (precipitaciones pluviales o nivales, o vientos huracanados) o sísmicos, accidentes o incidentes de significación que ameriten la puesta en práctica del plan de contingencia ante emergencias y los producidos durante los simulacros que se efectúen en cumplimiento del programa de capacitación del personal.

8.2 Sistemas de tratamiento y disposición de los residuos y emisiones

Los procesos mineros generan grandes volúmenes de residuos que, en su gran mayoría, permanecen en el sitio aún luego del cierre de la mina. Algunos de ellos como resultado final del procesamiento del mineral (ej. los relaves), y otros como descarte de ese procesamiento (ej. estériles, roca triturada de baja ley). Tanto unos como los otros tienen posibilidades de lixiviar metales u otros compuestos de riesgo para la salud humana y el entorno, si no se adoptan las medidas de gestión adecuadas.

Para afrontar esa situación es condición indispensable, disponer de un sistema de gestión del equipamiento con la mejor tecnología disponible (BATs) y de personal capacitado para aplicar los protocolos estandarizados, tanto para situaciones operativas rutinarias, como para las emergencias.

Como parte del sistema de gestión es fundamental disponer de una red de vigilancia de calidad de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, y de la calidad del aire y de los suelos en el entorno al sitio, a los efectos de detectar modificaciones en la Línea de Base Ambiental (LBA), previa al inicio de las operaciones. La red de vigilancia de la calidad de los recursos hídricos debe contar con perforaciones de control, estratégicamente ubicadas, para detectar cualquier migración de contaminantes, cuya fuente puedan ser los acopios de residuos.

8.2.1 Mejores tecnologías disponibles (BATs) y mejores tecnologías aplicables (BAPs)

El conjunto de tecnologías seleccionadas para el procesamiento del mineral, juntamente con las características geoquímicas de éste, definirán con aproximación las características físicas y químicas de los residuos a gestionar. Iniciada la etapa operativa, será necesario monitorear la evolución de esas características para cada tipo de residuo.

Tanto para los residuos del proceso de minado, como para los originados en las instalaciones complementarias, puede recurrirse a tecnologías sugeridas en publicaciones técnico-científicas producidas por institutos de investigación universitarios especializados que van recogiendo las experiencias operativas de empresas del sector y que permiten conocer y actualizar las Mejores Tecnologías Disponibles (BAT) de depuración y disposición de los residuos, con especificidad en la actividad minera. A partir de ellas, corresponde en cada sitio en particular, elegir la que sea aplicable (BAPs), privilegiando aquellas que minimicen los riesgos ambientales, se encuadren dentro de los códigos de buenas prácticas y a su vez, permitan cumplir con las regulaciones referidas a estándares de calidad de los vertidos, de las emisiones y de la gestión de los residuos en general.

En el sector minero, la investigación y difusión de estas tecnologías se ha focalizado tanto en la optimización de los procesos unitarios empleados en la etapa de producción, como en la gestión de los relaves, como consecuencia de las numerosas fallas de los diques de contención de estos a lo largo de la historia. Las medidas a adoptar son, en algunos casos, obligatorias en cuanto están incorporadas a las regulaciones nacionales o locales, o voluntarias en tanto constituyen guías o códigos de buenas prácticas, elaborados por asociaciones empresarias en colaboración con entes nacionales o internacionales. Ejemplo de códigos voluntarios a los que pueden adherirse las empresas es el Código Internacional para el Manejo del Cianuro, el IRMA-Standard for Responsible Mining – IRMA –STD-001 de junio de 2018.

El detalle que sobre el cierre y post-cierre de la mina tiene la publicación del SENAGEOMIN – Ministerio de Minería de Chile (junio de 2018) respecto a las normativas internacionales de diseño, construcción, operación, cierre y post-cierre de depósitos de relaves, merece ser consultada a la hora de proceder a regular la gestión de todas las fases del proceso minero.

En los puntos siguientes se presentan los criterios para la gestión de los residuos teniendo en cuenta las sustancias químicas de uso habitual y que se destacaron en el punto 4.1 donde se mencionaron los recursos tecnológicos para el control de estas. El énfasis se puso en los residuos específicos de la actividad minera. La presentación está organizada según el tipo de residuos a gestionar en función de la clasificación incluida en el punto 4.5.1, dando prioridad a los relaves teniendo en cuenta la importancia de la adecuada gestión del riesgo ambiental inherente a su tratamiento, disposición y control.

8.2.2 Relaves mineros

El término relaves se aplica a todo desecho minero producto de la concentración de minerales mediante el método de flotación en el que se utiliza agua, aire y sustancias químicas aglutinantes. El Servicio Geológico Minero de Chile (SERNAGEOMIN), ha transcritto en su glosario la definición de relaves y la de embalses de relaves, tal como se establece en el Decreto Supremo 248.

La legislación chilena define relaves como: “Suspensión de sólidos en líquidos formando una pulpa, que se generan y desechan en las plantas de concentración húmeda de especies minerales que han experimentado una o varias etapas en circuito de molienda fina. El vocablo se aplicará también a la fracción sólida de la pulpa que se ha descrito precedentemente.

Asimismo, el decreto definió al depósito de relaves como: “Aquel depósito donde el muro de contención está construido con material de empréstito y se encuentra impermeabilizado en el coronamiento y en su talud interno. La impermeabilización puede estar realizada con un material natural de baja permeabilidad y de material sintético como geomembrana de alta densidad. Se aplica también a aquellos depósitos ubicados en alguna depresión del terreno que en que no se requiere la construcción de un muro de contención.”

El análisis de las características estructurales y de diseño del embalse es tratado en el punto 9 y corresponde aquí incursionar acerca de las características de los residuos que deben embalsarse y en particular las fisicoquímicas que le confieren, o no, estabilidad química. En caso de que el depósito referido no tuviera estabilidad química se producirían transformaciones que pueden provocar, entre otros riesgos, la falla de la estructura de contención.

El Servicio Geológico Minero de Chile, en su guía metodológica del 2015, estableció como condición esencial, el mantenimiento de la *estabilidad química del material del relave (y del mismo modo de los residuos inertes y escombros de baja ley)*, durante toda la vida útil

de la mina y aún a posteriori de su cierre. De no procederse de esa manera, la interacción entre los residuos y los factores ambientales puede dar a lugar a la formación de drenajes mineros alcalinos o, más frecuentemente, a drenajes ácidos. En los yacimientos metálicos de oro, plata, cobre, hierro, zinc y plomo los factores ambientales que intervienen, entre otros, son el oxígeno atmosférico y el potencial de óxido-reducción (pOR) del agua contenida en el relave, o incorporada al mismo, por las precipitación pluvial o nival. Son primordiales en el proceso de oxidación de los sulfuros que originalmente integraban el mineral minado y que terminan como parte constitutiva del relave.

La pirita (sulfuro de hierro), muy abundante en los minerales, parece jugar un papel muy importante en el proceso de inestabilidad química, generando drenajes ácidos, pero según la bibliografía, otros sulfuros pueden intervenir en el mismo sentido. Los agentes neutralizantes que pueden controlar químicamente esa acidificación son los carbonatos, los silicatos y las arcillas.

La elección del agente neutralizante más apropiado deberá ser investigado caso por caso, a escala laboratorio o piloto, como parte del diseño general del proceso minero, dada la complejidad de las reacciones fisicoquímicas que pueden producirse, las que eventualmente, pueden dar lugar a la generación de sustancias, que suelen no ser totalmente estables. Las condiciones de estabilidad química deben lograrse en las unidades de tratamiento previas al vertido en el embalse de relave y controlada su eficacia con un monitoreo permanente, como ya se indicó.

Un objetivo primordial de la gestión de residuos es evitar la generación del drenaje minero (DM), que puede ser alcalino (DMAL), drenaje minero ácido (DMA) o eventualmente neutro (DMN), cualquiera sea la fuente que lo origine. La evolución del pH hacia valores altos (> 7) o bajos (< 7) dependerá de los componentes químicos del mineral en explotación, que condiciona los contenidos del residuo, y de la interacción con los factores ambientales. En esta evolución participan procesos de oxidación química y aún biológica, la que se puede producir en cuanto además de oxígeno o agentes oxidantes, los microorganismos dispongan de nutrientes (nitrógeno y fósforo).

Ante la posibilidad de que, de todos modos, se produzca una inestabilidad química, los sitios seleccionados deberán estar provistos de barreras físicas para evitar la migración de compuestos químicos potencialmente riesgosos, sea por infiltración, por escorrentía superficial o por evaporación. La vigilancia de estas potenciales migraciones deberá efectuarse mediante la operación de una red de monitoreo diseñada al efecto.

Respecto a las fallas que han ocurrido en los embalses de relave tomó estado público recientemente una base de datos con la información de 364 fallas producidas entre el año 2015 y el 2020 inclusive (Earthworks.org: La seguridad ante todo-Junio 2020). Más recientemente informaciones periodísticas dieron cuenta de fallas en la República Federativa de Brasil en 2019 (mina de hierro en Córregodo Feijao de Vale) y en China en marzo del 2020 (mina de molibdeno). En ambas se reportaron daños ambientales importantes y

numerosas muertes, situación que pone de relieve la importancia del correcto diseño y de los estrictos controles operativos de los embalses de relaves.

Las ONGs Earthworks y Miningwatch Canadá propician la adopción de 15 (quince) pautas para minimizar las posibilidades de fallas en todo el mundo. Por otra parte, el International Council on Mining and Metals (ICMM), el Programa de Naciones Unidas para el Ambiente (PNUMA) y la Organización PRI (Principles for Responsible Investment), publicaron recientemente (05/08/2020), el Borrador Final del “Estándar Global de Gestión de Relaves para la industria minera”. (GRIDA-Towards zeroharm compendium-GlobalTailings Review.org-05-08-2020)

En primera instancia respecto al porcentaje de sólidos contenidos en el residuo y los agrupa en tres tipos:

- Embalses de relaves “convencional”, en los que se aceptan residuos sin haber pasado por un espesador de barros y que son contenidos por un dique de contención construido al efecto.
- Embalses de relaves sometido a una etapa de espesamiento de alta densidad, con ayuda de coagulantes, llegando a un lodo de consistencia viscosa con un límite elástico en el rango de 40 Pa a 200 Pa. Puede ser contenido por un dique más pequeño o bien en una depresión natural, aprovechando las pendientes topográficas.
- Embalses de relaves filtrados, con apariencia de un suelo, que admite compactación y pueden auto contenerse en pilas rodeadas de zonas compactadas.

ESTADO	LÍMITE ELÁSTICO Pa	EQUIPAMIENTO	MÉTODO DE TRANSPORTE
SIN ESPESAR	0	NINGUNO-PRODUCTO SURGIDO DE LA PLANTA DE PROCESAMIENTO	TUBERÍAS TÍPICAMENTE UTILIZANDO BOMBAS CENTRÍFUGAS
CON ESPESADO	0-40	ESPESADORES CONVENCIONALES CON USO DE COAGULANTES	TUBERÍAS TÍPICAMENTE UTILIZANDO BOMBAS CENTRÍFUGAS
ESPESADO DE ALTA DENSIDAD	40-200	ESPESADORES DE ALTA DENSIDAD CON USO DE COAGULANTES	TUBERÍAS UTILIZANDO BOMBAS CENTRÍFUGAS O DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO
CONSISTENCIA VISCOSA	>200	ESPESADORES DE CONO PROFUNDO O COMBINACIÓN DE ESPESADO Y FILTRADO	TUBERÍAS. TÍPICAMENTE UTILIZANDO BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO
FILTRADO	NO APLICABLE	FILTROS DE VACÍO O FILTROS PRENSA	TRUCKS O CINTAS TRANSPORTADORES

Sumario de tecnologías de deshidratación de relaves

A medida que el relave que se incorpora al embalse es deshidratado para disminuir su contenido de humedad, se reduce sustancialmente la superficie necesaria a destinar al mismo y se mejoran las posibilidades de lograr su estabilidad química. Podría entonces aconsejarse el empleo preferente del filtrado lo que, por razones técnicas, podría no ser factible. Los estudios reológicos del relave pueden ser condicionantes del grado de deshidratación que se puede lograr.

En el caso de que no pudiera conseguirse una deshidratación significativa, la alternativa es siempre la de instalar un sistema de recirculación de agua con alta tasa de reúso, para minimizar las extracciones de agua de reposición y, además, en algunos casos, con el beneficio adicional de la recuperación de metales. Esa recirculación, colabora inclusive en el control de las migraciones de contaminantes desde cada sitio de almacenamiento.

En segunda instancia en el informe MEND ya citado se hace una clasificación física de los relaves, según sea la granulometría del material resaltando la influencia que la distribución de tamaños del material del relave tiene en las posibilidades de deshidratación de este; y en tercera instancia, una clasificación geoquímica, que contiene cuatro tipos de relaves, según su potencialidad para generar drenajes ácidos (DMA).

Esta última clasificación es muy importante a los efectos de adoptar las medidas apropiadas para su gestión. Los ejemplos vinculados a la minería metalífera están categorizados como relaves ácidos (que producen DMA) y con elevado poder lixivante de metales, o bien se encuentran entre los que tienen una alta probabilidad de provocarlos, si se dan condiciones de oxidación, lo que también produce una lixiviación de metales. Las otras dos categorías (relaves neutrales o alcalinos), corresponden a proyectos mineros no metalíferos.

Como consecuencia de lo anterior, los parámetros que resultan de interés para seguir su evolución tanto en la fracción sólida como en la líquida intersticial del relave son tales como: As, SO_4^{2-} , Cd, Cu, Ni, Mo, CN^- , Se, Pb, Zn (se deben mencionar los metales, no darlos por sentado. Esto será leído por un no experto), en el caso de minas de oro, plata o cobre, a los que se deben agregar el uranio y el radio (Ra_{226}) para las minas de uranio.

