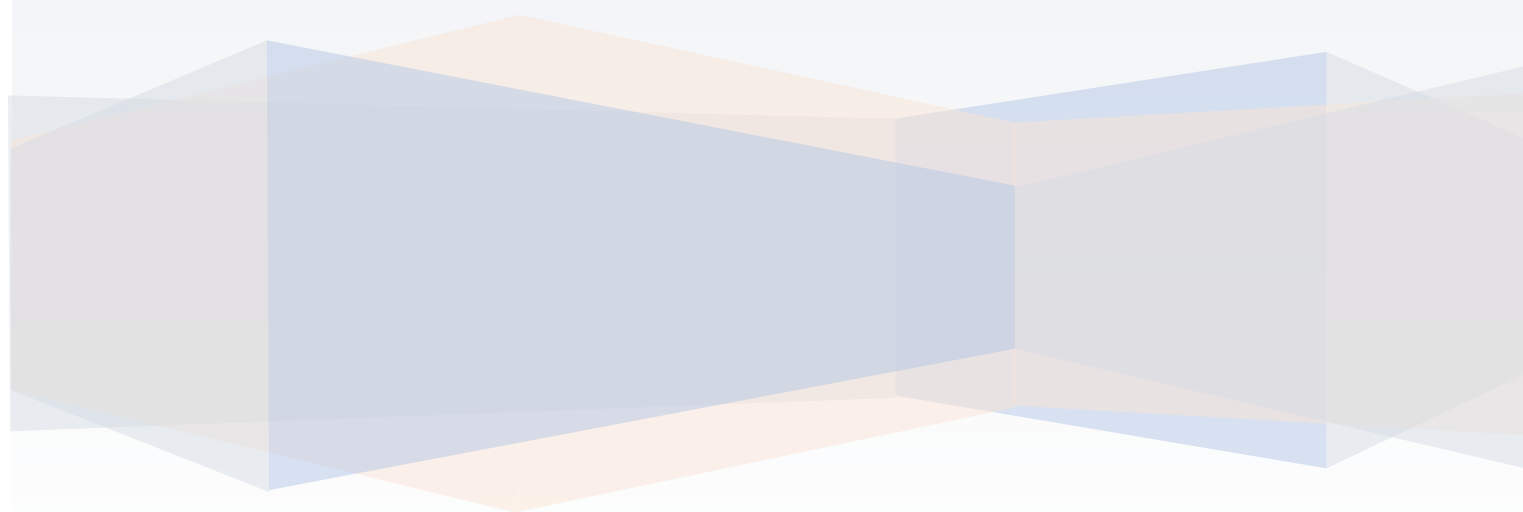


Hacia una minería sustentable

Guía para la administración del agua
y cuencas circundantes en los proyectos mineros
de clase mundial



La Cámara Argentina de Empresarios Mineros –CAEM– fue fundada en el año 1957 con una visión innovadora para el respaldo a la industria argentina.

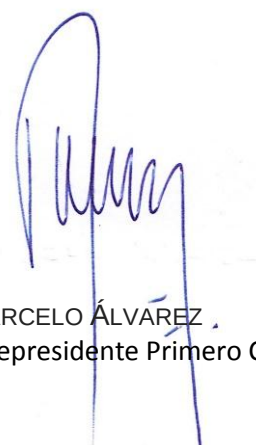
La CAEM ha evolucionado con los tiempos de cambio, el avance de la tecnología y el desarrollo de la ciencia aplicada, por lo que hoy decide implementar el programa más innovador en materia de sustentabilidad en la industria extractiva.

***Hacia una minería sustentable –HMS–** es el resultado de muchas experiencias acumuladas desde los inicios de la minería en la humanidad y las lecciones aprendidas, que forjaron los cimientos para la creación de esta iniciativa en Canadá.*

La CAEM decidió adoptarla en la Argentina y ponerse a la vanguardia de una industria responsable, transparente y comunicativa.

Respetuosos de los cambios socioculturales y los paradigmas que los sostienen, la aplicación del HMS aspira a demostrar la etapa adulta de la industria extractiva como el camino a seguir por otros sectores industriales en el país.

Invitamos a todos los operadores a sumarse al cambio histórico que esto representa y ser protagonistas activos de la difusión, educación y, sobre todo, de la nueva actitud hacia un planeta que merece el mayor de los cuidados para garantizar la sustentabilidad de todos sus sistemas delicadamente articulados e interconectados.



MARCELO ÁLVAREZ
Vicepresidente Primero CAEM

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	5
PARTE 1. ANÁLISIS DEL RIESGO EN LA ADMINISTRACIÓN DEL AGUA	8
1.1. Impulsores para los riesgos operacionales	10
1.2. Impulsores para los riesgos estratégicos	12
PARTE 2. GESTIÓN DEL AGUA	14
2.1. Posibles regulaciones	14
2.1.1. Gobernanza corporativa del agua	14
2.1.2. Creación de la capacidad organizativa para la gestión del agua	15
2.1.3. Compromisos voluntarios	19
2.2. Iniciativas de la industria minera	19
2.3. Regulaciones nacionales y provinciales en la República Argentina	20
2.3.1. Política hídrica y ejes transversales	22
2.3.2. Organización de cuencas	22
2.3.3. Biblioteca de los recursos hídricos	26
2.3.4. Marco legal del manejo del agua en la República Argentina	27
PARTE 3. GESTIÓN DEL AGUA DE CAPTACIÓN	30
I. RIESGOS REGIONALES Y DEL AGUA DE CAPTURA	30
3.1. Enfoque basado en la captación	31
3.1.1. ¿Qué es un enfoque basado en cuencas para la gestión del agua?	32
II. PLANIFICACIÓN DE LA CAPTACIÓN Y PARTES INTERESADAS PRINCIPALES	34
3.2. Instituciones que regulan la gestión del agua	36
3.3. Planificación regional y de gestión de cuencas	38
3.4. Partes interesadas de la cuenca	38
3.4.1. Las comunidades	39
3.5. El nexo agua-energía-comida	40
III. ENFOQUE DE GESTIÓN DEL AGUA BASADA EN LA CAPTACIÓN	41
3.6. Establecimiento de la escala de captación apropiada	43
3.7. Desarrollo de una línea de base hidrológica	43
3.8. Identificación de las principales características de los recursos hídricos	44
3.9. Evaluación y predicción del cambio hidrológico y del balance hídrico	45
3.10. Base técnica para la gestión del agua a escala de cuenca	45
3.11. Cambio climático y variabilidad climática	46
3.12. Flujos ambientales	47
3.13. Estigofauna: un caso testigo	49

PARTE 4. GESTIÓN OPERATIVA DEL AGUA	50
I. PLANIFICACIÓN DEL AGUA Y GESTIÓN ADAPTATIVA	50
4.1. Planificación del manejo del agua	51
4.1.1. Plazos de planificación y preparación	51
4.1.2. Herramientas, técnicas y aplicaciones	52
4.1.3. Planificación de la gestión del agua	53
4.2. Gestión del agua adaptativa y basada en riesgos	54
4.2.1. Enfoque basado en riesgos	54
4.2.2. Gestión adaptativa del agua	55
4.2.3. Objetivos, estrategias y planes operativos	56
4.3. Estrategia para el manejo del agua	57
4.3.1. Planes de gestión del agua a mediano y largo plazo	57
4.3.2. Procedimientos operativos.....	58
II. INTERACCIÓN ENTRE EL SISTEMA OPERATIVO DE AGUA MINA Y LA CAPTACIÓN	60
4.4. Agua superficial.....	61
4.5. Agua subterránea.....	65
4.6. Valores ambientales.....	69
4.7. Recursos hídricos y suministro	70
4.8. Impactos acumulados	73
4.9. Cierre de mina.....	74
III. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE AGUA DE MINA.....	77
4.10. Agua superficial.....	78
4.10.1. Separación efectiva del agua superficial afectada por la mina y del agua no afectada	78
4.10.2. Erosión y control de sedimentos.....	79
4.11. Agua subterránea.....	80
4.11.1. Flujos de agua subterránea en <i>pits</i> a cielo abierto	80
4.11.2. Flujos de agua subterránea debajo de la capa freática.....	81
4.11.3. Reinyección.....	81
4.11.4. Monitoreo de aguas subterráneas	82
4.12. Sistema de agua de mina	82
4.13. Recopilación y gestión de datos	84
IV. MANTENIMIENTO Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA DE MINA	86
4.14. Funciones y responsabilidades.....	86
4.15. Minería subterránea	86
4.16. Procesamiento y relaves	87
4.16.1. Principios de una buena gestión del agua en el procesamiento	88
4.17. Control de la evaporación	89
4.18. Lixiviación	90
4.19. Eficiencia energética del sistema de agua de mina.....	90

PARTE 5. MONITOREO E INFORMES	91
I. INFORME Y PROCESOS CONTABLES.....	91
5.1. Informes corporativos y estatutarios	91
5.2. Contabilización del agua	92
5.3. Modelo de balance hídrico	93
II. MONITOREO, AUDITORÍA Y REVISIÓN	95
5.4. Monitoreo del sistema físico.....	95
5.4.1. Características esenciales de la práctica líder	96
5.4.2. Monitoreo del agua en el sitio y en la cuenca.....	96
5.4.3. Calidad del agua y monitoreo ambiental	98
5.5. Evaluación de rendimiento e informes.....	99
5.6. Revisión de cuentas – auditorías	100
GLOSARIO TÉCNICO	101
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	109

INTRODUCCIÓN

Los gobiernos, las poblaciones y las industrias experimentan una preocupación sin precedentes sobre los recursos hídricos del planeta, a partir del incremento demográfico, los efectos del cambio climático y las prácticas inapropiadas de su uso. Esta preocupación tiende a incrementarse progresivamente. En este escenario, la población en general y las cercanas a los proyectos mineros metalíferos, en particular, tienen expectativas crecientes sobre cómo los grandes usuarios próximos a sus comunidades administran y hacen uso del agua.

Administrar, identificar y gestionar los riesgos comerciales relacionados con el agua, comprender y mitigar los impactos adversos sobre los ecosistemas y las comunidades, y contribuir a una gestión más sostenible del agua dulce son una obligación y una responsabilidad indelegables de las compañías mineras.

Dentro de la industria minera de clase mundial está arraigado el concepto de que una gobernanza pública, sólida y efectiva en esta dirección es fundamental para la viabilidad comercial a largo plazo de las industrias.

Las empresas mineras deben desempeñar un papel central para ayudar a lograr este objetivo. Con tal fin, es necesario que los proyectos mineros mejoren la eficiencia en el uso del agua dentro de sus propias operaciones, fomentando las buenas prácticas en toda su cadena de suministro para avanzar en la gestión sostenible del agua.

El objetivo de esta guía es compartir con el personal corporativo y operativo de la industria minera los enfoques prácticos tendientes a mejorar la gestión del agua y reducir o mitigar el riesgo, haciendo uso de las mejores prácticas disponibles.

La administración del agua cubre aspectos operativos, estratégicos y organizacionales. Las complejidades asociadas con su gestión pueden existir por encima del nivel de una sola operación y pueden ser importantes en toda una región, en toda la empresa o incluso en la industria, en el contexto nacional o mundial.

En algunos casos, estos problemas –sin la gobernanza adecuada y sin la implementación de las mejores prácticas disponibles– han dado lugar a un riesgo financiero para las empresas debido a demoras en la aprobación de proyectos, incertidumbre regulatoria, limitaciones en la producción, daños a la propiedad e impactos reputacionales irreversibles en regiones o, incluso, a nivel global.

Las comunidades involucradas o comunidades de interés (COI) esperan que las empresas mineras comprendan mejor la interacción de la minería con la gestión de los recursos hídricos en toda la cuenca, y que adopten medidas que tengan impactos acumulativos neutros o positivos. *El acceso al agua se reconoce como un derecho humano básico y un requisito fundamental del ecosistema.*

- A nivel estatal y nacional, los cambios regulatorios requieren una evaluación integral del impacto del proyecto en el recurso hídrico.
- A nivel mundial, los representantes de los accionistas, las organizaciones no gubernamentales y las instituciones financieras están fomentando el desarrollo de estándares para que las empresas reconozcan que el agua es un recurso compartido con un alto valor social, cultural, ambiental y económico.

En conclusión, estas prácticas y conductas requieren una mayor divulgación, rigurosidad técnica y transparencia por parte de las empresas respecto de los riesgos para la gestión del agua, incluidos los riesgos operativos y de captación. Las mejores prácticas evolucionan constantemente a medida que las operaciones mejoran como resultado de nuevas ideas, nuevas tecnologías o un mayor esfuerzo. Esta evolución positiva siempre será dinámica y cada vez más desafiante. Por lo tanto, la práctica líder es un proceso de mejora continua en permanente ejecución, y no solo un punto auditable.

.....

Esta guía se ha estructurado para identificar, mitigar o evitar una amplia gama de riesgos para la gestión del agua.

.....

El agua debe ser administrada en todas las etapas del ciclo de vida de la operación minera. Por lo tanto, el alcance de esta guía abarca todas las etapas del proceso minero: la prospección, la exploración básica y la avanzada, el diseño, el estudio de factibilidad, la construcción, la operación y el cierre de mina.

En lugar de describir en cada etapa del proceso –en forma secuencial– los problemas asociados con una o más etapas, estos se destacan en la parte correspondiente. De esta forma, el **ciclo de vida de la mina (LOM)** está integrado en la estructura de la presente guía.

La administración del agua involucra muchas disciplinas, entre otras, la ingeniería civil, la ingeniería química, la ingeniería industrial, la ingeniería hidráulica, la biología, la ecología, la hidrogeología, la hidrología, la meteorología, la topografía, las ciencias sociales y de la comunicación, la salud y la seguridad. Esta guía ofrece una visión general dirigida a todas esas disciplinas.

Parte 1

Análisis del riesgo en la administración del agua

Esta sección describe por qué las compañías mineras deben invertir tiempo y dinero en la optimización de la identificación de las causas que pueden generar riesgos operacionales y estratégicos en la gestión del agua.

Parte 2

Gestión del agua

La gestión del agua se refiere a la variedad de sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos que existen para la planificación estratégica de los recursos hídricos. Esta parte de la guía proporciona una descripción general de los posibles marcos normativos habituales para el agua y que las empresas deben cumplir para proteger los recursos hídricos, aun no teniendo legislación nacional o local en algunos países.

La gestión del agua se aplica a los estándares, sistemas y responsabilidades de la compañía, así como a los procesos necesarios para involucrar y coordinar el uso del recurso entre los múltiples interesados en una cuenca.

Las principales iniciativas para el manejo del agua promovidas por la industria minera, el sector financiero y diversas organizaciones no gubernamentales también están desarrolladas en forma general en esta sección.

Parte 3

Gestión del agua de captación

La administración del agua implica hoy, cada vez más, la consideración de cuestiones relacionadas con el agua más allá de los límites operacionales. Requiere un compromiso proactivo con las partes interesadas relevantes. En esta sección se proporciona una visión general de cómo el agua es considerada un recurso compartido y finito con un alto valor social, cultural, ambiental y económico.

Los proyectos mineros deben comprender su propio uso del agua, así como el contexto de la cuenca o cuencas donde estén situadas. La administración y la planificación del agua de captación constituyen un ítem indispensable.

Esta guía brinda orientación sobre cómo comprender los riesgos relacionados con los recursos regionales de aguas superficiales subterráneas, los cambios hidrológicos, las variaciones y cambios climáticos y los flujos ambientales básicos.

Parte 4

Gestión operativa del agua

Esta sección describe los elementos de la práctica principal de la gestión operativa del agua. Se enfatiza la importancia de adoptar un enfoque basado en el riesgo, así como la construcción en los plazos adecuados para gestionarlo.

A fin de alinear las acciones con el nivel de riesgo, es primordial establecer objetivos claros, fijar la estrategia del agua del sitio y el plan de gestión del agua de la mina. Esta parte de la guía desarrolla cómo comprender la interacción de la mina en la cuenca circundante, cómo desarrollar y operar la mina y cómo optimizar el sistema de agua. Se descuenta que habrá diversos grados de complejidad, dependiendo de la naturaleza de la operación y las condiciones geológicas e hidrológicas de cada proyecto minero.

Parte 5

Monitoreo e informes

El desarrollo de balances que identifiquen todas las entradas y salidas de agua para el sitio es un paso clave para comprender los flujos hídricos y las oportunidades de mejora en la administración del agua y la afectación a la cuenca. Esta sección brinda orientación sobre los procesos de monitoreo, auditoría y elaboración de informes de acuerdo con las mejores prácticas disponibles.

PARTE 1

ANÁLISIS DEL RIESGO EN LA ADMINISTRACIÓN DEL AGUA

Ideas clave

- El agua es una parte integral de todas las operaciones. Ninguna mina puede operar sin gestionar el agua.
 - Más de dos tercios de los proyectos mineros encuentran exposición al riesgo hídrico en sus operaciones.
 - La mitad de los proyectos mineros han experimentado impactos perjudiciales relacionados con el riesgo hídrico durante los años de operación.
 - Más de un quinto de los proyectos mineros estuvieron expuestos al riesgo hídrico.
- Los riesgos y las oportunidades se deben gestionar a nivel corporativo y de sitio para garantizar que el valor para los accionistas se maximice, que la producción sea segura y que los valores ambientales y de la comunidad asociados con el agua se mantengan o mejoren.
- El apoyo de la alta gerencia del sitio y el liderazgo corporativo resultan clave para dirigir la gestión del agua en la práctica.

El **riesgo del agua** no se trata solo de tener agua insuficiente para las operaciones del sitio, sino también del desafío de manejar grandes volúmenes de agua como resultado de inundaciones o de aguas provenientes del drenaje de minas subterráneas o a cielo abierto.

La **calidad del agua** es un tema de creciente preocupación, especialmente para las comunidades y los entornos dependientes del agua en cuencas que pueden verse afectadas por las operaciones mineras. Para las empresas, una gestión deficiente del agua puede generar un riesgo financiero derivado de la demora en la aprobación de los proyectos, las limitaciones de la producción, los daños a la propiedad y una regulación más estricta.