En la ya citada "Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras-2015" del SERNAGEOMIN- Chile, se describe el proceso Generador del Drenaje Minero (DM) y lo divide en tres etapas:

En la etapa 1 se produce la oxidación de la pirita (FeS), lo que produce una disminución del pH del relave desde valores cercanos al neutro (pH 7) hasta valores cercanos a 4,5.

A partir de la etapa 2 se suma la oxidación del hierro ferroso a férrico y su precipitación en forma de hidróxidos con lo que el pH puede descender a 3,5 con la incipiente aparición de bacterias ferruginosas.

En la etapa 3 se incrementa la velocidad de la reacción bioquímica por la presencia de una alta concentración bacteriana aeróbica, y el pH alcanzando valores tan bajos como $\text{pH} = 2$.

En la etapa operacional del proyecto minero, un relave con contenido de sulfuros no debería producir ningún proceso de oxidación de esos sulfuros si la gestión es la adecuada. Caso contrario, en el relave se pueden encontrar altos valores de sulfatos (valores usuales en el rango de 1500 a 2000 mg/L y también un listado de metales pesados producto de la lixiviación en el propio ambiente del relave).

Cuando cesa la fase operacional del proyecto no se siguen incorporando relaves ni agua al embalse, por lo que suele producirse en las capas superiores una zona no saturada y debido a ello, el oxígeno atmosférico tiene incidencia en la continuidad del proceso de oxidación que puede durar varios años y en el que continúa la producción de DMA.

La estratificación granulométrica que se produce en el embalse (las partículas finas migran hacia las partes inferiores y las más gruesas permanecen en los sectores cercanos a la superficie) es un factor que favorece la incidencia del oxígeno atmosférico. En esa situación, el viento produce erosión en la superficie, transportando el material particulado a distancias que pueden ser superiores a los límites del sitio asignado al proyecto.

Algunas de las reacciones que se producen en su evolución hacia su acidificación son exotérmicas, por lo que favorecen el incremento de la densidad bacteriana. Si a su vez los microorganismos disponen de nutrientes (ej.: N,P) los procesos se aceleran notablemente.

En este punto corresponde hacer referencia a las posibilidades de neutralizar la generación de DMA.

Las reacciones de neutralización pueden darse por la presencia de carbonatos, silicatos y arcillas. Entre los primeros la calcita (CO_3Ca) y la dolomita $\{\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2\}$, entre los segundos los feldespatos y micas y entre las arcillas la caolinita, son las más eficaces en la amortiguación de la tendencia hacia la acidificación. En este proceso los carbonatos pasan a bicarbonatos (HCO_3^-) y ácido carbónico (H_2CO_3), lo que suele derivar en la generación de minerales secundarios carbonatados.

Como se advierte, es muy compleja la interpretación y control de las reacciones que originan el DMA. El embalse de relaves es un ambiente heterogéneo en profundidad y también arealmente. Simultáneamente pueden producirse distintas reacciones según el sector que se analice. El abordaje preventivo es fundamental en tanto pueden seleccionarse algunas tecnologías de procesamiento más favorables, pueden incorporarse unidades de tratamiento del relave para incorporar agentes neutralizantes con anterioridad a su vertido al embalse y aplicar un filtrado al relave para deshidratarlo todo lo posible, entre otras medidas. Sin embargo, eso no sustituye a la implantación de una red de monitoreo y control de las posibles migraciones de contaminantes, vía derrames superficiales, en sue-

los o cursos de agua, vía acuíferos subterráneos o a partir de evaporación o transporte por erosión superficial a la atmósfera. La red de pozos de monitoreo del agua subterránea, (cantidad y distribución) debe determinarse a partir del estudio geohidrológico y una buena parte de ellos deben construirse y monitorearse, previo al inicio de la operación de la mina, como parte de la determinación de la línea de base ambiental y de los niveles piezométricos de referencia.

Consecuentemente, a cada una de esas posibilidades de migración debe corresponderle un protocolo de gestión. Es prioritaria la disponibilidad de equipamiento apropiado para reciclar o recolectar los volúmenes que sean necesarios y depurarlos hasta que se obtengan las concentraciones límites permisibles de vertido o de disposición final, según la regulación vigente.

Para las posibles migraciones a la atmósfera, la generación de una cobertura preventiva suele ser la medida empleada cuando las condiciones meteorológicas del sitio lo ameritan.

La disposición de relaves en los socavones de pozos de minas superficiales o en túneles de minas subterráneas es una posibilidad que amerita un exhaustivo análisis de la hidrogeología del sitio y la certeza de que se hubieron agotado todas las posibilidades de que se produzcan a posteriori inestabilidades químicas que pudieran provocar la generación de drenajes mineros de cualquier tipo.

8.2.3 Otros residuos masivos

La gestión de los residuos clasificados como roca estéril, minerales de baja ley, y mena residual de minerales tratados por lixiviación en pilas, tiene características similares a las descritas para los relaves, ya que las reacciones fisicoquímicas que se producirán en éstos siguen las mismas tendencias ya señaladas en el punto anterior. Las condiciones meteorológicas- precipitaciones, vientos y cambios de temperatura- condicionarán la producción de escorrentías líquidas o transporte eventual de contaminantes, que deberán ser minimizados.

La elección del sitio, seleccionado con la fundamentación correspondiente, debe ser aprobado por la autoridad regulatoria competente. Su ubicación es esencial a los efectos de la eficacia de las medidas adoptadas para evitar su migración. Los estudios topográficos, geológicos, hidrogeológicos, previos a la fase operativa serán fundamentales en esta elección. Generalmente se establece un sistema de control periódico que incluye determinaciones de calidad del suelo en la zona de influencia del sitio.

En cuanto a las menas tratadas por lixiviación en pilas, se les debe realizar controles estrictos, debido a sus características. Forman parte del proceso productivo cuando son sometidas a procesos tecnológicos de recuperación de los metales. Una vez finalizada esa etapa, pasan a engrosar los volúmenes de residuos masivos, con características propias de cada proyecto minero.

Las escorias de procesos térmicos, en general de mucho menor volumen que los ya citados, suelen ser tratados separadamente y las tecnologías aplicables tienen como objetivo el encapsulado en una matriz que impida su migración y puedan ser colocados en un sitio de disposición final, acondicionado especialmente y habilitado por la autoridad regulatoria.

En cuanto al tratamiento normativo de los residuos masivos mineros, algunos países los califican como residuos peligrosos, y otros como residuos de la industria minera o de la industria extractiva. En nuestro país no se los ha considerado como peligrosos, sin que ello signifique un desmedro de las pautas de gestión ya comentadas, que deben extenderse luego del cierre y post cierre de la mina.

El plan de cierre debe estar elaborado desde el inicio con el diseño conceptual, contemplando los aspectos ambientales y sociales involucrados, tal como se comenta en el punto 10.

8.2.4 Efluentes líquidos - Características y tecnologías empleadas

Efluentes líquidos se pueden producir en distintos sectores, tales como los siguientes:

- En las unidades del proceso hidrometalúrgico del mineral
- En las unidades de tratamiento de agua y de depuración de desagües cloacales
- En talleres de mantenimiento y demás instalaciones complementarias (ej. almacenamiento de combustibles) y
- Potenciales derrames mineros de relaves y de otros residuos masivos
- Escorrentías superficiales derivadas de precipitaciones pluviales o nivales

Las características fisicoquímicas y biológicas de cada efluente y los límites permisibles establecidos por las regulaciones definirán las tecnologías a emplear para su depuración y posterior vertido.

En el desarrollo del punto 4 se detallaron las tecnologías vinculadas al procesamiento de los minerales a partir de su trituración. Se emplean unidades de flotación con la adición o no de aire, de oxidación química para la destrucción de los cianuros, de adsorción en carbón activado y posterior elusión de los metales adsorbidos, de coagulación-floculación y espesado convencional o de alta capacidad, de filtrado al vacío en tambores rotativos o de banda continua y en filtros prensa.

El agua utilizada en estas etapas suele recircularse para disminuir en todo lo posible el volumen de reposición y, de esa manera, mejorar el indicador de m³/tn de metal producido. A este circuito pueden añadirse los volúmenes de derrames mineros (DM) recuperados en los pozos de control de posibles migraciones. Para el tratamiento de depuración previo al vertido, seguramente se deberá recurrir a tecnologías que eliminen o reduzcan

sustancialmente el contenido de metales (arsénico, cadmio, plomo, cobre, cinc, cobalto), ecotóxicos (ej.: cianuro), y se corrijan la salinidad, medida en sólidos disueltos totales (SDT), el pH y los sulfatos, entre otros parámetros.

Para este grupo de efluentes será necesario recurrir a unidades de tratamiento fisicoquímico como la precipitación química, el intercambio iónico, la osmosis inversa o la electrodiálisis, previo ajuste de las variables que estas unidades requieran. Los precipitados o lodos concentrados obtenidos deberán ser sometidos a un proceso de micro-encapsulado o algún tipo de inertización, previa deshidratación por algunos de los métodos citados previamente. Particularmente, en aquellos casos en donde se emplea cianuro, su destrucción debe tener una atención específica. Para este compuesto, que constituye la preocupación de las comunidades -a tal punto que en el país hay provincias que han prohibido su utilización en los proyectos mineros- es aplicable la oxidación química en un medio alcalino (pH >8,5-9,0) mediante la utilización de cloro o compuestos del cloro, u otros oxidantes como el ozono o el peróxido de hidrógeno. Todos estos procedimientos son de habitual aplicación en otros sectores industriales. En la oxidación con cloro, el cianuro se convierte de cianato y con el agregado en exceso de cloro concluye con la generación de N_2 y CO_2 . Sin embargo, en los procesos mineros debe contemplarse que si bien es usual que se lo adquiera y reciba en la mina, como sólido o solución de NaCN o $Ca(CN)_2$, el cianuro es muy reactivo y puede formar complejos metálicos o ferrocianuros de potasio o ferro cianuros de cobre. Por tal motivo la estequiometría de la reacción de oxidación y la elección del oxidante deben hacerse caso por caso.

Los efluentes cloacales o pluviocloacales requieren en general de un tratamiento biológico (aeróbico o anaeróbico) que es conveniente realizar independientemente de los mencionados precedentemente. Del mismo modo, los efluentes que se generen en las instalaciones de almacenamiento o distribución de combustibles y talleres de mantenimiento requieren disponer de una unidad de separación de hidrocarburos, previo a su vertido, lo que se logra con unidades de flotación con coadyuvantes que mejoran la eficacia de esta.

Los parámetros de diseño de las unidades mencionadas han sido mejorados significativamente en las últimas décadas, lo que puede constatarse en los manuales de aplicación de las principales empresas proveedoras del equipamiento.

8.2.5 Emisiones a la atmósfera - Características y tecnologías empleadas

La identificación y gestión de las emisiones gaseosas en los proyectos mineros requieren de un análisis particularizado. Dentro de este concepto se incluyen las emisiones gaseosas y las de material particulado provenientes de fuentes puntuales (fijas y móviles) o distribuidas.

Hay una estrecha dependencia de los factores de emisión a la atmósfera respecto del proceso de minado que se utilice. La factibilidad económica del proyecto, en la gran mayoría de los casos, está determinada por el diseño seleccionado para la metalurgia y

beneficio del o de los minerales minados. La estrategia de gestión de las emisiones se suele adecuar a posteriori.

En las dos últimas décadas, las investigaciones han hecho foco en el grupo de gases de efecto invernadero (GEI), atento a los compromisos del Acuerdo de París, con el objetivo de mitigarlos. Entre los institutos que han publicado sus propuestas, se encuentra el Centro Warren de la Universidad de Sydney, Australia, en el que se incluyen resultados de una investigación encargada a ese Centro por la Asociación Australiana del Cobre (ICAA, según sus siglas en inglés) y publicada en mayo del año 2020.

Algunas de sus conclusiones pueden extrapolarse al procesamiento de otros minerales

- Las emisiones de GEI son aproximadamente un 50% más grandes en una explotación subterránea que en una superficial. Eso es debido a la energía empleada en esos casos, en la ventilación del ambiente donde se realiza la extracción del mineral, en el transporte de este hasta la superficie, en el bombeo de agua de acuíferos que sea necesario extraer del túnel y en menor escala a la iluminación del frente de tareas y de áreas de circulación. El informe incluye una estimación de $3,5\text{tCO}_2\text{equiv/tCu}$ producido, para el caso de las minas subterráneas y de $2,3\text{tCO}_2\text{equiv/t Cu}$ para el caso de las minas de superficie. Estos valores son obtenidos de los informes de sustentabilidad de numerosas minas de cobre del mundo.
- No se advierten diferencias significativas en los porcentajes de emisiones de GEI entre los proyectos que aplican procesos hidrometalúrgicos y los que utilizan los pirometalúrgicos. Las diferencias pueden deberse a otros aspectos del proceso, como por ejemplo, el tipo de fuente primaria que se utilice en la provisión de la energía o al diseño general del sitio.

Las fuentes de emisiones de material particulado están diseminadas en el sitio intervenido por el proyecto y, prácticamente, participan todas las etapas del proceso, desde la extracción del mineral y su roca huésped, su trituración y molienda, las áreas donde se han almacenado estériles y la roca de baja ley en pilas, y también en cada transporte en seco de la mena a procesar o del resto de los residuos generados (la oración marca un desde pero no llega a ningún hasta y no me atrevo a meter edición porque podría cambiar el sentido). En cada caso, las condiciones meteorológicas (ej.: velocidad, frecuencia y dirección del viento), la topografía del sitio, entre otros factores, pueden incrementar el riesgo de dispersión de material particulado fuera de los límites del sitio.