Si el agua no está bien administrada, la calidad del mineral y del producto pueden verse comprometidas, lo que resulta en costos operativos más altos y una pérdida potencial de participación en el mercado. Los sitios con problemas de agua requieren un mayor monitoreo y auditoría para lograr el cumplimiento ambiental. Esto se traduce, por un lado, en una mayor

carga de gestión para la empresa, y por el otro, en el potencial para atraer un mayor control y percepción negativa por parte de los gobiernos y entes reguladores.

Más allá de la operación, una **mala reputación en la administración del agua** puede contribuir a la pérdida del atractivo de la inversión, del valor para los accionistas y del acceso a otros recursos (agua, mineral y tierra). La mala administración del agua puede ser, asimismo, motivo de preocupación para las comunidades locales y otros usuarios del agua, y esa preocupación puede dañar la reputación empresarial y erosionar la licencia social de la empresa para operar, lo que puede ser muy costoso para remediar a largo plazo. Los impactos de la gestión deficiente del agua podrían no solo sentirse a nivel local, sino que podrían intensificarse rápidamente y convertirse en problemas nacionales e internacionales, y pueden ser mucho más dañinos desde el punto de vista financiero que los impactos a nivel operacional. La experiencia indica que *las empresas que toman medidas para gestionar el agua estratégicamente están demostrando ser mejores actores financieros*.

Con demasiada frecuencia, la gestión del agua en los proyectos mineros toma un enfoque reactivo a corto plazo que se basa en la disponibilidad estacional del agua y en las necesidades inmediatas para proveer los requerimientos operativos. Este enfoque aumenta el riesgo de que las prioridades de gestión se vinculen estrechamente **solo a las necesidades** y se ajusten demasiado a un escenario de balance hídrico: es decir, una atención intensa en tiempos de escasez o excedente y una atención inadecuadamente baja en otros momentos.

Los plazos de planificación operativa también suelen ser cortos, de uno a dos años. Sin embargo, *los plazos necesarios para gestionar los riesgos del agua son más largos*, porque implican incertidumbres técnicas significativas, compromiso de las partes interesadas y las políticas, y el desarrollo de controles para mitigar o prevenir problemas relacionados con el agua durante el LOM. Por lo tanto, la consideración del riesgo requiere que las variables operacionales y estratégicas y su incertidumbre se evalúen a lo largo del ciclo de vida de la mina, incluso después del cierre, en lugar de reaccionar a las condiciones actuales, recientes y en virtud de cubrir solo necesidades operativas.

La administración del agua no es solo una tarea de gestión ambiental. Los riesgos operacionales y estratégicos asociados con la gestión del agua deben estar bien controlados por un equipo proveniente de todos los sectores técnicos de las operaciones de la mina. Es necesario un enfoque integrado para la gestión del riesgo hídrico, ya que es probable que existan riesgos hídricos múltiples e interdependientes dentro de una misma operación minera. En particular, los cambios en el balance hídrico operacional general pueden dar como resultado diversos desafíos en el suministro de agua, el almacenamiento y la calidad, que se manifiestan a lo largo de diferentes períodos de tiempo. En conclusión, las mejores prácticas en la administración del agua requieren *un enfoque colaborativo y práctico a más largo plazo*, que tenga en cuenta los riesgos hídricos operativos y estratégicos para gestionar los recursos de manera responsable.

Esta parte de la guía describe los factores que desencadenan los riesgos del agua, incluidos los riesgos estratégicos operativos y a largo plazo.

En una operación minera, para cumplir con los objetivos comerciales y de desarrollo sostenible, deben ser manejadas **tres consideraciones interdependientes** en todas las etapas del ciclo de vida:

- generar productos minerales,
- proteger los ecosistemas de los que la operación extrae recursos y en los que libera productos de desecho o agua, y

- mantener los valores sociales y culturales que la operación puede afectar.

En la práctica, el argumento de negocio para la gestión del agua se basa en el riesgo de no administrar estas consideraciones y de no aprovechar las oportunidades para mejorar el rendimiento. También está relacionado con la administración de los riesgos estratégicos de mayor nivel que pueden resultar para la compañía.

La regulación ambiental es cada vez más estricta. Cumplir con los requisitos legales y administrar el riesgo comercial relacionado con el agua requiere una estrategia empresarial proactiva.

La buena administración del agua también puede brindar la oportunidad de respaldar nuevas aprobaciones, establecer relaciones con partes interesadas externas y asegurar la licencia social y regulatoria a largo plazo de la compañía para operar en ese u otros territorios.

1.1. Impulsores para los riesgos operacionales

Los **riesgos operacionales** resultan de:

- la comprensión inadecuada de los desafíos técnicos de la administración del agua;
- la incapacidad de comprender la incertidumbre involucrada en el desarrollo de soluciones para desafíos hídricos complejos, y/o
- una planificación inadecuada que no tiene en cuenta el mayor plazo requerido para mitigar el riesgo hídrico.

Si no se evitan, mitigan y gestionan estos riesgos, se producen impactos en la cantidad y la calidad del agua y, en muchos casos, en ambos al mismo tiempo. Estos riesgos tienen un gran potencial para *interrumpir o reducir la producción, aumentar los costos de producción y dañar la reputación* de la compañía ante otros usuarios del agua, el gobierno y la comunidad en general.

Los riesgos operacionales incluyen los puntos que se detallan a continuación.

- La insuficiente atención a la seguridad del suministro puede ocasionar:
 - escasez de agua, con la consiguiente reducción de los ingresos por pérdida de producción a mediano plazo;
 - el pago de altos precios del agua cuando se intenta comprar en épocas de sequía;
 - pérdida potencial de cuota de mercado debido a percepciones de falta de fiabilidad del suministro del producto, y
 - tensiones sociales que surgen de la competencia con otros usuarios del agua por el acceso a esta.
- La mala gestión y el exceso de uso del agua puede ocasionar incumplimientos de la licencia, impactos ambientales y multas, así como la pérdida del apoyo de la comunidad para la operación en caso de descargas descontroladas e impactos producto de los drenajes. Cuando el agua se adquiere a partir de los períodos de fuertes lluvias, los errores en el cálculo del almacenamiento pueden comprometer la viabilidad de la operación en tiempos secos.
- Una atención inadecuada a la gestión de la calidad del agua puede dar como resultado reducciones de la recuperación de minerales, compromisos de calidad del producto o incumplimientos de las reglamentaciones, todo lo cual no será bienvenido por el mercado.
- Puede haber costos adicionales en la gestión del exceso de agua de peor calidad en el sitio. La salud y seguridad personales también pueden verse comprometidas si el agua

potable (apta para el consumo humano) de la dotación de empleados y contratistas no se trata o maneja adecuadamente.

- Los costos fiscales y reputacionales pueden asociarse con la falta de gestión del impacto del drenaje de agua de baja calidad en los ecosistemas acuáticos y en el valor del agua agrícola y recreativa (muertes de peces, poblaciones e impactos a la salud humana) en el ambiente que la recibe.
- El uso excesivo de agua dulce o potable, cuando otras aguas aptas para el uso serían suficientes, puede socavar la reputación de una compañía como administrador responsable del agua.
- La consideración inadecuada del agua en los planes de cierre puede afectar las finanzas o la reputación de la compañía. Por ejemplo, los impactos en la calidad del agua o el rebote de la capa freática pueden dar lugar a pasivos a largo plazo si las mitigaciones no se han planificado y aplicado correctamente.

Una revisión reciente de los planes de cierre de minas en Australia mostró que muchos sitios tienen evaluaciones relativamente optimistas y una comprensión inadecuada de la incertidumbre técnica para el requisito de tratar el agua después del cierre de la producción (Byrne, 2013).

- La revisión encontró que muchas compañías incluyeron monitoreo solo durante uno o dos años después de la fase de ejecución del cierre. El mayor enfoque en los efectos acumulativos también requiere plazos de cierre más largos, según la complejidad del proyecto y de la cuenca hídrica. Las expectativas sobre el cierre están creciendo, y los reguladores están estableciendo requisitos para que los sitios vuelvan como mínimo a las condiciones de referencia o a nuevas condiciones acordadas con la comunidad de interés.
- Las prácticas operativas deficientes y las ineficiencias resultantes pueden generar sanciones y costos operativos y de capital “ocultos”, como cargos por volumen de agua y costos de mantenimiento, costos de energía asociados con bombeo de agua innecesario, reinyección no prevista, transferencia *in situ* entre almacenamientos, y altos costos ambientales legados al cierre.
- Los impactos sobre la accesibilidad al mineral y los índices de extracción, así como los cambios operativos causados por problemas de gestión del agua, también pueden generar costos adicionales importantes.

1.2. Impulsores para los riesgos estratégicos

Si los desafíos de la administración del agua no se gestionan eficazmente, si la reputación de la empresa se ve comprometida o si no se respetan las normas, los valores y la ética empresariales, las compañías mineras se enfrentarán con una serie de *riesgos estratégicos a más largo plazo*.

Los riesgos estratégicos generalmente requieren que las compañías mineras miren más allá del perímetro del sitio minero y consideren los riesgos, actuales y futuros, en la cuenca o a escala regional.

Estos riesgos también pueden afectar el éxito operacional, la administración y la sostenibilidad general de los recursos hídricos. Los impactos reputacionales de la mala gestión del agua en un sitio se pueden reflejar en todo el sector minero. Las implicaciones financieras del bajo rendimiento en la gestión de los riesgos estratégicos pueden ser mucho mayores que los riesgos directos de tipo operativo.

Los riesgos estratégicos incluyen todos los puntos que se detallan a continuación.

- **Aumento de la preocupación social.** Las operaciones mineras acceden a los recursos hídricos que se comparten con las comunidades locales y otros usuarios. El acceso de la comunidad a suficientes recursos hídricos de calidad adecuada es un **derecho humano** reconocido. Las preocupaciones sobre el agua a menudo reflejan los impactos reales de las actividades mineras en los recursos hídricos, pero también pueden surgir de las *percepciones y expectativas de las comunidades sobre la administración del agua*. Ambas deben ser tenidas en cuenta por las empresas a medida que desarrollan enfoques estratégicos adecuados a largo plazo para minimizar los riesgos y evitar o reducir los impactos. En última instancia, el permiso que la sociedad otorga a la industria para producir minerales (la licencia social para operar) puede verse comprometida, con serias implicaciones para la viabilidad del proyecto y la reputación de la compañía. La operación minera necesita *comprometerse con la comunidad local* y otras partes interesadas para comprender los usos actuales y futuros del agua y el valor que esos actores ponen en ese líquido vital, y luego incorporar esa comprensión en la planificación hídrica estratégica y del sitio. La interacción entre las comunidades locales y la gestión del agua de mina depende en gran medida del contexto hídrico local, por lo que ningún enfoque individual se adaptará a todas las situaciones.
- **Regulación creciente.** Los sitios operan dentro del consentimiento y las condiciones de política que regulan directa o indirectamente el acceso, uso y disposición del agua dentro de una cuenca o región. Existe una mayor injerencia de las partes interesadas que, sin duda, ejerce presión sobre las autoridades locales, regionales y nacionales para que estas desarrollen *controles más estrictos* sobre el uso del agua, por un lado, y la descarga de aguas residuales, por el otro, con el fin de proteger el ambiente y las comunidades circundantes. El aumento de la regulación también se produce a través de una gestión deficiente del agua de una compañía minera individual o de varios proyectos locales (de uno o más operadores), dentro de un estado o región minera. Esto puede aumentar el costo de administración de los recursos hídricos y limitar las oportunidades para el desarrollo o la expansión de las operaciones mineras en esa región, provincia o país.
- **Impactos acumulativos.** El impacto acumulativo de las actividades del sitio sobre los recursos hídricos regionales y los ecosistemas que respaldan es un tema de creciente preocupación y regulación. Los efectos acumulativos de la gestión del agua de múltiples proyectos pueden afectar los activos sociales, así como a otros usuarios de agua. La incertidumbre sobre cómo se ven afectados los sitios, así como sobre los enfoques regulatorios y de gestión más apropiados para múltiples proyectos, representa un desafío considerable para las empresas, otros usuarios y partes interesadas. Se necesitan soluciones para el uso del agua que consideren *enfoques colaborativos a largo plazo*, en la propia cuenca, para gestionar adecuadamente los impactos acumulativos actuales y futuros.
- **Variabilidad climática y cambio climático.** Es necesario estimar, planificar y monitorear el cambio en la disponibilidad de agua como resultado de la variabilidad climática y el cambio climático a lo largo del LOM. Se espera que el cambio climático tenga impactos significativos en la disponibilidad, tanto sobre el exceso como la falta de agua. Los riesgos relevantes se derivan de la incertidumbre sobre la magnitud de los impactos, y también sobre la frecuencia de los principales eventos climáticos con posibles consecuencias en la producción y la infraestructura. Un desafío adicional es el modo en que la regulación refleja dicha incertidumbre, ya que una regulación inadecuada puede exponer a las compañías a violaciones de otras regulaciones o la pérdida de productividad, incluido el cierre anticipado de las operaciones,

con el consiguiente impacto a nivel corporativo, en los aportes económicos de la región y el área circundante y en la expectativa fiscal de los gobiernos locales.

- **Inversores: comprensión del problema y divulgación.** Los inversores institucionales exigen cada vez más a las empresas que revelen su riesgo hídrico, incluidos sus riesgos sociales, ambientales, operativos y de la cadena de suministro. Esto obedece a que entienden el vínculo entre el riesgo hídrico y la exposición financiera de sus inversiones debido a la escasez de agua, los impactos de las inundaciones o los requisitos de remediación. Esta tendencia continuará impulsando una mayor y más frecuente divulgación sobre la gestión del agua, pasando de los informes a nivel corporativo a los informes en el sitio y la cuenca específica. Actualmente, los inversores están desarrollando nuevos métodos para comparar públicamente las empresas sobre la base del riesgo del agua.
- **Cadena de suministro del agua.** Los riesgos asociados con la actividad de adquisición de agua representan una creciente preocupación para muchas compañías. En ciertos lugares y/o en ciertos periodos del proceso minero, algunas compañías no pueden procurarse el agua por sí mismas y requieren los servicios tercerizados de proveedores específicos. Los ejemplos de riesgo de la cadena de suministro incluyen los asociados con el suministro de energía y las credenciales de gestión del agua de los principales proveedores de equipos y servicios en el área local.

Pocos proyectos mineros informan a sus corporaciones y a los entes reguladores sobre la exposición al riesgo del agua en su cadena de suministro, y de estos son muy pocos los que exigen que sus proveedores informen sobre el uso, los riesgos y la gestión del agua antes de realizar un contrato de suministro.

PARTE 2

GESTIÓN DEL AGUA

Ideas clave

- La gobernanza del agua se refiere a la gama de sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos que existen para gestionar los recursos hídricos por parte de los gobiernos, las empresas y las personas.
- La responsabilidad principal del agua en general pertenece a los estados, donde los derechos para administrar y controlar las aguas recaen, en el caso de la Argentina, en los gobiernos provinciales.
- La industria minera debe cumplir con las regulaciones gubernamentales, además de una serie de iniciativas lideradas por la industria para administrar los recursos hídricos en forma responsable.

2.1. Posibles regulaciones

La **gobernanza del agua** abarca los sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos que existen para administrar los recursos hídricos por parte de los gobiernos, las empresas y las personas.

El entorno regulatorio se está moviendo, en algunos países y en la conciencia de las sociedades donde están presentes los proyectos mineros, hacia la necesidad de considerar los impactos en *una escala más regional o de cuenca*, en lugar de la escala exclusiva del sitio que se consideró hasta estos días.

2.1.1. Gobernanza corporativa del agua

En una empresa, la gobernanza se puede definir como el conjunto de autoridades, procesos y procedimientos que guían la toma de decisiones de la organización. La gobernanza también se extiende a los controles establecidos en el sitio para garantizar que las operaciones implementen programas de gestión del agua y cumplan con los objetivos, a saber:

- El manejo exitoso del agua requiere la responsabilidad de la alta gerencia.
- Los objetivos de la compañía en relación con el agua deben ser obligatorios.
- Las responsabilidades y medidas de desempeño deben estar claramente establecidas para brindar resultados efectivos.

La gobernanza del agua incluye los estándares, sistemas y responsabilidades para el agua establecidos por cada proyecto de la compañía en forma individual, así como también los procesos necesarios para involucrar y coordinar recursos y responsabilidades entre múltiples partes interesadas en una cuenca.

En una empresa, la gobernanza se puede definir como el conjunto de autoridades, procesos y procedimientos que guían la toma de decisiones de la organización.

El directorio de la compañía, que es el responsable final de la operación minera, establece expectativas sobre cómo se administra el agua. Se requieren objetivos claros, sistemas y responsabilidades para que la empresa cumpla con los compromisos asumidos respecto del agua. Esto incluye los requisitos legales para los recursos hídricos y la protección ambiental establecidos para todas las operaciones, o como parte de las condiciones de la licencia en el momento en que las actividades se hayan aprobado formalmente. También incluye estándares internos de la compañía y compromisos voluntarios hechos como parte de varias iniciativas regionales, nacionales o internacionales.

La gobernanza también se extiende a los controles establecidos en el sitio para garantizar que las operaciones implementen programas de agua y cumplan con los objetivos de cumplimiento, como ser un cronograma de desarrollo minero para evitar desviaciones descontroladas y costosas del plan.

Las operaciones deben considerar cuidadosamente la planificación adecuada del tiempo de entrega, los diseños operativos y los procesos de mejora que consideren los múltiples riesgos del agua, las interfaces y las regulaciones vigentes.

En definitiva:

- La gestión exitosa del agua requiere la **responsabilidad** de la alta gerencia.
- Los objetivos de la compañía en relación con el agua deben ser **ordenados**.
- Las responsabilidades y medidas de desempeño deben estar **claramente establecidas** para producir resultados efectivos.

Más adelante se proporciona una visión general práctica de la importancia de establecer objetivos claros y adoptar un enfoque basado en el riesgo para la gestión operacional del agua.