Otras situaciones que pueden generar dispersión de partículas a las que pueden adherirse sustancias potencialmente riesgosas, son las fracturas de rocas mediante la utilización de explosivos. En estas oportunidades también pueden liberarse metales pesados u otros compuestos que requieren programar las mejores oportunidades climáticas para desarrollar esas actividades y, de todos modos, proceder a efectuar su control mediante monitoreo ambiental. A estas emisiones esporádicas deben sumarse las emisiones continuas o semicontinuas provenientes de los conductos de evacuación de la planta de trituración

y molienda, de los hornos de calcinado, tostado y fundición, de la central térmica de generación eléctrica si la hubiere y de los escapes de vehículos pesados de transporte de materiales.

Es posible estimar teóricamente este conjunto de emisiones, al momento del estudio de factibilidad, pero es a través de un programa de monitoreo diseñado ad-hoc para cada emprendimiento que se pueden disminuir las incertidumbres hasta un límite razonable y, además, verificar el cumplimiento de las regulaciones laborales y ambientales aplicables.

El listado y caracterización de fuentes colabora en la identificación de las oportunidades de mejoras en la huella de carbono del proyecto u otros indicadores de sostenibilidad.

Para el control de las emisiones de fuentes puntuales fijas pueden utilizarse las siguientes unidades de tratamiento:

- Para el control de material particulado: ciclones, lavado en scrubbers, filtros de manga o filtros electrostáticos
- Para la retención de gases con contenido de SO₂ (generalmente producido en la fundición y en el electro-refinado), aplicación de procesos de desulfuración (FDG) en torres de intercambio mediante lavado con lechada de cal, o en hornos mediante la inyección de piedra caliza. En ambos casos el subproducto es yeso.
- Para el control de emisiones que contengan metales sublimados, se realiza el enfriamiento de los gases (ej. en corrientes gaseosas con emisiones de Zn, As, Al)
- Para el control de emisiones que contengan volátiles orgánicos (VOCs), mediante la intercalación de un reactor conteniendo un adsorbente (ej.: Carbón activado). Puede recurrirse eventualmente a la combustión en lugar de la oxidación química. Este tipo de emisiones no es significativo en los procesos mineros de los metales analizados en este documento, salvo para el caso que se utilicen solventes en el proceso pirometalúrgico.

Del mismo modo que para los efluentes líquidos, los parámetros de diseño de las unidades mencionadas han sido mejorados en las últimas décadas a partir de la experiencia de su aplicación por parte de las empresas proveedoras del equipamiento.

Para el control de las emisiones de fuentes puntuales móviles (esencialmente vehículos a gas-oil, utilizados en el acarreo del material minado o de productos elaborados) correspondería analizar la posibilidad de reducir las emisiones de GEI a partir de su reemplazo paulatino por vehículos accionados por otros tipos de combustibles, o la incorporación de automatizaciones que mejoren su performance en cuanto a eficiencia energética.

Para el control de las emisiones desde fuentes dispersas o difusas las alternativas posibles serían el mantenimiento de la humidificación de la superficie de los embalses de relaves – generalmente ocupadas por material de granulometría fina para evitar la erosión eólica- o el tratamiento de las superficies del embalse de relaves mediante la cobertura

con inertes de granulometría apropiada para evitar esa erosión. La solución que adoptar será seleccionada según sean las características propias de cada proyecto.

8.3 Reúso de los residuos

Como ya se ha señalado, lo habitual hasta el presente es que, al cierre de la etapa operativa, los residuos permanezcan en el sitio donde se generaron y sean abandonados por las empresas operadoras pasando a ser pasivos ambientales que, generalmente, no están monitoreados. Esta aseveración es válida para nuestro país como para otros países de tradición minera, a juzgar por las informaciones que se derivan de artículos publicados por Institutos de Investigación Técnica-Científica (IITC), por ONGs con vocación en la protección ambiental o a partir de relevamientos realizados por organismos gubernamentales competentes. Esos pasivos abandonados quedan generalmente a cargo de los gobiernos o entes públicos si no se establecen cláusulas específicas en ocasión del otorgamiento de las concesiones o se incorporan a las regulaciones las precisiones respecto a las responsabilidades ante el abandono de una mina, o a partir del cierre de la etapa productiva.

Una tendencia que se viene manifestando en la última década, al menos, es la de analizar las posibilidades técnico-económicas de la reutilización de los residuos masivos mineros. Esa factibilidad se ve favorecida cuando, del material abandonado, pueden extraerse metales u otros materiales con cierto valor económico mediante procedimientos de “metalurgia de relaves” como se ha dado en llamar estas líneas de investigación, Según el IIGE se están investigando relaves con presencia de Mn, bauxita, Cu, Fe, Co, tierras raras o relaves ricos en fosfatos.

La reapertura de una actividad minera o la reprocesamiento de los residuos, en caso de ser económicamente viable, constituye sin duda una actividad ambientalmente atractiva.

A pesar de los resultados alentadores de estas investigaciones son muy pocos los casos en los que hay una aplicación a escala industrial y se refieren a la utilización de los relaves para obtener agregado para materiales de la construcción de infraestructura vial y para la fabricación de ladrillos u otros tipos de mampuestos de utilidad en la construcción. En cualquier caso, debe analizarse si, previo a la reutilización, es necesario acondicionar el material con tecnologías de fijación o micro-encapsulado de los metales u otros compuestos que estén contenidos en los fragmentos a recuperar.

Esta tendencia puede coadyuvar en la preparación del sitio intervenido por la mina y especialmente su entorno para que la comunidad pueda hacer uso del suelo, con distintos fines, a partir del cierre operativo. Para que esto sea posible es importante que, desde el momento en el que se diseña el proyecto de minado, se planifique y haya una previsión acerca del uso futuro del área intervenida. Esta previsión es, en la actualidad, una condición muy positiva en cuanto a la obtención de la licencia social.

8.4 Normativa específica aplicable a la gestión de las sustancias químicas

En el desarrollo del punto 4 se identificaron las sustancias que son empleadas en el proceso minero y pueden ser consideradas riesgosas y que, por tanto, están reguladas por normativa nacional e internacional. El listado se compone de las que se utilizan en alguna etapa del proceso a las que se agregan algunas que, por transformaciones de distinta índole, se generan durante la explotación.

Como ejemplo puede citarse entre las primeras:

- El nitrato de amonio ($\text{NO}_3 \text{NH}_4$) empleado en los explosivos
- El cianuro de sodio o de calcio (NaCN o $\text{Ca}(\text{CN})_2$) utilizado en el procesamiento de los minerales de plata y oro.
- El ácido sulfúrico ($\text{SO}_4 \text{H}_2$) empleado en disolución de Zn en separación de oro por proceso Merrill Crowe, en lixiviación de Cu y de U, el generado en el tratamiento de gases con contenido de SO_2

Entre las segundas se encuentran

- Los metales pesados contenidos en las menas y que se liberan en los procesos hidrometalúrgicos. El conjunto de metales a considerar se corresponde con los que integran el mineral a explotar y que no son objeto económico del proyecto.
- Los compuestos químicos originados y/o los elementos químicos contenidos en la mena y liberados, durante los procesos pirometalúrgicos (SO_2 , Zn, Hg, As, etc.)

La normativa de aplicación nacional se encuentra regulada por la Dirección Nacional de Sustancias y Productos Químicos (ratificada por Decisión Administrativa N° 262/2020). Para la determinación de los potenciales riesgos por la utilización de sustancias químicas se cuenta con la Ley 24051/92 de Residuos Peligrosos, el Anexo I de la Res. N° 195/97 de la Secretaría de Obras Públicas y Transporte, que clasifica y define las clases de mercancías peligrosas, la aprobación por ley de los convenios internacionales de: Basilea (Ley 23.922 del año 1991; Transporte Transfronterizo de Desechos y Residuos Peligrosos, Convenio de Róterdam (Ley 25278 del año 2000 Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos), Convenio de Estocolmo (Ley 26011 de 2005 Contaminantes Orgánicos Persistentes) y Convenio de Minamata (Ley 27356 del año 2017 sobre la eliminación paulatina del Mercurio).

8.5 Normativa aplicable a los residuos mineros

Las normas de protección ambiental en las actividades mineras han sido establecidas en la ley 24585, integrada como título complementario del Código Minero. Supletoriamente es de aplicación la Ley 24.051 sobre generación, manipulación, transporte y disposición

final de residuos peligrosos que tiene aplicación en sitios de jurisdicción nacional y en tanto se realicen transportes interprovinciales de los residuos.

Ya se comentó que, en algunos países, los residuos mineros son considerados en la legislación vigente como peligrosos y, en otros, no son calificados como tales. En nuestro país el criterio incorporado en la normativa es este último. De todos modos, corresponde hacer una distinción entre los residuos mineros masivos (ej.: roca estéril, minerales de baja ley, pilas de lixiviación agotadas) y los que se originan en actividades complementarias o son lodos de los diferentes procesos de tratamiento (?) realizados en la mina, que pueden ser categorizados como peligrosos.

Se puntualiza esta distinción a los efectos de recomendar una gestión independiente, unos de los otros, atento a los diferentes requisitos regulatorios que les son aplicables.

Las leyes de presupuestos mínimos promulgadas a posteriori de la adopción de la Constitución Nacional de 1994 también deben tomarse como base para las regulaciones jurisdiccionales. Por ejemplo, las leyes 25675 (LGA), 25831 de libre acceso a la Información Pública Ambiental, 25916 de gestión de los Residuos Sólidos Urbanos, y 127520 del año 2019 referida a Presupuestos Mínimos de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático Global.

Corresponde a cada jurisdicción dictar las normas de procedimientos específicos relativos a los requisitos ambientales para las autorizaciones a otorgar a quienes soliciten permisos de prospección, exploración, explotación, cierre y post cierre. Entre ellos, los referidos a la gestión de los residuos. Se indican, a título de ejemplo, las siguientes:

- Regulaciones sobre límites de emisión a la atmósfera, de vertidos a cursos de agua superficiales o subterráneos, de tratamiento y disposición de residuos sólidos y semisólidos en suelos, temporaria o permanente, según su origen y naturaleza.
- Estándares de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos (superficiales y subterráneos), del aire y de los suelos en el entorno al sitio del proyecto (línea de base y evolución en el lapso de todas las etapas del proyecto)
- Requerimientos de auditorías de cumplimiento de los estándares fijados para la gestión de los residuos, tanto interna, como de terceras partes.

8.6 Conclusiones y recomendaciones

Como resumen de lo indicado en cuanto a la gestión de residuos, efluentes y emisiones, se puede señalar que:

- Están disponibles las mejores tecnologías y equipamientos para su minimización, tratamiento, monitoreo y disposición, respetando las regulaciones específicas

y las herramientas procedimentales que brindan las diversas guías de buenas prácticas en aplicación actualmente.

- En la medida en que se diseñe y aplique un sistema de gestión que incorpore y acredite en todas las etapas del proyecto (aún en el post-cierre) la correcta implementación de estos recursos se disminuirá sustancialmente el riesgo de la producción de eventos no deseados y, a la vez, la generación de pasivos ambientales.
- Es esencial que las regulaciones sobre gestión de los residuos, aplicables a cada emprendimiento minero sean precisas y específicas al momento del otorgamiento de la concesión, tanto en lo señalado en los párrafos anteriores como en lo referido a la constitución de las garantías financieras apropiadas (seguros de caución, etc.) que cubran durante todas las etapas del proyecto los costos de las actividades de prevención y remediación que se incorporen en el Plan de Gestión Ambiental.
- Los alcances del Sistema de Gestión (SG) deben ser tales que se puedan afrontar tanto los riesgos de las operaciones de rutina como los de las emergencias que se puedan producir por causas naturales, como por errores humanos. El Plan de Contingencia que debe integrar el SG cumple en estos casos un rol esencial. Contribuye al desarrollo de este propósito el hecho que se disponga de la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), aplicable a la región donde se ubica el proyecto, aprobada por la autoridad regulatoria nacional, en coordinación con las jurisdiccionales.



Presas de relaves o diques de colas

9.1 Definición de residuos mineros: relaves y estériles

En el desarrollo de las operaciones mineras se producen dos grandes grupos de residuos sólidos:

- estériles de mina, y
- relaves.

Los estériles de mina están asociados a la fracción de la extracción que no posee concentraciones económicamente productivas de mineral, pero que por cuestiones operativas deben ser removidos para alcanzar la mena. Este tipo de residuos tiene una importancia particular en las extracciones superficiales donde los acopios de estéril han dado lugar al desarrollo de las estructuras de tierra más grandes del mundo.

Estos materiales se extraen en bloques del máximo tamaño posible y se depositan en áreas periféricas, de modo de evitar restricciones a la explotación del yacimiento. Estas pilas de material son comúnmente denominadas botaderos.

Por otro lado, la mena es procesada para extraer su mineral. El proceso involucra típicamente la trituración o chancado y molienda, y su procesamiento de separación en medios acuosos. El residuo resultante es denominado relaves, colas o jales y se caracteriza por su granulometría fina, tamaño arena o limo, y su contenido de humedad elevado al momento de su disposición.

Los relaves se clasifican de acuerdo con la concentración con que salen de la planta:

- relaves convencionales, con comportamiento fluido y contenido de sólidos del orden de 30%;
- relaves espesados – con viscosidad parecida a la miel – y contenido de sólidos 45%;
- relaves en pasta, con contenido de sólidos del orden de 60%;
- relaves filtrados, con humedades en el orden del 20% y comportamiento de suelo.

Existe un tercer tipo de residuo, intermedio, asociado a menas con leyes marginales, que suelen ser procesadas en pilas de lixiviación con un grado de molienda menos intensivo

y granulometría más gruesa. A grandes rasgos, estas pilas tienen un período activo en que conforman el proceso de la mina, y un período pasivo en que pasan a ser un residuo. Por esta razón, el grado de molienda de las pilas de lixiviación se determina en base a una ecuación que contempla flujos y tiempos de riego, recuperación y costos operativos, dando lugar a depósitos físicamente similares a los botaderos de estéril y químicamente similares a los depósitos de relaves.