2.1.2. Creación de la capacidad organizativa para la gestión del agua

Como se explicó previamente, los impulsores del riesgo del agua se han vuelto más complejos a medida que fue aumentando la competencia por los recursos hídricos y las empresas mineras fueron enfrentando mayores desafíos técnicos en la gestión del agua. Las empresas, ahora, necesitan administrar las actividades de su sitio y sus impactos *más allá del perímetro de la mina*, así como comprometerse con las partes interesadas y los responsables de la política y las regulaciones a administrar los recursos hídricos de la mejor manera.

La gestión del agua de la mina abarca una serie de **límites funcionales**, que incluyen el ambiente, el procesamiento, la ingeniería, la planificación minera, la comunidad y las relaciones gubernamentales.

La gestión del agua de la mina también puede estar **fragmentada**, extendiéndose a través de sitios o proyectos individuales, aislados, o múltiples proyectos dentro de una misma cuenca. Es necesario desarrollar un enfoque integrado de manera que los objetivos, los programas y las responsabilidades sean claros, y los diferentes sitios comprendan sus funciones y responsabilidades. Para mitigar los riesgos operativos y estratégicos, las empresas deben coordinarse internamente entre las múltiples funciones y los diversos departamentos, así como también involucrarse con partes interesadas externas, como la comunidad y los gobiernos.

La gestión colectiva no significa que las responsabilidades y rendiciones de cuentas en áreas específicas no puedan asignarse. La tabla siguiente proporciona una visión general de las diferentes tareas operativas que involucran agua y las áreas funcionales responsables de ellas. Téngase en cuenta que existen algunas superposiciones entre grupos, y que las responsabilidades de las personas variarán de acuerdo con los requisitos del sitio.

TAREAS Y RESPONSABILIDADES TÍPICAS PARA CADA UNO DE LOS EQUIPOS QUE GESTIONAN EL AGUA DURANTE LA OPERACIÓN MINERA	
ÁREA	TAREA
NIVEL CORPORATIVO	• Desarrollar una estrategia para proporcionar una dirección a mediano y largo plazo respecto del agua y vinculada a otros procesos comerciales (por ejemplo, cumplimiento, estándares de la compañía, auditoría e informes). • Comprometerse con el gobierno y otras partes interesadas clave en la gestión y regulación del agua. • Desarrollar normas y objetivos apropiados para impulsar el desempeño corporativo de la gestión del agua.
ADMINISTRACIÓN DEL AGUA	• Designar a un responsable con la antigüedad adecuada para la toma de decisiones. • Desarrollar el modelo conceptual del agua del sitio y el balance hídrico. • Proporcionar una evaluación y gestión del riesgo del agua para los recursos hídricos operacionales y relacionados con la cuenca. • Desarrollar e implementar una estrategia y un plan para el agua en el sitio. • Priorizar los riesgos del agua en el sitio. • Involucrar al personal calificado. • Coordinar las actividades de implementación en todo el sitio para mitigar los riesgos del agua. • Involucrar a los interesados en cuestiones del agua basadas en cuencas y en sitios. • Informar el progreso de la implementación al gerente general del sitio.

OPERACIONES MINERAS	• Desarrollar planes de gestión del agua en el sitio. • Dentro de la mina, involucrar a los interesados en las aguas y cuencas. • Administrar las áreas de captación en mina. • Administrar los depósitos en mina, los caminos mineros y su drenaje para cumplir con los requisitos operativos. • Administrar el suministro y la demanda de agua en mina. • Implementar los pozos de captación y operar el drenaje de la mina. • Preparar e implementar planes de contingencia en inundaciones y sequías. • Proporcionar supresión de polvo y consumos de agua. • Proporcionar agua para el lavado de vehículos mineros. • Empezar obras de construcción y mantenimiento. • Implementar agua de cierre, tratamientos y envío a cuenca, si hubiere. • Proporcionar monitoreo e informes de ingeniería y cuidado ambiental.
OPERACIONES - PLANTA DE PROCESAMIENTO	• Utilizar agua en el separado de mineral y ganga. • Gestionar los relaves y disposición de estériles. • Administrar el agua de proceso y su adecuado reciclaje. • Proporcionar supresión de polvo, almacenamiento, transporte y drenaje del área industrial (ej. área de trituración y molienda). • Proporcionar agua de reserva antiincendios y agua potable apta para el consumo humano. • Proporcionar monitoreo e informes de ingeniería y ambiente.
AMBIENTE Y RELACIONES CON LA COMUNIDAD	• Planificar la rehabilitación. • Planificar el cierre. • Proporcionar flujo de agua, descarga y control de calidad, informes y evaluación. • Proporcionar monitoreo ambiental, informes y evaluación. • Proporcionar administración de ecosistemas en el sitio y alrededores. • Participar en la planificación del agua regional y local. • Comprometerse con los propietarios locales, las organizaciones no gubernamentales y otras partes interesadas clave. • Proporcionar informes corporativos, internos y externos.

Las mejores prácticas involucran la gestión del agua y se integran en múltiples departamentos a través de un órgano coordinador o equipo específico para su administración. Este equipo específico proporciona liderazgo para el manejo de la administración del agua y coordina acciones en múltiples funciones operativas, para abordar todos los problemas de gestión a largo plazo y de alto riesgo.

El máximo responsable del equipo debe ser alguien que comprenda el rango de riesgos del agua, la incertidumbre técnica y regulatoria, la practicidad operativa y los desafíos logísticos, y que sea capaz de influir en los resultados operacionales y de planificación. Se recomienda *un alto nivel de experiencia y autonomía de puestos gerenciales operativos*, con el fin de poder ejercer la coordinación y tomar las decisiones con más fluidez dentro de la compañía.

En las grandes empresas donde el agua es un riesgo importante, la práctica líder requiere un equipo del agua con una cabeza a nivel de empresa y/o de negocio, y representación de todos los departamentos pertinentes para confirmar los roles y gestionar las responsabilidades.

En las empresas más pequeñas, el agua puede ser administrada solo por una persona e incluida como un elemento clave de la agenda en los comités operativos o ambientales existentes.

Entre otras funciones, el jefe del equipo de la administración del agua es responsable del desarrollo estratégico a largo plazo, así como de tomar decisiones, coordinar acciones a través de múltiples funciones operativas, comunicarse con los gerentes apropiados y hacerles frente a los problemas de gestión del agua a largo plazo y de alto riesgo.

A nivel del sitio, es esencial tener un equipo que se enfoque en implementar la estrategia adecuada a través de los planes de agua operacionales. El equipo tiene representación de todo el sitio y trabaja muy de cerca con áreas operativas para implementar el programa requerido. Esta coordinación hídrica garantiza que no haya duplicación de servicios, que la planificación y la coordinación entre los departamentos sea más efectiva y que los riesgos se identifiquen más claramente, lo que resulta en *programas de gestión del agua más efectivos*.

El servicio de agua específico o las actividades de entrega operativa (como los equipos de drenaje) suelen encontrarse mejor en el área que los requieren, y la consolidación de las funciones relacionadas con el agua en un departamento operacional rara vez se considera apropiada, ya que las estructuras organizativas deben optimizarse para el negocio principal de la minería. Por ejemplo, la operación de los campos de perforación debe ser administrada por el equipo responsable de la entrega de suministros de agua y no por un departamento ambiental.

El personal del sitio también requiere **capacitación continua y apoyo** para desarrollar competencia en sus responsabilidades de gestión. Necesitan comprender, por ejemplo:

- cómo desarrollar un modelo de sitio conceptual para sus recursos de aguas superficiales y subterráneas;
- cómo gestionar el equilibrio hídrico del sitio y cómo usarlo para validar la información del sitio;
- criterios de calidad del agua y revisiones de programas de muestreo;
- cómo la gestión operativa del agua se ajusta a la estrategia a largo plazo de la empresa o del sitio;
- cómo involucrar a las partes interesadas en el agua.

Las empresas también necesitan desarrollar capacidades en su comprensión de los recursos hídricos regionales y los impactos potenciales invirtiendo en investigación sobre los principales riesgos del agua y desarrollando alianzas específicas con organizaciones que tienen experiencia en el área. Estos aspectos también pueden formar elementos clave de una empresa o estrategia.

2.1.3. Compromisos voluntarios

Además de trabajar dentro de los límites reglamentarios para gestionar la extracción, el uso, el vertido y la calidad del agua, las empresas mineras se deben comprometer con diversas iniciativas voluntarias a nivel nacional o internacional para mejorar la administración.

Los máximos organismos mineros a nivel estatal, nacional e internacional se han involucrado en iniciativas colectivas que han llevado a que la industria esté cada vez más dispuesta a participar en estos temas de gestión. Además, varias iniciativas influyentes a nivel mundial están impulsando las expectativas de los accionistas, las instituciones financieras y otras partes interesadas sobre el rendimiento del agua.

2.2. Iniciativas de la industria minera

En 2014, el **Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM)** publicó su *Water Stewardship Framework* (ICMM, 2014), que establece una dirección para la administración responsable del agua para las empresas miembro. Es importante destacar que el marco promueve un **enfoque holístico** para abordar los aspectos sociales, ambientales, operativos y económicos de la gestión del agua, con un fuerte énfasis en la importancia de comprender y gestionar los riesgos del agua.

El marco brinda orientación a las empresas sobre la presentación de informes transparentes, el compromiso inclusivo con las comunidades, los enfoques de captación y el desarrollo de los planes de gestión del agua del sitio y los balances hídricos.

El **Marco de gestión del agua** del ICMM se basa en cuatro premisas clave:

1. Ser transparente y responsable.
2. Participar de manera proactiva e inclusiva.
3. Adoptar un enfoque basado en cuencas hidrográficas.
4. Gestionar los recursos hídricos de manera eficaz.

La base de cada una de las cuatro premisas es un conjunto de actividades de apoyo que las empresas pueden emprender. El grado en que se requieren e implementan depende del nivel de riesgo y oportunidad a nivel local.

.....

El ICMM reconoce que cada compañía miembro se encuentra en una etapa diferente del proceso de la administración del agua. Este marco proporciona una dirección común, un punto de referencia consistente y un lenguaje compartido para que las compañías miembros en su conjunto continúen este proceso con coherencia.

.....

La industria minera en general también respalda la investigación hídrica por parte de varias organizaciones para comprender mejor los riesgos derivados de la escasez o del excedente de agua, los impactos sobre la calidad y los riesgos y oportunidades relacionados con los efectos sociales y ambientales de las operaciones y legados mineros.

2.3. Regulaciones nacionales y provinciales en la República Argentina

En la República Argentina, la **Subsecretaría de Recursos Hídricos** –dependiente del Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda– interviene en la elaboración y ejecución de la política hídrica nacional y de la política relativa a los servicios públicos de abastecimiento de agua potable y saneamiento. Asimismo, propone el marco regulatorio del manejo de los recursos hídricos y la organización y fortalecimiento del sector de agua potable y saneamiento. Vincula y coordina la acción de las demás jurisdicciones y organismos en la prestación y expansión de estos servicios.

La Subsecretaría diseña, coordina e implementa el **Plan Nacional del Agua** en todo el territorio nacional basado en cuatro ejes, orientados en la necesidad de lograr el desarrollo regional, contribuir a la generación de empleo y disminuir el porcentaje de la población en situación de pobreza.

Los **ejes** del Plan Nacional del Agua son:

1. Agua potable y saneamiento.
2. Adaptación a los extremos climáticos.
3. Agua para la producción.
4. Aprovechamiento multipropósito y biomasa.



Fuente: Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda (<https://www.argentina.gob.ar/interior-plandelaqua>).

Las **metas específicas** de este plan son:

- alcanzar la provisión de agua potable al 100% de la población;
- alcanzar el 75% en cloacas y desagües;
- incrementar en un 17,5% las áreas con sistemas de riego, sumando más de un millón de hectáreas productivas, y
- adaptar el territorio a los efectos del cambio climático mediante la realización de obras en usos múltiples del agua.

Por otra parte, la **implementación** del Plan Nacional del Agua está regida por los principios de:

- la preservación de los recursos hídricos;
- el fortalecimiento de capacidades de los agentes involucrados;
- la innovación para lograr mejoras prácticas, y

- tecnologías locales al servicio del desarrollo y la participación, a fin de aumentar el compromiso y la responsabilidad de todos los actores.

La Subsecretaría supervisa y coordina el accionar del Instituto Nacional del Agua (INA), del Organismo Regulador de Seguridad de Presas (ORSEP), del Ente Regulador de Agua y Saneamiento (ERAS), de la Agencia de Planificación (APLA), del Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA), y de los restantes organismos descentralizados y desconcentrados que se encuentren dentro de su órbita. Asimismo, es autoridad de aplicación en los contratos de concesión de agua potable y saneamiento (AYSA).

También controla el accionar de la Comisión Regional del Río Bermejo (COREBE); del Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO); de la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro; así como de todo otro organismo de gestión de cuencas en representación del Estado Nacional.

Es función de la Subsecretaría evaluar los recursos hídricos del país mediante redes, sistemas de observación y monitoreo continuo, y administrar el sistema de información de recursos hídricos.

También, participa de la agenda nacional e internacional del cambio climático en asuntos referidos al agua. El programa **Sistema Nacional de Información Hídrica (SNIH)** cumple con el rol de recolectar, procesar y almacenar los datos básicos obtenidos de la Red Hidrológica Nacional para ser utilizados por los organismos nacionales, provinciales e interjurisdiccionales relacionados con los recursos hídricos y el ambiente.

.....

Es considerado prioritario para la Subsecretaría de Recursos Hídricos conocer el estado y la dinámica de los recursos hídricos con precisión, en cantidad y calidad, a fin de permitir un correcto diseño y construcción de los diversos tipos de obras de infraestructura (viales, hidráulicas, portuarias, etc.) y lograr un eficiente aprovechamiento del agua para sus múltiples usos (agua potable, energía, riego, industrial, minero, turístico, etc.), constituyéndose en el componente esencial de todo proceso de planeamiento y gestión en un marco de desarrollo sostenible.

.....

A fin de complementar las mediciones efectuadas actualmente, es intención densificar la red incrementando el número de estaciones de medición, así como integrando las redes de organismos nacionales, provinciales e interjurisdiccionales, facilitando el intercambio de información.

En este sentido, se está conformando la **Base de Datos Hidrológica Integrada (BDHI)**, la cual puede ser consultada en la página web de la Subsecretaría de Recursos Hídricos.

A través del proyecto Cartografía Digital y Sistemas Georreferenciados, se utilizan herramientas informáticas de última generación para la estructuración y administración de la información hídrica nacional y para brindar asistencia técnica a los estados provinciales ante situaciones de emergencia hídrica ambientales. Esto ha posicionado a la Subsecretaría como

una entidad nacional de avanzada en el tratamiento de información georreferenciada relativa a los recursos hídricos. En el marco del programa se celebran convenios de cooperación técnica con organismos nacionales, provinciales, interjurisdiccionales e internacionales, con el fin de constituir una red de sistemas de información hídrica provinciales y de cuencas, y en su conjunto conformar el Sistema Nacional de Información Hídrica.

La Subsecretaría de Recursos Hídricos presenta, asimismo, las publicaciones hidrometeorológicas que contienen, entre otros, los valores de caudales medios mensuales de las estaciones operadas en la red hidrológica.

2.3.1. Política hídrica y ejes transversales

El propósito de los **Principios Rectores de Política Hídrica** es brindar lineamientos que permitan la integración de aspectos técnicos, sociales, económicos, legales, institucionales y ambientales del agua, en una gestión moderna de los recursos hídricos. Se establece que la formulación de la política hídrica, su planificación, la evaluación y preservación del recurso, el dictado de normativas y la regulación y control del sector, son responsabilidades indelegables de los Estados provinciales. Asimismo, les cabe a los Estados provinciales y nacional la responsabilidad de resolver conflictos intersectoriales y/o interjurisdiccionales.



Fuente: Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda (<https://www.argentina.gob.ar/interior-plandelaqua>).

2.3.2. Organización de cuencas

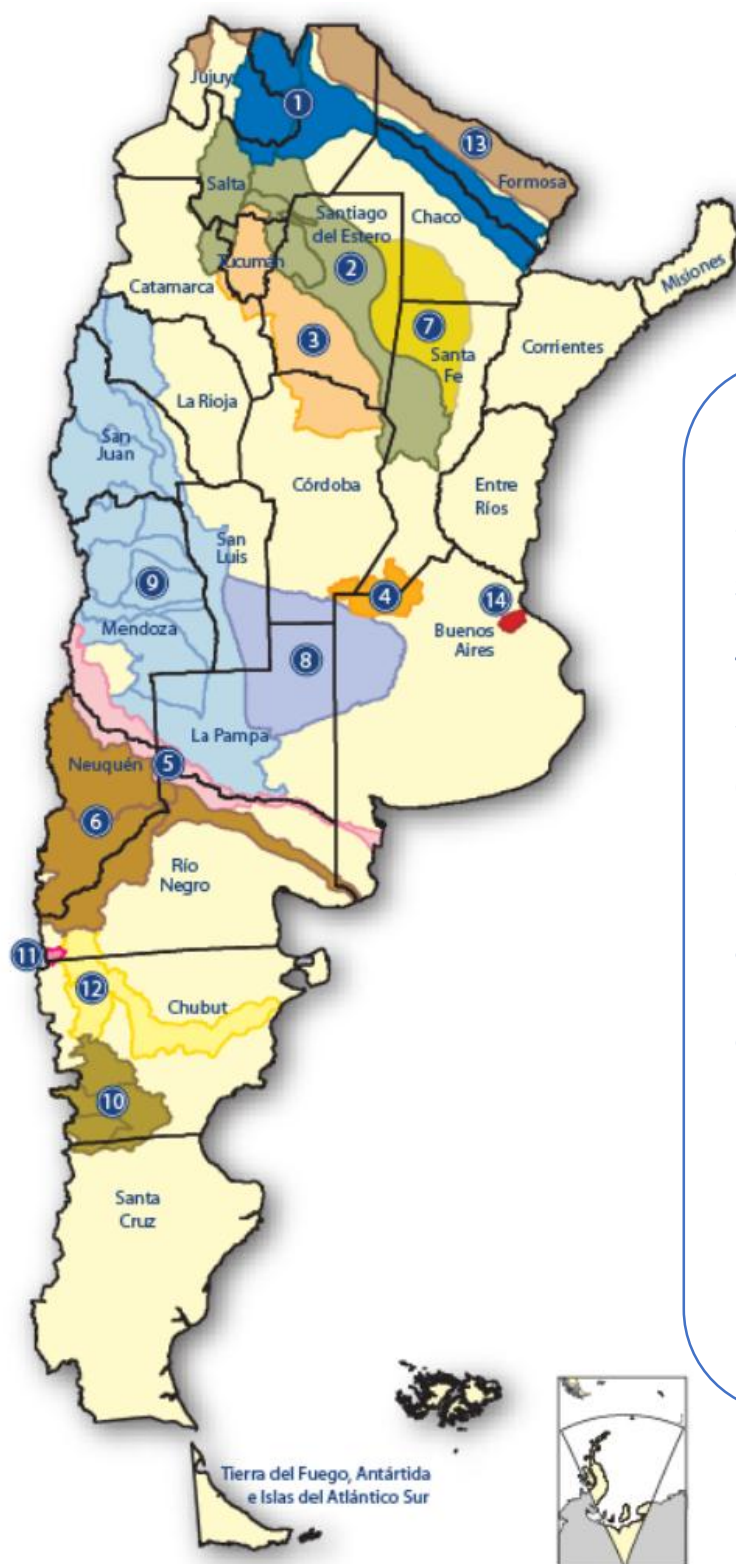
La Subsecretaría de Recursos Hídricos promueve la institucionalización y el fortalecimiento de organismos de cuenca interjurisdiccionales, cuya finalidad es facilitar la coordinación de la gestión hídrica de diferentes jurisdicciones.