La disposición de residuos mineros, y principalmente los relaves, ha adquirido una importancia que trasciende los enormes volúmenes de materiales producidos por las operaciones mineras. Desde el punto de vista de la ingeniería, algunas presas de relaves se encuentran entre las estructuras de tierra más grandes del mundo. Además de su implicancia en términos estrictamente ingenieriles, las presas de relaves reciben una intensa atención regulatoria y miramiento público.

Debido a su extensión y a la diversidad de sustancias potencialmente tóxicas que retienen, las presas de relaves son a menudo el principal objeto de la oposición pública a los proyectos mineros (Vick, 1950).

La planificación y diseño de depósitos de residuos mineros y presas de relaves es una empresa multidisciplinaria que requiere un enfoque amplio: la geotecnia, el diseño de presas de tierra, el comportamiento mecánico, hidráulico y geoquímico de estéril y relaves, los procesos metalúrgicos generadores de residuos, la hidráulica e hidrogeología de los depósitos, y los condicionantes ambientales.

9.2 Instalaciones para disposición de residuos

Los diferentes tipos de residuos se disponen en diferentes tipos de instalaciones.

- el material estéril se dispone en botaderos o se emplea para relleno de labores subterráneas;
- las pilas de lixiviación se convierten en botaderos cuando cesan sus procesos extractivos;
- los relaves convencionales se depositan en presas;
- los relaves espesados, en pasta o filtrados se acopian o se emplean para relleno de labores subterráneas.

Los relaves convencionales se bombean y transportan en tuberías desde la planta de procesos y se depositan hidráulicamente, en estado suelto, dentro de recintos cerrados por presas – las “presas de relaves”. Una vez depositados, los relaves segregan agua, que se acumula en superficie. Parte de esta agua se evapora, parte se bombea de vuelta a la planta de procesos, y parte se infiltra en el terreno del vaso.

Los relaves espesados, en pasta o filtrados sufren un proceso de concentración en el que se les extrae agua que vuelve a la planta de procesos. El contenido de agua remanente es suficientemente reducido como para permitir la disposición en espacios no limitados por presas, incluyendo labores subterráneas. El agua remanente no es recuperable: se evapora, se infiltra al terreno o permanece como humedad en el depósito.

Las presas de relaves no son presas de retención de agua porque almacenan sólidos; los botaderos y pilas de lixiviación no son terraplenes porque pueden ser químicamente activos. Estas diferencias significativas entre las presas de relaves y las presas de retención de agua, y entre los terraplenes y los botaderos, convierten la asimilación entre ellas – que es frecuente – en inapropiada. Las diferencias más evidentes son:

- la vida útil de las instalaciones;
- los materiales almacenados tienen actividad química;
- el material almacenado puede ser empleado para la construcción de las instalaciones;

La legislación que regula la actividad en países de tradición minera, y los lineamientos internos de las grandes empresas mineras (agrupadas, por ejemplo, en la ICMM), contemplan aspectos específicos de los depósitos de residuos, distintos de aquellos de las obras civiles:

- operación y control;
- geotecnia y geoquímica de los relaves;
- manejo, control y mitigación de riesgos;
- gobernanza, ambiente y sociedad;
- consideraciones para el cierre.

El método de disposición de relaves se diseña para que sea compatible con las condiciones específicas del emplazamiento, con la naturaleza física y química de los relaves, y con la operación de la mina – método de minado, tipo y volumen de procesamiento, disposición propiamente dicha, manejo de aguas y cierre. Por ejemplo, los relaves espesados, en pasta y filtrados requieren equipos para la extracción de agua cuya capacidad de producción es limitada, por lo que pueden no ser – todavía – una opción factible para grandes operaciones mineras.

9.3 Diseño de las presas de relaves

Las presas de relaves son instalaciones planeadas, diseñadas, construidas, operadas, cerradas y mantenidas luego del cierre. Su administración responsable requiere la evaluación y manejo efectivo de los riesgos asociados: salud, seguridad, ambiente y sociedad.

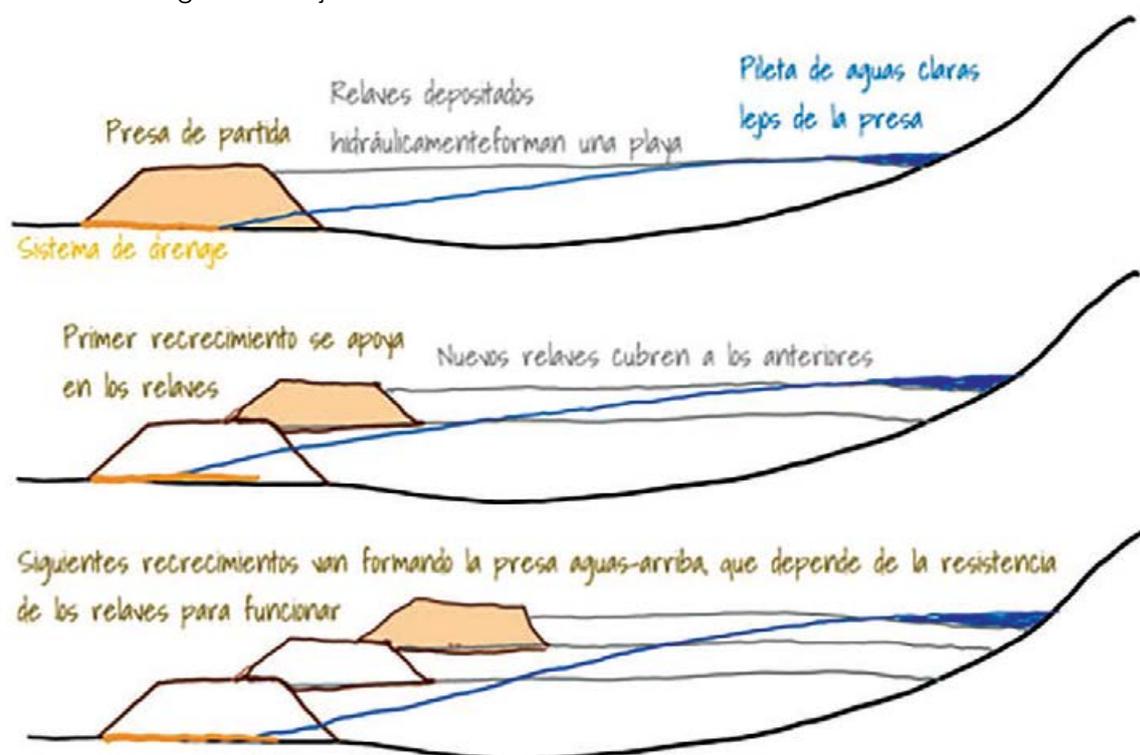
PRESAS DE RELAVES O DIQUES DE COLAS

Se distinguen tres tipos de presas para relaves depositados hidráulicamente, en función del método de construcción:

aguas arriba: se realiza una presa de arranque sobre la cual se van construyendo escalonadamente nuevos muros que elevan progresivamente el coronamiento aguas arriba sobre la playa de relaves previamente depositados;

aguas abajo: se realiza una presa de arranque sobre la cual se van construyendo escalonadamente nuevos muros que elevan progresivamente el coronamiento aguas abajo;

línea central: este método presenta una solución de compromiso entre los dos métodos anteriores. Implica mantener la cresta del dique en la misma posición horizontal, con elevación a lo largo de un eje vertical.



Esquema de presas aguas-arriba.

El método de construcción aguas arriba es el más exigente desde el punto de vista geotécnico. Se aplica cuando los relaves depositados tienen las características geotécnicas y fisicoquímicas necesarias para soportar el peso de las etapas de recrecimiento, y cuando se puede mantener la pileta de aguas claras, la construcción de diques, cuando la zona es de bajo riesgo sísmico y para diques bajos. La complejidad geotécnica en el diseño de estas presas se contrapone a la relativamente baja complejidad de la construcción del dique.

El método de construcción aguas abajo suele dar lugar a una mayor estabilidad física que el método de aguas arriba; sin embargo, se requiere una cantidad significativa de espacio al pie del dique inicial.

El método de línea central proporciona una mejor estabilidad que el método aguas arriba y requiere menos material grueso que el método aguas abajo.

En general, las presas aguas-arriba y línea central no tienen barreras hidráulicas que reduzcan la infiltración, sino que dependen de que la pileta de aguas claras esté ubicada suficientemente lejos de la presa. Las presas aguas-abajo pueden tener barreras hidráulicas compuestas por núcleos o capas de arcilla, geomembranas o una combinación de ambas.

Los vasos delimitados por las presas pueden tener todas sus paredes libremente drenantes, o pueden estar parcial o totalmente recubiertos con barreras hidráulicas, típicamente geomembranas. En los casos en los que los vasos están sellados hidráulicamente pueden ser simplemente depósitos estancos o tener sistemas de drenaje basal – por encima de la barrera hidráulica, pero en el fondo del vaso – para recuperación adicional de agua y aceleración de la consolidación de los relaves.

La industria minera tiene la tecnología, la experiencia y los recursos para localizar, planear, diseñar, construir, operar, dismantelar y cerrar las instalaciones de relaves de una manera segura y responsable con el ambiente, y ha desarrollado procedimientos de mejora continua de todos los aspectos de su administración.

Aunque no son frecuentes, algunas fallas de presas de relaves han cobrado muchas vidas y causaron daños ambientales enormes. Por esta razón, las presas de relaves son objeto de un intenso escrutinio por parte de la sociedad. Las presas más vulnerables son aquellas construidas aguas-arriba. Estas presas están prohibidas en Chile por su vulnerabilidad sísmica y, luego de algunas fallas recientes, también en Brasil. Sin embargo, la guía publicada por ICMM en 2020 – posterior a las fallas de presas en Brasil – no prohíbe las presas aguas-arriba, las que siguen siendo construidas y operadas exitosamente en muchos países del mundo.

9.4 Evolución histórica de buenas prácticas

La minería cuenta con una reputación adversa debido a prácticas históricas – en términos de siglos – poco amigables con el medio ambiente y la sociedad, en particular con lo relacionado con el manejo de los residuos mineros. Siendo la minería tan antigua como el hombre, el avance de la práctica, de la tecnología y de la conciencia del impacto socioambiental ha ido progresando con los años.

La minería moderna ha incorporado técnicas de operación de instalaciones de relaves que permiten mitigar el impacto de sus actividades. En los países con menor tradición minera, las empresas líderes se imponen a sí mismas requerimientos más exigentes que la legislación local, alineados con las mejores prácticas de los países líderes de la industria. Las regiones que estimulan el desarrollo responsable de la industria y cuya legislación es

una referencia, incluyen a Chile, Australia Occidental (Australia), British Columbia (Canadá), Nevada (Estados Unidos) y Sudáfrica.

Junto al desarrollo de la legislación existe un sinnúmero de guías aportadas por asociaciones profesionales. Las más utilizadas son las de:

- Canadian Dam Association
- Mining Association of Canada
- Australian National Committee of Large Dams
- International Council of Mining and Metals

9.5 Diseño para el cierre

El impacto ambiental del manejo de residuos ocurre durante su transporte a los sitios de disposición, durante la disposición en sí misma y por la interacción del residuo con el medio, que incluye erosión por viento y del agua y contaminación del agua subterránea. Este impacto puede minimizarse y controlarse, pero no puede eliminarse, y es parte integral de la propia actividad industrial.

Un enfoque integrado de la gestión de la operación requiere una planificación multiobjetivo, una estrecha supervisión de la construcción, una cuidadosa vigilancia y un seguimiento continuo hasta y después del cierre. Es lo que se conoce como “diseño para el cierre” y consiste en diseñar cada etapa de cada proceso de manera compatible con el plan de cierre integral de la instalación. Debe tenerse en cuenta que el cierre de una instalación de disposición de residuos puede ocurrir mucho antes del cierre de toda la faena minera: las minas antiguas pueden poseer varios depósitos de residuos cerrados, y otros en operación.

El “diseño para el cierre”, así entendido, exige una ingeniería sólida que sustente una estructura segura. La estabilidad a largo plazo se garantiza con un diseño robusto, autorreparable, resiliente y de bajo riesgo, que sea capaz de integrarse con el ambiente y resistir las acciones meteorológicas y ambientales del sitio que pudieran comprometer su integridad.

El concepto de “diseño para el cierre” de instalaciones de relaves consiste más, entonces, en diseñar una característica permanente del paisaje – una geoforma – que una instalación industrial de corta vida útil. Aún cuando se efectúe un “diseño para cierre”, en todos los casos se necesita un procedimiento de vigilancia que compruebe que este objetivo se logra en todas las etapas y que la instalación final es efectivamente una geoforma integrada al medio ambiente.

En el “diseño para cierre” de las instalaciones de relaves se debe asegurar que las presas y estructuras relacionadas sean físicamente estables no solo durante su vida útil, cierre y

post-cierre. El diseño debe prever que las obras mantengan la contención de los residuos mineros durante acontecimientos excepcionales, como inundaciones o terremotos.

Los objetivos clave del diseño deben incluir:

- optimización de la zona afectada por la construcción de la instalación de relaves y minimización del tamaño del estanque aguas arriba del sitio;
- rápida consolidación y estabilización de los materiales en el sitio, que permita el drenaje del agua liberada por los relaves;
- reducción de la presión del agua en las presas, esto implica mover la pileta de aguas claras lejos de la cresta y el drenaje del agua dentro del cuerpo de la presa;
- prevención de la liberación de relaves.

Las presas de relaves deben soportar diversas acciones deletéreas luego de su cierre:

- erosión;
- solicitaciones estáticas derivadas del flujo de agua;
- solicitaciones dinámicas relacionadas con acción sísmica, tronaduras o vibraciones de maquinaria.

La erosión puede ser causada por el agua de escorrentía, un desbordamiento de la presa, o el viento, y es muy frecuente en las playas de relaves secos. Este tipo de erosión es función del clima, la erosionabilidad de los materiales, la vegetación de la cara de la presa y su pendiente. Otra forma de inestabilidad es la erosión regresiva de materiales a través de las presas y sus fundaciones, asociada a un pobre desempeño de los sistemas de filtros.

Además del cierre, la ingeniería de depósitos de residuos incluye una preparación y planificación para la emergencia. Por bien que se diseñe y planifique, los depósitos de residuos pueden fallar. Por eso es por lo que se exigen medidas de seguridad complementarias y redundantes, y un programa de preparación para emergencias que sea integral y compatible con la gestión de los embalses de relaves.

9.6 Conclusiones y recomendaciones, el aporte de la ingeniería

Los residuos sólidos son una parte inescindible de la producción minera. El manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos tiene diferentes aspectos que son abordados por las diferentes ramas de la ingeniería:

- la ingeniería de minas calcula las necesidades de almacenamiento, su costo y evolución en el tiempo;
- la ingeniería civil provee los diseños geotécnicos e hidráulicos de los depósitos, sus barreras de contención y sus sistemas de control de aguas;

- la geoquímica y la ingeniería ambiental predicen la evolución de los depósitos en el tiempo y su interacción con el medio ambiente los procesos de extracción y concentración en planta;
- la ingeniería ambiental y de cierre provee los controles e indicadores de desempeño que permiten convertir al depósito de residuos mineros en una geoforma inerte y segura a largo plazo.

La disposición de relaves concentra mucha atención de la comunidad porque se han producido muchos eventos recientes de derrames de relaves. Esto ha producido también una reacción de la academia y de la industria, hasta el punto de que actualmente todos los grandes centros de investigación de la minería mundial tienen programas de investigación para la mejora del conocimiento del comportamiento de las presas de relaves.



Cierre de minas

10.1 Introducción

El cierre de minas es un proceso que ocurre cuando la mina cesa sus operaciones de extracción de mineral. Tiene como objeto que el terreno afectado por ella pueda desarrollar otras actividades sustentables luego del fin de las operaciones mineras.

Una mina produce cambios en su entorno que persisten después de su propia vida operativa, por lo que la evaluación de esos cambios y la mitigación de impactos negativos permite que la misma se desarrolle integrada con su entorno de manera armoniosa y beneficiosa para todas las partes.

El plan de cierre documenta el proceso de planificación y los compromisos sociales y ambientales asumidos por la mina. Contiene el conjunto de actividades requeridas a lo largo de su ciclo de vida a fin de alcanzar los objetivos de la etapa de cierre. El plan de cierre es progresivo: empieza en la primera fase del proyecto con el diseño conceptual y termina sólo cuando se han alcanzado de manera permanente los objetivos de cierre.

10.2 Objetivos del cierre

Desde la perspectiva socioambiental, el objetivo principal del cierre es lograr que, una vez finalizadas las operaciones mineras, las áreas afectadas por el proyecto sean compatibles con un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo. El plan de cierre aborda los desafíos asociados con la transición socioeconómica del entorno de la mina hacia el escenario post-cierre.

Se espera que, luego del cierre de la mina, las poblaciones de su área de influencia tengan elementos que les permitan lograr sus objetivos de desarrollo por otros medios. Para ello, en la planificación de la gestión social para el cierre de minas, se consideran:

- los riesgos e impactos sociodemográficos, económicos y culturales que pudieran surgir como consecuencia del cierre de la mina;
- las preocupaciones de los grupos de interés, en particular las de la población local;

- la oportunidad de brindar un legado beneficioso y duradero para la población.

Esto se logra cuando el plan de cierre controla:

- la estabilidad física y química del sitio;
- la estabilidad ecológica;
- el riesgo residual en todas las áreas: seguridad, ambiental, financiera y de compromisos legales y sociales;
- la reducción de la necesidad de mantenimiento post-cierre de las instalaciones.

Algunos objetivos típicos son:

- la transferencia de infraestructura a las comunidades o gobierno;
- la asistencia a proveedores para que desarrollen otras oportunidades comerciales;
- el aseguramiento de provisión de agua adecuada para usuarios aguas-abajo en la cuenca;
- el aseguramiento que el agua del lago – en rajas inundados – permita actividades recreacionales;
- la restauración de calidad de agua para permitir pesca y un ambiente vegetal sustentable.

10.3 Tipos de planes de cierre

Los planes de cierre se desarrollan a lo largo del ciclo de vida de la mina. El Informe de Impacto Ambiental (IIA), previo al inicio de operaciones, debe incluir un plan de cierre conceptual. Antes del inicio de construcción se prepara ese plan a nivel de prefactibilidad que incluye una estimación de costos de cierre. Este plan de cierre se actualiza durante la vida operativa de la mina con el fin de reflejar cambios de diseño y operacionales, así como actividades progresivas de rehabilitación. A medida que se acerca el fin de la vida de la mina se va desarrollando el plan de cierre a nivel de factibilidad, que se ajusta en una versión final en el momento del cierre. Después del desmantelamiento y cierre de la mina, se requieren informes de mantenimiento, monitoreo y seguimiento post-cierre.

Plan de cierre conceptual

El plan de cierre conceptual es el documento que surge al comienzo de la planificación de cierre, dado que el desarrollo de la mina se planea en función de él. Este se presenta a la autoridad de aplicación en conjunto con el informe de impacto ambiental correspondiente a la etapa de explotación. Posee un nivel bajo de desagregación y detalle de contenidos,

pero contiene información contextual sobre consideraciones ambientales y sociales, y la planificación de las estrategias que conducirán a la concreción de los objetivos del cierre.

Plan de cierre detallado

El plan de cierre detallado es el documento que deviene de la actualización progresiva del plan conceptual de cierre a medida que avanza la operación de la mina y se dispone de información detallada que permita dar precisión a los objetivos y actividades de cierre. Se caracteriza por contener todos los programas y acciones a ser adoptados, precisar metas específicas, determinar acciones y definir procesos de seguimiento. En este plan se destacan los siguientes componentes:

- plan de desmantelamiento y de recuperación ambiental;
- plan de monitoreo y seguimiento post-cierre;
- programas sociales y estimación de costos.

Plan de cierre temporal

El cierre temporal se pone en marcha ante la paralización temporaria de las actividades de la mina causada por bajas en el precio de los metales, cambios de políticas, acciones judiciales o administrativas, u otros imprevistos. Requiere la presentación de un plan de cierre temporal que organice acciones de monitoreo, mantenimiento y tareas tendientes a suspender la operación de la mina por un tiempo determinado, con el objetivo de mantener condiciones ambientales y sociales adecuadas hasta su reactivación.

Plan de cierre prematuro

El cierre prematuro es el cese de las actividades de la mina que ocurre antes de la fecha prevista en el plan minero aprobado en la etapa de evaluación ambiental y, en consecuencia, se produce un plan de cierre, por hechos no planeados o imprevistos, y en cuyo escenario la empresa decide que la explotación del mineral no será reactivada. Ante este escenario, se elabora un plan de cierre prematuro, de rápida ejecución, que se basa en el plan de cierre existente al que agrega medidas contingentes necesarias para el cierre inmediato.

10.4 Legislación

Argentina

La actividad minera en Argentina se ajusta al “Código de Minería de la Nación” que regula, entre otras cosas, los derechos mineros que pueden adquirirse, los modos en que éstos se obtienen conservan y se ejercen, y las relaciones de sus titulares con los propietarios

de los derechos superficarios. En virtud de la titularidad provincial de los recursos naturales – reconocida por el artículo 124 de la Constitución Nacional – el Código de Minería establece que la autoridad de aplicación será designada por cada provincia en el ámbito de su jurisdicción. Por ello, en materia de cierre y post-cierre, son las provincias quienes conservan la facultad de dictar y administrar los procedimientos mineros.

La “Dirección Nacional de Producción Minera Sustentable”, con el apoyo de Canadian International Resources and Development Institute (CIRDI), presentó la “Guía de recursos de buenas prácticas para el cierre de minas” que busca establecer una política nacional de cierre de minas. Este documento detalla la necesidad de regular las actividades posteriores a la producción minera y garantizar la preservación ambiental y social de la región, poniendo énfasis en la comunicación con la comunidad.

De otros países

La tendencia global es legislar las etapas de cierre y post-cierre para garantizar la responsabilidad de las empresas mineras y la continuidad de sus labores de cuidado una vez concluida la producción.

En América, las primeras normas que regularon el cierre fueron el Acta de Minas de British Columbia (o BCMA, en 1969), el Acta de Políticas Ambientales Nacionales (o NEPA, en 1969), y la Ley de Control y Recuperación en Minería Superficial de Carbón (o SMCRA, en 1977) creada para el control del cierre y abandono de minas de carbón, quizás la primera regulación específica de cierre.

En Canadá, la minería está dentro del dominio exclusivo de las provincias, que han establecido regulaciones para la planificación, la implementación y el control de los resultados de los planes de cierre. En Australia, todos los estados y el Territorio del Norte tienen legislación de cierre de minas.

Perú tiene una legislación de cierre de minas desde 2006 que es referente internacional. Está compuesta por la Ley N°28.090 “Ley que regula el cierre de minas” y el “Reglamento para el cierre de minas” en conjunto con la “Guía para la elaboración de planes de cierre de minas” realizado por el Proyecto de Reforma de Recursos Mineros Perú (PERCAN) con participación de Canadian International Development Agency.

En Chile, la Ley 20.551 (2012) de “Cierre de faenas e instalaciones mineras” obliga a que los proyectos mineros tengan un plan de cierre que incluya todas las instalaciones de la faena. El plan debe ser aprobado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAMEGOMIN) antes del inicio de las operaciones. El Servicio además elaboró una serie de “Guías metodológicas para la presentación de planes de cierre”, así como también “Guías metodológicas con criterios técnicos” relativos a obras, medidas de cierre y constitución de la garantía financiera.

10.5 Ambientales y sociales

Las operaciones mineras causan cambios significativos sobre el ambiente y el entorno social. La extensión e intensidad de dichas alteraciones depende de la naturaleza del mineral, de los métodos de extracción y tratamiento, del tamaño, geometría y ubicación del depósito, de la localización de las poblaciones de su área de influencia social, de las políticas de relacionamiento comunitario y de gestión social de la empresa que opera el proyecto y de las capacidades institucionales locales, entre otros. En consecuencia, existen diversos aspectos técnicos, ambientales y sociales relacionados a la etapa de cierre de minas que deben ser cuidadosamente identificados y evaluados de manera temprana.

Durante el desarrollo de las actividades mineras, el control y seguimiento de las variables fisicoquímicas de los componentes estructurales y ambientales de la mina son esenciales para cumplir con los objetivos de cierre y post-cierre. Las tareas incluyen desde el monitoreo y control de los movimientos de suelos hasta el manejo de recursos hídricos.

Desde el punto de vista socioeconómico, los desafíos del cierre se asocian con la interrupción de los beneficios de la etapa de explotación: oportunidades de empleo, la demanda de insumos y de servicios, la dinámica comercial regional, la colaboración del proyecto con instituciones locales o su aporte al erario a través del pago de regalías y otros impuestos públicos.

10.6 Estabilidad física y química

La extracción de recursos minerales trae inevitablemente consigo la generación de desechos mineros, los cuales son materiales sin valor económico que deben ser dispuestos de forma segura para minimizar el impacto al medio ambiente.

Una vez que la explotación ha finalizado, las instalaciones y los residuos mineros expuestos en superficie constituyen factores de riesgo. Para minimizar futuros impactos, se deben implementar medidas de control de riesgos que deben asegurar que las áreas intervenidas se mantengan físicamente estables y controladas a lo largo del tiempo. Este control del riesgo se establece a través de un enfoque multidisciplinario e interdisciplinario que apunta a comprender y evaluar sus características, estabilidad, posibles impactos, remediación y eventual reutilización de materiales y sitios.

La estabilidad física de los depósitos se refiere a que mantengan la geometría con la que fueron diseñados y construidos, que no presenten fallas, derrames o erosiones significativas, y que no desarrollen cambios morfológicos dañinos para el entorno. La estabilidad física se analiza con herramientas convencionales de la ingeniería geotécnica e hidráulica.

La estabilidad química de los desechos es lo que evita que se conviertan en contaminantes. Su evaluación se lleva a cabo mediante un Programa de Estabilidad Química (PEQ) que se define como (SERNAGEOMIN 2015) "...un programa de trabajo compuesto por un conjunto de etapas, estudios y/o procesos, que tienen como objetivo asegurar la estabili-

dad química de las instalaciones remanentes de un proyecto minero, al momento del cese de sus operaciones (etapa de post-cierre).”

El PEQ debe incluir tanto instalaciones de disposición de desechos mineros como elementos asociados a la extracción y procesamiento mineral con un enfoque preventivo, para lo cual debe comenzar en las etapas tempranas del proyecto, idealmente desde la exploración o al menos antes de la construcción de las instalaciones mineras. En el otro extremo del ciclo, el PEQ debe contemplar las necesidades requeridas por la comunidad con relación al uso del recurso hídrico aguas subterráneas y superficiales luego del cierre y post-cierre de la operación.

Los países de mayor desarrollo minero han elaborado numerosos documentos técnicos y guías metodológicas de buenas prácticas para el cierre de minas y la gestión de la estabilidad química, entre los cuales destaca la Guía de Buenas Prácticas para el Cierre Integrado de Minas, desarrollada y constantemente actualizada por el ICMM (International Council on Mining and Metals).

Una de las guías más completas para la gestión de la estabilidad química, disponible en idioma español y basado en los estándares internacionales más ampliamente aceptados, es la desarrollada por Fundación Chile y SERNAGEOMIN (2015), en la cual se incluyen los criterios para evaluar y asegurar la estabilidad química de un elemento de una mina y la metodología para el monitoreo y muestreo de dichos elementos y sus posibles receptores, como por ejemplo ríos, lagunas, o acuíferos.