La **gestión hídrica es el resultado de múltiples decisiones**, públicas y privadas, que son tomadas en forma independiente. Como el agua juega un papel importante en todos los servicios públicos y en la infraestructura en la que se apoyan, es necesario coordinar las acciones de gestión hídrica de todos los organismos que toman decisiones en forma autónoma.

Existen distintos tipos de organizaciones de cuenca:

- Los **comités de cuenca** interjurisdiccionales son mesas de negociación en las cuales los representantes tratan de llegar a consensos sobre cuestiones relacionadas con la gestión del agua en las cuencas hídricas que abarcan varias jurisdicciones, para tener en cuenta que lo que se haga en cada una no afecte a las demás.
- Los **organismos de cuenca** generalmente tienen fines determinados, que pueden haber sido acordados en comités de cuenca o en reuniones interjurisdiccionales referidas a cuestiones específicas. Los acuerdos también pueden dar lugar a la concepción de proyectos de cuenca que tengan ese alcance, para cuya ejecución se constituyen grupos de trabajo que no son organismos sino unidades ejecutoras, las cuales son disueltas cuando completan los trabajos que se les encomendaron.

La Subsecretaría de Recursos Hídricos, como ya se mencionara, promueve la creación de organizaciones de cuenca como ámbitos que facilitan la gestión integrada de los recursos hídricos compartidos. También actúa dentro de los organismos cuando las jurisdicciones lo proponen. Su principal objetivo es *promover la cooperación entre las jurisdicciones*, en el marco de la realización de emprendimientos conjuntos que benefician a todas las partes. Su finalidad es **evitar los conflictos** mediante la generación de propuestas superadoras, antes que ayudar a resolverlos. El principio que orienta su accionar es que fomentar la cooperación ayuda a evitar que decisiones no acordadas conduzcan a situaciones de conflicto.



Referencias

1. Comisión Nacional del Río Bermejo (COREBE)
2. Comité de la Cuenca del Río Juramento-Salado
3. Comité de la Cuenca del Río Salí-Dulce
4. Comité de Cuenta de la Laguna La Picasa
5. Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO)
6. Autoridad Interjurisdiccional de la Cuenca de los Ríos Neuquén, Limay y Negro (AIC)
7. Comité de la Región Hídrica Bajos Submeridionales
8. Comité Interjurisdiccional de la Región Hídrica del Noroeste de la Llanura Pampeana (CIRHNOP)
9. Grupo Técnico del Río Desaguadero
10. Comité de Cuenca del Río Senguer
11. Autoridad de Cuenca del Río Azul (ACRA)
12. Comité Interjurisdiccional del Río Chubut
13. Comité Interjurisdiccional del Río Pilcomayo
14. Autoridad de Cuenca del Río Matanza-Riachuelo (ACUMAR)

Fuente: <https://www.argentina.gob.ar/interior/subsecretaria-de-recursos-hidricos/mapa-de-cuencas>

Se resumen, a continuación, las actividades que desarrollan las organizaciones de cuenca interjurisdiccionales que funcionan en el presente.

- **Cuencas internacionales.** Los recursos hídricos compartidos con otros países deben gestionarse de acuerdo con los principios internacionalmente aceptados de uso equitativo

y razonable, obedeciendo al deber de información y consulta previa, a fin de no ocasionar perjuicio sensible entre las partes.

Cada provincia involucrada designa un miembro para integrarse a las actividades de las delegaciones argentinas en las comisiones y organizaciones internacionales de las que el país participa:

- Comité Intergubernamental Coordinador de la Cuenca del Plata.
- Comisión Administradora del Río de La Plata.
- Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo.
- Comisión Administradora del Río Uruguay.
- Comisión Mixta Argentino-paraguaya del Río Paraná.
- Comisión Binacional para el Desarrollo de la Alta Cuenca del Río Bermejo y el Río Grande Tarija.
- Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo.
- Comisión Binacional Administradora de la Cuenca Inferior del Río Pilcomayo.
- Entidad Binacional Yacyretá.
- Comisión Técnica Mixta de Salto Grande.
- Grupo de Trabajo Argentino-Chileno sobre Recursos Hídricos Compartidos.

En estos últimos años la Subsecretaría de Recursos Hídricos focalizó sus esfuerzos en la reinserción de la Argentina en el ámbito internacional, mediante una actuación participativa en la representación del Estado nacional, en coordinación con los organismos y jurisdicciones involucrados:

- Participación, junto con la Cancillería en comisiones internacionales de las cuencas de los ríos Pilcomayo y Bermejo y en el Comité Intergubernamental Coordinador de los países de la Cuenca del Plata (CIC).
 - Asistencia técnica para formular planes de uso en las cuencas compartidas con Chile.
 - Se crearon los subgrupos de expertos locales para las Cuencas del Río Grande de la Tierra del Fuego y el Hua Hum-Valdivia.
 - Participación en proyectos de gestión de recursos hídricos compartidos con países vecinos (Cuenca del Plata y Cuenca del Río Pilcomayo).
 - Coordinación del Sistema de Información del Acuífero Guaraní para los cuatro países y responsabilidad en el Proyecto Piloto Concordia-Salto y coordinación del nodo SISAG.
 - Participación en el Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Unesco.
 - Participación en la Conferencia de Directores Generales Iberoamericanos del Agua (CODIA).
 - La Red Interamericana de Recursos Hídricos (RIRH)
 - Los Foros Mundiales del Agua y la Red Latinoamericana y del Caribe de organismos de cuenca RELOC.
 - La Alianza Internacional para el Desarrollo Sostenible de las Regiones de Montaña.
 - Participación en el Programa de Formación Iberoamericana en materia de aguas promovida por la CODIA.
- **Comités de Cuencas.** Están integrados por representantes de las jurisdicciones autónomas. Su objetivo es procurar acuerdos –que deberán ser avalados por los gobiernos provinciales– sobre el intercambio de información hidrometeorológica, la priorización de problemas y oportunidades de alcance interjurisdiccional, así como sobre el diseño y la organización de la implementación de acciones relacionadas con los temas priorizados.
 - **Organismos de Cuenca.** Son responsables de la ejecución de los acuerdos interjurisdiccionales alcanzados en los Comités de Cuenca, cuando su tamaño o complejidad excede las capacidades de los organismos provinciales o nacionales existentes y/o plantea dificultades para lograr la coordinación entre ellos.

2.3.3. Biblioteca de los recursos hídricos

El Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (INCYTH) –organismo tecnológico del área hídrica nacional denominado actualmente Instituto Nacional del Agua (INA)– produjo, desde su creación en 1973, abundante material científico tecnológico sobre una amplia gama de la problemática hídrica, que ha merecido el reconocimiento de la comunidad científica hídrica nacional e internacional.

La Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación ha organizado la **Sede Centro** de su Biblioteca, en tanto que el Instituto Nacional del Agua desarrolló distintas **Unidades Documentales**, tanto en sus oficinas de Ezeiza como en cada uno de sus Centros Regionales (Santa Fe, Córdoba, Mendoza, San Juan), todo ello con la coordinación del CARIS (Centro Argentino de Referencia en Ingeniería Sanitaria y Ambiental).

El conjunto de Unidades Documentales –la Sede Centro, dependiente de la Dirección de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos y las pertenecientes al INA– constituyen la **Biblioteca de los Recursos Hídricos de la República Argentina**.