Desde agosto de 2019, Argentina cuenta con la Guía de Recursos de Buenas Prácticas para el Cierre de Minas. Si bien Argentina aún no tiene una ley nacional que regule todos los aspectos del cierre minero, esta guía constituye un punto de partida vital para que las faenas mineras implementen un PEQ desde sus inicios o inmediatamente desde la etapa de su ciclo de vida en que se encuentren. La sección de estabilidad química del documento mencionado – sección 5.4.2. Estabilidad Química – está basado en la guía para la gestión de estabilidad química desarrollada por Fundación Chile & SERNAGEOMIN.

En Argentina, los grandes emprendimientos mineros metalíferos en general atienden la estabilidad química de forma preventiva o, en el caso de haber heredado pasivos ambientales, con un enfoque mitigativo, fomentado por una tendencia de las empresas mineras multinacionales y sus correspondientes accionistas y grupos inversores a adoptar estándares internacionales de amplio uso y aplicación en emprendimientos mineros a gran escala a nivel global, y aplicarlos en el país en que estén operando. (esta oración es tan larga que no se entiende. Poner punto y seguido y hacer oraciones más cortas en las que se evite el gerundio)

10.7 Cierre de depósitos de relaves en el cierre de minas

El objetivo principal del cierre, desmantelamiento y rehabilitación de un depósito de colas, luego del cierre de la operación, es que quede una instalación segura, estable y no contaminante, con requerimiento mínimo o nulo de mantenimiento, y preferentemente integrada al entorno como una geoforma. En este contexto, las medidas de cierre de los depósitos deben incluir:

- el análisis de la estabilidad física de las instalaciones en etapa de cierre y abandono;
- la adecuación de obras de manejo de agua para escenarios de largo plazo, sin mantenimiento;
- la instalación de cubiertas para evitar la dispersión aérea de las colas y controlar la infiltración de agua pluvial;
- el desmantelamiento de equipamiento y estructuras de operación;
- el aseguramiento de la operación de drenajes sin mantenimiento;
- la revegetación y restablecimiento de la función ecológica.

10.8 Manejo del agua

Las operaciones mineras pueden alterar sustancialmente las características hidrológicas y topográficas de las áreas mineras y afectar la escorrentía superficial, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el comportamiento del agua subterránea. La industria reconoce y acepta que el cuidado de los recursos hídricos es vital para obtener consenso social para el desarrollo de los proyectos existentes y futuros.

La planificación y gestión de los desvíos de cursos de agua superficial evitan que el caudal desviado sea una barrera física en la migración de organismos acuáticos durante la operación, y que desaparezcan cuerpos de agua durante el cierre y post-cierre.

Al finalizar la operación, el cese de las actividades de bombeo produce que el nivel piezométrico retorne a nuevas condiciones de equilibrio. La gestión del recurso debe prevenir la disolución de los minerales generadores de acidez y la consecuente formación de drenaje ácido que puede conducir a la liberación de metales. Es por ello que, si bien los monitoreos deben continuar durante el post cierre, es fundamental que al comienzo del cierre efectivo los controles tengan mayor frecuencia y nivel de detalle.

10.9 Gestión de la biodiversidad

La biodiversidad es el regulador de servicios ecosistémicos fundamentales, como por ejemplo la regulación de inundaciones o el ciclo de descomposición de materia orgánica.

A lo largo de su ciclo de vida, un proyecto minero puede afectar la biodiversidad a través de impactos directos, indirectos o acumulativos. Los impactos clave que afectan la biodiversidad incluyen:

- eliminación del hábitat nativo;
- degradación del hábitat terrestre;
- degradación/contaminación del hábitat acuático;
- extracción y contaminación del agua dulce;
- impactos indirectos (por ejemplo: el cambio climático).

La rehabilitación se debe encarar como un componente integral del desarrollo sostenible de la actividad minera y un indicador clave del buen desempeño ambiental del proyecto. Más allá del objetivo de rehabilitación de áreas afectadas por la actividad minera, se impulsa la restauración ecológica, entendiendo como tal al proceso de recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido.

La gestión de la biodiversidad debe procurar devolver la funcionalidad y la productividad al ecosistema alterado y ayudarlo a recuperar su estructura y función, teniendo como referencia el ecosistema previo al disturbio.

10.10 Gestión social del cierre

La gestión social en el cierre es un aspecto clave para abordar los desafíos derivados de la transición socioeconómica del cierre. El impacto socioeconómico que tendrá y la etapa post-cierre dependerán de factores como la escala de la operación, su duración, las características demográficas, productivas, y culturales de la zona, entre otras. Todo esto se ve amplificado a medida que la operación se encuentra en lugares remotos, desconectados geográficamente de los centros poblacionales.

Entre los factores decisivos que las normas internacionales recomiendan considerar al momento de planificar los aspectos sociales del cierre, se encuentran:

- planificación e implementación temprana para la transición progresiva;
- evaluación y gestión de riesgos sociales del cierre;
- seguimiento de indicadores sociales;

- aporte al desarrollo local sustentable;
- articulación público-privada;
- involucramiento y participación informada con partes interesadas.

10.11 Post-cierre

El post-cierre comienza una vez concluidas e implementadas las tareas del cierre de mina. En el post-cierre se realizan monitoreos ambientales y sociales, acciones de mantenimiento, vigilancia, y cuidados – temporales o permanentes – para asegurar y sostener en el tiempo los objetivos alcanzados en el plan de cierre.

Para dar por concluida la etapa de post-cierre, la autoridad de aplicación debe verificar que se lograron los objetivos del plan de cierre, y en caso positivo, se puede otorgar un “Certificado de Cierre”. El proceso se complementa con la transferencia de custodia de la operación a un tercero o al Estado.

Monitoreo y mantenimiento

El plan de cierre describe las tareas de monitoreo de las variables físicas, químicas, biológicas y sociales del sitio, y la producción de informes de seguimiento, que se entregan a la autoridad de aplicación.

El monitoreo de los medios físicos (por ejemplo, estabilidad de taludes y presas de relaves, escombreras y pilas de lixiviación), químicos (por ejemplo, control de generación de drenaje ácido en aguas superficiales y subterráneas), biológicos (restauración de especies de fauna y flora) y sociales (seguimiento de la capacidad de adaptación de las cadenas de valor).

Es importante que las empresas y autoridades trabajen juntamente con la comunidad para que comprenda el proceso de control post-cierre, con el objetivo de generar un procedimiento transparente y eficiente. Esto se logra con planes de capacitación y apoyo a la comunidad, involucrándola activamente en el seguimiento de las actividades de cuidado y mantenimiento.

Transferencia de custodia

La transferencia de custodia por parte de la empresa minera a un tercero o al Estado ocurre una vez que la autoridad de aplicación presenta el “Certificado de Cierre”, luego de cumplida satisfactoriamente la etapa de post-cierre. A partir de ese momento cesan todas las obligaciones del titular de la actividad minera respecto al proyecto cerrado.

Este certificado se entrega cuando la autoridad de aplicación considera que ya no es necesario continuar con tareas de monitoreo, mantenimiento o vigilancia, y que sólo queda

un riesgo mínimo, previsible y aceptable, inherente a la naturaleza de la industria y que no se puede gestionar mediante acciones directas del titular de actividad minera.

Por esto, las prácticas internacionales recomiendan que los regímenes de cierre de minas incluyan una previsión para que la autoridad regulatoria pueda otorgar el cierre final y deslindar al empresario minero de responsabilidades sobre el cierre únicamente cuando haya transcurrido un período suficiente y haya quedado demostrado que los criterios de finalización han sido cumplidos y los objetivos de cierre alcanzados se sostengan en el tiempo. Se pueden incluir auditorías ambientales finales que demuestren que la propiedad se ha cerrado según los criterios de cierre del plan acordado.

ANEXO I

Antecedentes resumidos del equipo CAI-ANI

Oscar Vardé

Ingeniero Civil, de la Universidad de Buenos Aires, graduado en 1959, diploma de honor. Post-gradados en Canadá y USA.

Presidente Honorario de la Academia Nacional de Ingeniería, miembro de número desde 1987. Miembro de la Academia de Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires.

Presidente de la Asociación de Túneles y Espacios Subterráneos. Vicepresidente de ISM-SGE, 1985-1989, y de ISRM, 1991-1995, para América de Sur. Presidente de la SAMSF en 4 períodos. Premio Konex 2003, Premio Arthur Casagrande, 1989 y otros. Autor de 140 artículos técnicos.

Ex Profesor Asociado de Mecánica de Suelos y Fundaciones en las Facultades de Ingeniería de la UBA y la UCA.

Conferencista en eventos de la especialidad. Sesenta años de Actividad Profesional. Experto en fundaciones, Obras Subterráneas y Presas. Miembro de Paneles de Consultores Independientes en Grandes Obras.

Oswaldo Postiglioni

Ingeniero Civil, Universidad de Buenos Aires Año 1965.

Posgrado Ingeniero Sanitario- Instituto de Ingeniería Sanitaria-UBA- 1967.

Curso de Especialización en Ingeniería Sanitaria- Enero a Mayo de 1970 en Francia, como becario del Gobierno Francés.

Coordinador General de Acciones en el Departamento de Saneamiento Ambiental del Ministerio de Salud de la Nación, 1968 a 1973.

Miembro del equipo de la Comisión Mixta Salto Grande y de la Entidad Binacional Yacireta. Evaluación y gestión ambiental de ambos proyectos, 1975-1978.

Director del Centro de Tecnología del Uso del Agua del INCyTH, Agosto 1979 a Julio 1988.

Profesional del Departamento Ambiental del Ente Nacional Regulador de la Electricidad, Enero 1993-Julio 2006. Director del Dto. Ambiental del ENRE desde Agosto 2006 a mayo 2014.

Coordinador de la Comisión Ambiental del CAI 2014-2017.

Académico de Número de la Academia Nacional de la Ingeniería (ANI) desde abril 2015. Director del Instituto del Ambiente de la ANI desde 2019 a la fecha.

Hipólito Choren

Ingeniero Químico UTN (1971), Cursos posgrado: Reactores Nucleares (CNEA/UBA 1971/1972, Especialización energía/ambiente/HyS, Proyectos Industriales.

Docente Grado/Postgrado en Universidades Nacionales, Dictado Seminarios en Ecuador y Perú.

Investigación: Radioisótopos (UTN/CNEA/UBA-FI).

Auditor Ambiental Certificado TÜV.

Fundador Grupo Gestión Ambiental UTN/FRA, coordinador EIA: industrias, centrales eléctricas, instalaciones del Ciclo del Combustible Nuclear y Reactor CAREM (de uranio enriquecido, en construcción).

Presentación Congresos Internacionales: a) Cálculo Poder Calorífico Uranio (con CNEA) Congreso Mundial de Energía 1992, b) Generación Energía Eléctrica (CEARE) en Argentina y países Latinoamericanos.

Coautor Libro “Argentina - El Sector Eléctrico”. Publicaciones Revistas Especializadas Energía/Medio Ambiente.

Ex Asesor Técnico Secretaría Energía de la Nación. Consultor independiente

Especialista Generación Energía Eléctrica, Medio Ambiente/HyS (Proyectos, Auditorías, Inspecciones, EIA), Nivel gerencial Central Puerto S.A. (retiro por jubilación 2017)

Experto Local contrato CFI-Grupo Banco Mundial para “Desarrollo Normativas Parques Eólicos y colaboración “Guía Gestión Impacto Aves/Murciélagos”.

Academia Nacional de Ingeniería (ANI): Académico Electo (2020)

Miembro Instituto del Ambiente de la ANI

José Luis Inglese

Es ingeniero sanitario de la Universidad de Buenos Aires, premiado por la Academia Nacional de Ingeniería Argentina con el Premio “Ing. Enrique Butty” por su trayectoria en ingeniería sanitaria y ambiental (1990) y Miembro de Número de esa Academia (2020).

Cuenta con más de 40 años de experiencia en el sector sanitario y ambiental. Fue presidente de Aguas y Saneamientos Argentinos-AySA, del 2015 a 2019, empresa que proporciona servicios de agua y saneamiento a más de 14 millones de personas.

En su actividad como Consultor Internacional ha dirigido más de 800 estudios y proyectos en América Latina y África, con financiamiento del BID, IFC y Banco Mundial. Es miembro del Consejo Estratégico de la International Water Association, organización reconocida por ser la red internacional más grande de profesionales relacionados a la provisión de servicios sanitarios y los recursos hídricos, contando con miembros pertenecientes a más de 130 países.

Fue presidente de AIDIS Argentina y vicepresidente de AIDIS Interamericana. Entre sus actividades académicas, se destaca como profesor de postgrado por más de 25 años, su pertenencia a Consejos Académicos de prestigiosas universidades y en su rol de disertante en numerosos eventos académicos e institucionales en las Américas, Europa y África.

Roberto Massa

Ingeniero civil con post grados ejecutivos en la Universidad Austral y en la escuela de negocios Stephen Ross de la universidad de Michigan.

Actualmente es el presidente del Departamento Técnico del Centro Argentino de Ingenieros.

Cuenta con más de 30 años de experiencia en servicios de ingeniería y consultoría, exportación de servicios, construcción y gerenciamiento de construcción, project management y portfolio project management suministrando servicios en los sectores de infraestructura, energía, minería, petróleo y gas, químico y manufacturas.

Ocupó posiciones ejecutivas en Latinoamérica en empresas internacionales de ingeniería y construcción supervisando operaciones y/o proyectos en Argentina, Estados Unidos, Canadá, Brasil, Perú, Méjico y Uruguay, Irlanda, China y Rusia.

Gustavo Devoto

Gustavo Devoto es ingeniero civil - orientación hidráulica –de la Universidad de Buenos Aires. Tiene estudios de postgrado sobre Hidrología en España y Francia y es además

Magister en Planificación e Ingeniería de los Recursos Hidráulicos de la Universidad Simón Bolívar de Venezuela.

Buena parte de su carrera profesional se desarrolló en HIDRONOR S.A., donde estuvo vinculado a estudios de planeamiento, proyecto y operación de todas las obras hidroeléctricas del Comahue. Fue Jefe del Departamento de Producción y Abastecimiento de Energía Eléctrica del Ente Nacional Regulador de la Electricidad por más de 20 años. Entre 1974 y 1979 se desempeñó en el Centro de Informática Hídrica del INCyTH (actualmente el Instituto Nacional del Agua, INA) como Jefe del Departamento de Ingeniería de Sistemas Aplicada a Recursos Hídricos. Ha sido consultor en Argentina, Bolivia, Perú, Nicaragua y Honduras.

Ha sido Perito de Oficio de la CSJ en juicios por inundaciones en la Pcia. de Buenos Aires, asesor de la Subsecretaría de Energía y de la Subsecretaría de RRHH, Presidente del Comité Argentino de Presas y del Instituto Argentino de RRHH.

Se ha desempeñado como profesor titular de Hidrología Ambiental de la UCA por más de 17 años y ha dado cursos de grado y de postgrado en la facultad de Ingeniería de la UBA, la UTN, en AIDIS y en la FICH de la UNL.

Desde 2008 es Académico de Número de la ANI donde se desempeña actualmente como secretario del Instituto de Energía.

Fernando Valdovino

Licenciado en Ciencias Geológicas - Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca 1992; en 1994 se le otorgó una beca de investigación de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC) que declinó, en 1998 obtuvo una participación en un workshop en equipamiento y sistemas ambientales otorgada por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI). Praga (República Checa). Posee más de 25 años de trabajos de relevamiento, elaboración y coordinación de estudios y auditorías ambientales en todo el ámbito de la República Argentina, en los sectores de Hidrocarburos, energía, minería e industria. Fundador y gerente general de Ambiental®, Estudios y Servicios Ambientales SRL.

Juan José Paladino

Licenciado en Geología – Universidad Nacional de La Plata - Facultad de Ciencias Naturales y Museo 1975. Está especializado en hidrogeología y ambiente. Se desempeñó en varios organismos técnicos, como: OSBA, CFI, e INCYTH (ex INA). Ocupó varios cargos técnico-políticos en provincia de Buenos Aires: AGOSBA (director de Servicios Especiales); Ministerio de Salud (director de Control Ambiental); Secretaría de Política Ambiental (jefe de Gabinete de Asesores); OPDS (coordinador Ejecutivo de Fiscalización Ambiental). Durante más de 40 años realizó estudios hidrogeológicos, auditorías ambientales,

estudios de impacto ambiental, etc. Es profesor en la Maestría de Ingeniería Ambiental de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, desde hace 20 años en las materias “Residuos Sólidos y Peligrosos”; “Evaluación de Impacto Ambiental” y “Seminario de Integración”.

Alejo Sfriso

Doctor en ingeniería. Es líder de Práctica en la oficina de Buenos Aires de SRK, con casi 30 años de experiencia y proyectos en más de 25 países.

Es experto en la aplicación de métodos numéricos para el diseño, análisis y evaluación de riesgo de construcciones geotécnicas, incluyendo fundaciones, túneles, presas, estructuras de contención, minería de cielo abierto y subterránea, y mejoramiento del terreno, con énfasis en los procedimientos constructivos.

Alejo pertenece a 12 asociaciones profesionales, entre las que se incluyen ISSMGE, ISRM, ICOLD, IACMAG e ITA. Es, además, vicepresidente para Sudamérica de ISSMGE para el período 2017-2021, y fue presidente de la Sociedad Argentina de Ingeniería Geotécnica en el período 2011-2015., y el Presidente de la Sociedad (?) entre 2011 y 2015. También desarrolla actividades académicas, en las que se destaca como profesor de Mecánica de Suelos y Geología de la Universidad de Buenos Aires además de tener más de 80 publicaciones de su autoría.

Santiago J. Dondo

Está especializado en la industria minera, con enfoque en su gobernanza y las políticas públicas.

Desde 2015, Santiago fue Subsecretario de Minería en el Gobierno Nacional de Argentina, Director del EITI (*Extractive Industries Transparency Initiative*, basado en Oslo) para América Latina y el Caribe, lideró proyectos de asesoría a gobiernos para el BID, Banco Mundial, OEA y Secretariado Internacional EITI. Actualmente es asesor estratégico para América Latina de CONNEX, una iniciativa reciente del G7 administrada por la Agencia de Cooperación Alemana - GIZ.

Antes, como abogado minero, trabajó durante 10 años en firmas de primera línea de Argentina y Estados Unidos, asesorando a empresas internacionales en sus proyectos mineros, en todas sus etapas.

Como becario del Gobierno Australiano, Santiago completó en 2013 una maestría focalizada en minería y políticas públicas en la Universidad de Queensland, sede del *Sustainable Minerals Institute*. Es profesor en posgrados, dicta cursos y conferencias, y ha publicado numerosos artículos.

María Fernanda Diez

Consultora en temas de sustentabilidad en las industrias extractivas.

Fernanda tiene veinte años de experiencia profesional; trabajó 10 años en el International Council on Mining and Metals (ICMM) en Londres, donde condujo investigaciones sobre licencia social, relaciones comunitarias, y contribución de la minería a las economías nacionales. Fue asesora en sustentabilidad de Antamina, la mina de cobre más grande del Perú.

Se desempeñó como asesora en el Senado de la Nación entre 2000 y 2005.

Es economista de la London School of Economics and Political Science (LSE), donde obtuvo también una maestría en Filosofía Política.

ANEXO II

Referencias - Bibliografía

1. Contribución de la minería a las economías

- 1 http://www.icmm.com/website/publications/pdfs/social-and-economic-development/181002_mci_4th-edition.pdf
- 2 <http://www.icmm.com/en-gb/society-and-the-economy/economic-development/economic-growth-poverty-alleviation>
- 3 <https://www.weforum.org/agenda/2018/07/the-myth-of-minings-resource-curse>
- 4 www.ivey.uwo.ca/cmsmedia/155037/2._mineral_supply_and_demand_into_the_21st_century__kesler__2007_.pdf
- 5 <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2020/05/11/mineral-production-to-soar-as-demand-for-clean-energy-increases>
- 6 http://www.icmm.com/website/publications/pdfs/social-and-economic-development/romine_2nd-edition
- 7 http://www.icmm.com/website/publications/pdfs/social-and-economic-development/romine_2nd-edition
- 8 Basic Profiles of eight Advanced Copper Mining Projects – Subsecretaría de Desarrollo Minero – Secretaría de Política Minera.
- 9 <https://www.argentina.gob.ar/produccion/energia/eiti/Informes>
- 10 Impacto económico de la actividad minera – San Juan – Enero 2018 – Secretaria de Minería de Nación.
- 11 Impacto económico de la actividad minera – Jujuy – Noviembre de 2019 – Secretario de Política Minera de Nación y Secretaria de Minería e Hidrocarburos de Jujuy.

2. Entorno normativo

- 12 Existen otras disposiciones que, por motivos de extensión del presente capítulo, no son abordadas.
- 13 Inciso 12 de Artículo 75 CN.
- 14 Artículo 10 CM.
- 15 Incisos 18 y 19 de Artículo 75 CN.
- 16 Los minerales nucleares (uranio y torio) se rigen por las normas de las minas de primera y segunda categoría, y también por las disposiciones especiales contenidas en un título específico de “Minerales Nucleares” que contiene el C.M. La nota más distintiva es el otorgamiento, al

Estado Nacional (a través de la CNEA), de un derecho de primera opción para adquirir estos minerales en condiciones de mercado.

- 17 Artículo 13.
- 18 El 13 de junio de 2017 se celebró un llamado Nuevo Acuerdo Federal Minero, firmado por el gobierno nacional y la mayoría de los gobiernos provinciales, aunque a la fecha de preparación de este escrito no ha sido aprobado por el Congreso Nacional ni por las legislaturas provinciales.
- 19 La Rioja también tuvo una ley de estas características, pero fue posteriormente derogada.
- 20 Ley 26.639 - “Régimen de Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial” (2010).
- 21 Fallo “Barrick Exploraciones Argentinas S.A. y otro c/ Estado Nacional s/ acción declarativa de inconstitucionalidad”, de fecha 4 de Junio de 2019.
- 22 Ley Nacional No. 24.585.
- 23 Esto ha quedado aclarado por la Corte Suprema de Justicia de la Nación en el fallo “Villivar, Silvana Noemí c/ Provincia del Chubut y otros”, de fecha 17 de abril de 2007.
- 24 Ley 25.675 “Ley General del Ambiente” (2002).
- 25 El Decreto 5772 de la Provincia de Jujuy, que rige los procesos de evaluación de impacto ambiental para la minería, contiene varias previsiones sobre participación.
- 26 Ley 24.071, sancionada y promulgada en 1992, entrando en vigor el 3 de Julio del año 2000.
- 27 Fallo Lhaka Honhat (Nuestra Tierra) vs. Argentina, de fecha 6 de febrero de 2020.
- 28 Decreto provincial 534/2020.

3. Entorno de buenas practicas

- 29 <https://responsiblemining.net/>
- 30 www.icmm.com
- 31 <https://mining.ca/towards-sustainable-mining/>
- 32 <https://www.caem.com.ar/>
- 33 <https://eiti.org/>
- 34 <https://www.globalreporting.org/>
- 35 <https://www.pwyp.org/>
- 36 <https://eiti.org/>
- 37 https://www.ohchr.org/documents/publications/guidingprinciplesbusinesshr_en.pdf
- 38 <https://guidance.miningwithprinciples.com/good-practice-guide-indigenous-peoples-and-mining/>
- 39 <https://equator-principles.com/>

4. Gestión de riesgos por el uso de sustancias químicas

Dra. Leila Devia- Ing. Lorenzo González Videla- “Obligaciones y Desafíos para Argentina surgidos de la suscripción de los Convenios Internacionales relativos a Sustancias Químicas”- Centro Argentino de Ingenieros-CAI- 2017

Resolución 195/97.-Secretaría de Transportes de la Nación- Normas Técnicas para el transporte de mercancías peligrosas-B.O. 29/97/1997.

Restrepo Baena Oscar J.- “Metalurgia Extractiva”- Instituto de Minerales-CIMEX- Universidad Nacional de Colombia

SERNAGEOMIN- Gobierno de Chile- 2016.-“Guía Metodológica para la presentación de Proyectos de Plantas de Lixiviación”.

CIMM: “El manejo del cianuro en la extracción de Oro”. Traducción de: The Management of Cyanide in Gold Extraction. Mark Logsdon, Karen Hagelstein y Terry Mudder- 2014

Bazán Vanesa(CONICET),Lara Rodolfo (IIM-UNSJ), Brandaleez Elena (UTN-FRG San Nicolás)- Argentina- “Caracterización de minerales refractarios de Oro” XIV Jornadas Argentinas de Tratamiento de Minerales- Catamarca- octubre 2018

Caravaca Moreno, Concepción. “Extracción de Au(CN)₂” –Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Químicas. Univ. Complutense de Madrid- España

Tremolada Julio: “Lixiviación ecológica de Minerales de Cu-Au y Carbonáceos Auríferos mediante tecnología ATS (Tiosulfato de Amonio)”

Aguilar Schefer, Julio A.: “Metalurgia Extractiva del Cu (pirometalurgia e hidrometalurgia)” Universidad Rafael Landívar- Guatemala

Laval University Quebec City Canadá- Department of Mining Metallurgical and Materials Engineering. “Cooper Metallurgy at the Crossroads”- 2007

Departamento de Ciencias de los Materiales-Universidad de Oviedo-España: “Carga de Hornos Altos y Coladas de Arrabio-Descripción de procesos generadores de emisiones”

“Industrialización del Litio y Agregado de Valor Local: informe Tecno-productivo” Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia e innovación- MinCyT- Argentina –Agosto 2015

Patente de invención WO2013049952A1 WIPO (PCT) “Procedimiento de extracción de Litio para la obtención de Carbonato de Litio desde una salmuera o mineral y/o arcilla, previamente tratada para estar libre de Boro”

OIEA : Uranio: De la prospección a la Rehabilitación” Junio 2018

OIEA-OIT: Protección Radiológica Ocupacional en Minería y Tratamiento de Materiales: N° GSG-7-2018

OIEA-OMS: Protección del público contra la exposición en espacios interiores debida al radón y a otras fuentes naturales de radiación- Guía de seguridad específica N° SSG-32

Mercado del Uranio - Situación Actual y Perspectivas – Informe Especial

Dirección Nacional de Promoción Minera. Subsecretaría de Desarrollo Minero Secretaría de Minería. Diciembre 2016

LEY N° 24.804, LEY NACIONAL DE LA ACTIVIDAD NUCLEAR

La Ley es complementada o actualizada por 317 normas (leyes, decretos y resoluciones)

ARN- NORMATIVA AUTORIDAD REGULATORIA NUCLEAR

AR 0.0.1. Licenciamiento de instalaciones Clase I Revisión 2.

Instalaciones Minero Fabriles que incluyen el sitio de disposición final de los residuos radiactivos generados en su operación.

AR 0.11.1. Licenciamiento de personal instalaciones Clase I Revisión 3

AR 0.11.2. Requirimientos aptitud psicofísica p/autorización específica Revisión 2

AR 0.11.3. Reentrenamiento personal de instalaciones Clase I Revisión 1

AR 0.11.4. Licenciamiento de personal de instalaciones Clase II y Clase III del Ciclo de Combustible Nuclear Revisión 0

AR 2.12.1. Criterios de seguridad radiológica para la gestión de los residuos radiactivos provenientes de instalaciones minero fabriles Revisión 0

AR 6.1.1. Exposición ocupacional de instalaciones radiactivas Clase I Revisión 1

AR 6.1.2. Limitación efluentes radiactivos de instalaciones radiactivas Clase I Revisión 1

AR 10.6.1. Sistema gestión para seguridad en las instalaciones y prácticas Revisión 0

Objetivo: Establecer los requisitos para el desarrollo y la implementación de un sistema de gestión que contribuya a asegurar la seguridad radiológica y nuclear, la seguridad y la protección física y las salvaguardias.

AR 10.12.1. Gestión de residuos radiactivos Revisión 3

AR 10.13.1. Norma protección física de materiales e instalaciones nucleares Revisión 1

AR 10.16.1. Transporte de materiales radiactivos Revisión 3

5. Operaciones a cielo abierto

Barton, N. (2015). Using the Q-System. Norwegian Geotechnical Institute.

Beale, G., & Read, J. (2014). Guidelines for Evaluating Water in Pit Slope Stability. CSIRO.

Brady, B. H., & Brown, E. T. (2004). Rock Mechanics for underground mining. Springer.

Hawley, M., & Cunning, J. (2017). Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design. CSIRO.

Hoek, E., & Brown, E. T. (1996). Underground Excavations in Rock. E&FN Spon.

Laubscher, D. H. (1994). Cave Mining Handbook. De Beers.

Ljunggren, C., & Chang, Y. (2003). An overview of rock stress measurement methods.

Martin, D., & Stacey, P. (2018). Guidelines for Open Pit Slope Design in Weak Rocks. CSIRO.

Read, J., & Stacey, P. (2009). Guidelines for Open Pit Slope Design. CSIRO.

Sharon, R., & Eberhardt, E. (2020). Guidelines for Slope Performance Monitoring. CSIRO.

Tatiya, R. R. (2005). Surface and Underground Excavations - Methods, Techniques and Equipment. Taylor & Francis Group.

Ulusay, R. (s.f.). The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014.

Ulusay, R., & Hudson, J. A. (s.f.). The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2006.

Villaescusa, E. (2005). Geotechnical Design for Sublevel Open Stoping. Taylor & Francis Group.

Villaescusa, E., & Potvin, Y. (2004). Ground Support in Mining & Underground Construction. Taylor & Francis Group.

Wyllie, D., & Mah, C. (2005). Rock Slope Engineering. Taylor & Francis.

6. Glaciares, ambientes periglaciares y actividad minera

2016, Marco Ambiental y Social del Banco Mundial, Banco Mundial, Washington, DC

2012, Normas de Desempeño sobre Sostenibilidad Ambiental y Social, IFC Corporación Financiera Internacional, Grupo Banco Mundial, Washington, DC

2013, Los Principios del Ecuador, Una Referencia del Sector Financiero para determinar, evaluar y gestionar los riesgos ambientales y sociales de los proyectos

2006, Banco Interamericano de desarrollo. Política de medio Ambiente y Cumplimiento de Salvaguardias. Washington DC: Serie de Políticas y Estrategias Sectoriales del Departamento de Desarrollo Sostenible

2020, www.icmm.com - International Council on Mining & Metals - ICMM Guidance

2020, www.cyanidecode.org – International Cyanide Management Code

2020, www.caem.com.ar – EITI Iniciativa para la Transparencia de las Industrias Extractivas y HMS Programa Hacia una Minería Sustentable

2020, www.ipa.articportal.org – International Permafrost Association

2011, Mardones, María, González, Liubow, King, Robert, & Campos, Eduardo. Variaciones glaciales durante el Holoceno en Patagonia Central, Aisén, Chile: evidencias geomorfológicas. *Andean-geology*, 38(2), 371-392.

2011, JORGE RABASSA, ANDREA CORONATO, OSCAR MARTÍNEZ, Late Cenozoic glaciations in Patagonia and Tierra del Fuego: an updated review, *Biological Journal of the Linnean Society*, Volume 103, Issue 2, June 2011, Pages 316–335

2018, Ehlers, J., Gibbard, P. L., & Hughes, P. D. Quaternary Glaciations and Chronology. *Past Glacial Environments*, 77–101. doi:10.1016/b978-0-08-100524-8.00003-8

2015, Ambientes Glaciares y Periglaciares: Formación y Desarrollo – Green Cross Argentina

2020, www.unfccc.int– United Nations Climate Change – El Acuerdo de París 2015

1999, Knight, Peter G. *Glaciers*. Stanley Thornes Ltd

2006, Nueva Enciclopedia Temática Biblos 2000, ediciones Euromexico, edición, Los casquetes polares, página 62

2020, www.gms.ch – World Glacier Monitoring Service

2020, The Bridge, Vol. 50, No. 1, Spring 2020, Permafrost Engineering on Impermanent Permafrost. Pag. 16 - National Academy of Engineering, Washington DC

2016, XI. International Conference On Permafrost – Book of Abstracts, Pag. 1089. Potsdam, Germany

2020, www.glims.org

2020, www.wgms.org

2020, www.nsidc.org

2016, XI. International Conference On Permafrost – Book of Abstracts, Pag. 534, Potsdam, Germany

2000, Trombotto D. Survey of Cryogenic Processes, Periglacial Forms and Permafrost Conditions in South America. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, Brasil. 21(1/2): 33-55

2005, Trombotto D. & Ahumada A.L. Los Fenómenos Periglaciales Identificación, Determinación y Aplicación. Opera Lilloana Nr. 45: 131 ps. Fundación, Miguel Lillo", San Miguel de Tucumán, Argentina.

2014, Guía Terminológica de la Geocriología Sudamericana. Trombotto et al. Vazquez Mazzini editores.

Glaciares. Agua del Futuro. Secuencia Didáctica. IANIGLA-CONICET, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Presidencia de la Nación

2020, PERMAFROST MODEL IN COARSE-BLOCKY DEPOSITS FOR THE DRY ANDES, ARGENTINA (28°-33° S)C. TAPIA BALDIS, D. TROMBOTTO LIAUDAT. Cuadernos de Investigación Geográfica N°46 (1) pp.33-58.

2020, RECENT EVOLUTION OF THE ACTIVE LAYER IN THE MORENAS COLORADAS ROCK GLACIER, CENTRAL ANDES, MENDOZA, ARGENTINA AND ITS RELATION WITH KINEMATICS D. TROMBOTTO-LIAUDAT, E. BOTTEGAL. Cuadernos de Investigación Geográfica N°46 (1)

2020, Ice content and interannual water storage changes of an active rock glacier in the dry Andes of Argentina Christian Halla, Jan Henrik Blöthe, Carla Tapia Baldis, Dario Trombotto, Christin Hilbich, Christian Hauck, Lothar Schrott. <https://doi.org/10.5194/tc-2020-29>

2019, Periglacial water paths within a rock glacier-dominated catchment in the Stepanek area, Central Andes, Mendoza, Argentina. Dario Trombotto Liaudat, Noelia Sileo, Cristina Dapeña

2016, Snowmelt contribution to the sustainability of the irrigated Mendoza's Oasis, Argentina: an isotope study. Hector Massone; Daniel Martinez; Alberto Vich; Mauricio Quiroz Londoño; Dario Trombotto; Sebastián Grondona. Environ Earth Sci 75:520. DOI 10.1007/s12665-015-5141-9

IANIGLA-Inventario Nacional de Glaciares. 2018. Resumen ejecutivo de los resultados del Inventario Nacional de Glaciares. IANIGLA-CONICET, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

7. Uso y consumo del agua

Estandar-para-la-minería-responsable-de-IRMA_v.1.0-1

Proyecto "Inventario de recursos para la planificación y gestión de la región andina argentina. Subsistema Físico ambiental", Instituto de Desarrollo Regional (IDR) de la Universidad de Granada, España- Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA, Mendoza)- 2000.

Buenas Prácticas y Uso Eficiente De Agua en la Industria Minera- Comisión Chilena del Cobre-2007.

ICMA-Green Bond Principles-2018.

Informe sobre la Gestión del Agua en la Argentina- A. Calcagno et al- World Water Vision-2000

Proyecto “Caracterización y análisis multidisciplinario de la información hidrológicas en cuencas”- Ing. Agr. Carlos Brieva-INTA-2018.

Simposio “Valorización Del Uso De Los Recursos Hídricos Para La Industria”- Unión Industrial de la Provincia de Buenos Aires- Presentación Ing. José Luis Inglese-Sept.2012.

8. Gestión de residuos sólidos y líquidos

Ministerio de Desarrollo Productivo-Secretaría de Minería-Plan Estratégico para el Desarrollo Mine-ro Argentino- Junio de 2020

The Warren Centre- University of Sydney- “Zero Emission Cooper mine of the future” –wc4975 – mayo de 2020.

SERNAGEOMIN-“Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mi-neras” – 2015- 248 pp

Earthworks.org- “La seguridad ante todo- Lineamientos para el Manejo Responsable de Relaves” junio 2020. Miningwatch.ca/es/la-seguridad-ante-todo

Initiative for Responsible Mining Assurance, 2018- IRMA Standard for Responsible Mining IRMA-STD-001

GRIDA NO-“Towards zero harm compendium”-Global Tailings Review, 05-08-2020

The International Network for Acid Prevention- Global Acid Rock Drainage Guide (GARD) - 2009

ICMM, UN, PRI-“Estandar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera- Borrador Final” Agosto 2020.

Mining Association of Canada-Mine Environmental Neutral Drainage- “Study of Tailings Manage-ment Technologies”- MEND Report 2.50.1- Octubre 2017

IRMA Standard for responsible Mining-IRMA STD-001- Junio 2018- www.responsiblemining.net

IIMC- Instituto Internacional para el manejo del Cianuro- Código del Cianuro- www.cyanidecode.org

IIGD-Instituto de Investigación Geológico Minero- Ecuador “Manual para el Inventario de Pasivos Ambientales Mineros- Mayo 2020

European Commission- DG Environment: Supporting document on closure methodologies for clo-sed and abandoned mining waste facilities- Abirl 2012

SERNAGEOMIN-Ministerio de Minería- Chile: “Estudios de Normativas Internacionales de diseño, construcción, operación, cierre y post-cierre de Depósitos de Relaves- Informe Final V.4- Junio de 2018

World Bank Group- Climate Sensitive Mining: Case Studies

9. Presas de relaves

<https://www.icmm.com/>

<https://www.icmm.com/en-gb/environment>

<https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/e255ea3a-34be-4caf-886e-e8e2de66475f/0000199659ESes%2BMining-%2Brev%2Bcc.pdf?MOD=AJPERES&CVID=jkD2CNu>

<https://eiti.org/>

<https://rmis.jrc.ec.europa.eu/>

<https://www.mining.bc.ca/>

<https://www.oma.on.ca/en/ontariomining/EconomicContribution.asp>

<https://www.oma.on.ca/en/Mining-Builds-a-Better-World.asp>

<https://www.oma.on.ca/en/ontariomining/EnvironmentalStewardship.asp>

<https://mining.ca/wp-content/uploads/2019/12/TSM-Booklet-EN-Web.pdf>

<https://www.ec.gc.ca/lcpe-cepa/documents/codes/mm/mm-eng.pdf>

<http://informacionminera.produccion.gob.ar/>

http://informacionminera.produccion.gob.ar/assets/datasets/2019-11%20Portfolio%20of%20Metaliferous,%20Lithium%20and%20Uranium%20Mining%20Projects%20of%20the%20Republic%20of%20Argentina%20%20_DfYDPM.pdf

10. Cierre de minas

Barton, N. (2015). Using the Q-System. Norwegian Geotechnical Institute.

Beale, G., & Read, J. (2014). Guidelines for Evaluating Water in Pit Slope Stability. CSIRO.

Brady, B. H., & Brown, E. T. (2004). Rock Mechanics for underground mining. Springer.

Hawley, M., & Cunning, J. (2017). Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design. CSIRO.

Hoek, E., & Brown, E. T. (1996). Underground Excavations in Rock. E&FN Spon.

Laubscher, D. H. (1994). Cave Mining Handbook. De Beers.

Ljunggren, C., & Chang, Y. (2003). An overview of rock stress measurement methods.

Martin, D., & Stacey, P. (2018). Guidelines for Open Pit Slope Design in Weak Rocks. CSIRO.

Read, J., & Stacey, P. (2009). Guidelines for Open Pit Slope Design. CSIRO.

Sharon, R., & Eberhardt, E. (2020). Guidelines for Slope Performance Monitoring. CSIRO.

Tatiya, R. R. (2005). Surface and Underground Excavations - Methods, Techniques and Equipment. Taylor & Francis Group.

Ulusay, R. (s.f.). The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014.

Ulusay, R., & Hudson, J. A. (s.f.). The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2006.

Villaescusa, E. (2005). Geotechnical Design for Sublevel Open Stopping. Taylor & Francis Group.

Villaescusa, E., & Potvin, Y. (2004). Ground Support in Mining & Underground Construction. Taylor & Francis Group.

Wyllie, D., & Mah, C. (2005). Rock Slope Engineering. Taylor & Francis.

Centro Argentino de Ingenieros

Twitter: @CAIngenieros

Instagram: @centroargentinoingenieros

Youtube: https://www.youtube.com/channel/UCvKViEMB0eH9IOTwNj_oJBg

Facebook: <https://www.facebook.com/centroargentinodeingenieros>

Linkedin: <https://www.linkedin.com/company/cai-centro-argentino-de-ingenieros/>

Página web: <http://cai.org.ar>

Academia Nacional de Ingeniería

Twitter: @aningenieria

Instagram: @aningenieria

YouTube: <https://youtube.com/channel/UCVdSMNFJE0GuO8g6KHxE3nQ>

Página web: <https://acading.org.ar>

Mayo 2021



Fotos: gentileza CAEM Archivo CAI Antamina Yamana Gold.