La Biblioteca así constituida integra, como centro cooperante, a través de REPIDISCA (Red Panamericana de Información en Salud Ambiental), la Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (BVSDE) de la Organización Panamericana de la Salud (oficina regional de la Organización Mundial de la Salud). La BVSDE es portal de acceso a la información seleccionada y analizada por cada Centro.

La BVSDE, expansión de la anterior Biblioteca Virtual en Salud Ambiental (BVSA), a su vez sigue el modelo de cooperación técnica en información sobre salud impulsado por el Centro Latinoamericano y del Caribe de Información en Ciencias de la Salud (Bireme).

Consideraciones de compatibilidad de sus bases de datos orientaron su organización en torno al programa Microsis (creado y mantenido por la Unesco) y a la metodología de análisis bibliográfico LILACS de la OPS. Microsis es un sistema gratuito y multilingüe, que ha facilitado el intercambio de información y la cooperación internacional desde su existencia. La metodología LILACS, por su parte, significa un esfuerzo de normalización y sistematización de la información en torno a un formato de base de datos común y ofrece pautas para que el análisis y la descripción bibliográfica se realicen bajo procedimientos establecidos.

En la sede de las Unidades Documentales de la Biblioteca de los Recursos Hídricos de la República Argentina se puede obtener:

- Acceso a bases de datos.
- Información bibliográfica.
- Resolución de consultas.
- Elaboración de material informativo.
- Vinculación institucional con fuentes de información especializada.
- Publicaciones.

Se está trabajando para lograr una coordinación más efectiva –*on line*– de dichas Unidades Documentales y su fortalecimiento a través de la incorporación de los recursos humanos y tecnológicos necesarios para posibilitar:

- Visualización de imágenes satelitales.
- Videoconferencias.
- Animaciones.

- Consultas en línea a bases de datos.
- Conferencias virtuales.

La Subsecretaría de Recursos Hídricos destinó para la atención al público una sala de lectura y salón de usos múltiples en la Sede Centro, San Martín 320/322 PB - C1004AAH, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, para la guarda apropiada del material bibliográfico y documental de la biblioteca.

El catálogo de esta biblioteca puede consultarse en línea en la dirección web: <https://bit.ly/2BEcOpk>

2.3.4. Marco legal del manejo del agua en la República Argentina

Leyes nacionales. En el tercer párrafo del art. 41 de la Constitución Nacional se establece que “corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los *presupuestos mínimos de protección*, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquellas alteren las jurisdicciones locales”, esto último en función del dominio originario de las provincias sobre sus recursos naturales.

En 1996 se iniciaron tareas para dar cumplimiento al requerimiento de los presupuestos mínimos de naturaleza federal, sin embargo, a la fecha no ha sido concretada una propuesta. Actualmente, la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable apoya el proyecto de la **Ley General del Ambiente** del Congreso de la Nación Argentina, sosteniendo que va a dar un marco legal para empezar a definir presupuestos mínimos sectoriales. Hasta ahora, lo que se intentó fue definir esos presupuestos sin el marco legal, pero a partir del proyecto de ley actual, se los define y se espera un avance significativo.

Si bien no existe en el derecho vigente una ley federal de aguas, la legislación nacional sobre la materia está contemplada en el Código Civil, el Código de Comercio, el Código de Minería, el Código Penal, las leyes federales de energía, navegación, transporte, sistema portuario, comercio interprovincial, leyes para la creación de instituciones de investigación hídrica, meteorología, etc. Todas estas leyes contienen disposiciones relacionadas, directa o indirectamente, con las aguas.

Asimismo, existen leyes nacionales con vinculaciones en la materia de manejo de cuencas hidrográficas, tales como:

- Ley de la Defensa de la Riqueza Forestal y normas complementarias (Ley N.º 13.273).
- Ley de Residuos Peligrosos (Ley N.º 24.051).
- Ley de Inversiones para Bosques Cultivados (Ley N.º 25.080).
- Ley de Protección y Conservación de la Fauna (Ley N.º 22.421).
- Ley de Fomento a la Conservación de Suelos (Ley N.º 22.428).
- Ley de Parques, Reservas Naturales y Monumentos Nacionales (Ley N.º 22.351).

Por otra parte, se han dictado leyes de ratificación de tratados y de organismos interjurisdiccionales de cuencas, como entidades jurídicas de gestión del agua. Entre ellos:

- Tratado de la Cuenca del Plata (Ley N.º 18.590/70).
- Tratado del Río de la Plata (Ley N.º 20.645/74).
- Ratificación y modificatoria art.13 del Estatuto del Comité Interjurisdiccional del Río Colorado - COIRCO (Ley N.º 21.611/77 y Ley N.º 22.721/83).
- Ratificación de la creación de la Comisión Regional del Río Bermejo - COREBE (Ley N.º 22.697/82).

- Creación del Comité Hídrico de la Cuenca del Plata (Ley N.º 23.027/83).
- Tratado de Creación de la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro - AIC (Ley N.º 23.896/85).

Leyes provinciales. La primera ley en materia de recursos hídricos que se dictó en la Argentina fue la Ley General de Aguas de la Provincia de Mendoza, que data de 1884. Posteriormente le siguieron las leyes de aguas de las provincias de Tucumán (1896) y Catamarca (1900). Actualmente, *todas las provincias del país tienen leyes de aguas*, a excepción de Santa Fe y Tierra del Fuego (esta última, en avance de un proyecto de ley). Las más evolucionadas, como Córdoba, Santiago del Estero, reglan el agua como un recurso natural y como un elemento ambiental.

Desde 1990 comenzaron a dictarse leyes caracterizadas por cierta heterogeneidad, que hasta encierran ciertas disposiciones contradictorias. Son las que proveen a la transformación y privatización de las empresas públicas destinadas a la generación, transmisión y distribución de hidroelectricidad y a las prestadoras de los servicios públicos de agua potable y saneamiento (Magnani, 2001). Contienen los denominados marcos regulatorios de dichas actividades y las normas administrativas de los entes reguladores.

.....

En el país persiste falta de claridad respecto del tratamiento de lo que representa sustentabilidad ambiental y lo que corresponde a la administración del agua.

Existen varios proyectos legislativos en curso sobre el manejo del recurso hídrico en los cuales se visualiza cierta duplicidad y confusión institucional alrededor de aspectos como la calidad del agua.

A su vez, se advierten potenciales conflictos que pueden derivarse al proponer la delegación de funciones propias de las autoridades de agua, a los municipios y entidades privadas si no se implementan, simultáneamente, adecuados mecanismos de coordinación para la administración integral en las cuencas hidrográficas (Magnani, 2001).

.....

Sin embargo, dadas las características de diversidad de políticas sectoriales y tramas legales, la principal estrategia consiste en acentuar la tarea de coordinación de competencias que permita *consensuar criterios y vincular acciones*. Este principio está planteado en marcos políticos sectoriales, pero son escasos los ejemplos prácticos de concreción.

El **Pacto Federal Ambiental** genera el marco para establecer los acuerdos específicos que se deberán ir firmando entre la Nación y las provincias como verdaderos instrumentos de coordinación de competencias. Estos deben referirse al monitoreo y estado ambiental, a la evaluación del impacto, que ya es legislado en algunas provincias, etc. El **Consejo Federal de Medio Ambiente (COFEMA)** es reconocido como medio idóneo para la elaboración de acuerdos interjurisdiccionales.

Acuerdos internacionales y regionales. Las leyes argentinas de ratificación a las convenciones y acuerdos internacionales son las siguientes:

- Ley N.º 23.919/91: ratifica la Convención sobre Humedales de Importancia Internacional (RAMSAR).
- Ley N.º 24.295/93: ratifica la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
- Ley N.º 24.375/94: aprueba el Convenio sobre Diversidad Biológica.
- Ley N.º 24.701/96: ratifica la Convención Internacional de Lucha Contra la Desertificación.

Asimismo, Argentina participa en el Foro Intergubernamental de Bosques y adhirió al Proceso de Montreal para la generación de criterios e indicadores de sustentabilidad para los bosques templados y boreales. La Subsecretaría de Recursos Hídricos, por su parte, participa en el Programa Hidrológico Internacional de la Unesco (a través del CONAPHI) y en la Comisión Internacional de Riego y Drenaje.

Iniciativas internacionales. Las siguientes son cuatro de las iniciativas globales más difundidas y destacadas:

- El Proyecto de Agua CDP representa a 822 inversionistas institucionales con unos US \$ 95 billones en activos que están promoviendo una mayor transparencia en asuntos de agua corporativos. Una encuesta anual enviada a las empresas cubre todas las dimensiones del riesgo del agua, incluidos los riesgos operativos, sociales, ambientales, financieros y de cadena de suministro. Esta organización está planeando calificar públicamente a las empresas sobre su riesgo hídrico.
- La herramienta global del agua del *World Business Council for Sustainable Development* ayuda a las compañías a mapear su uso del agua y evaluar los riesgos relativos a sus operaciones y cadenas de suministro. Compara los sitios de la compañía con la mejor información disponible sobre agua, saneamiento, población y biodiversidad en un país y cuenca hidrográfica.
- *Alliance for Water Stewardship* es un proyecto de esquema global de certificación de agua para compañías que buscan promover buenas prácticas de gestión del agua. Se necesita un enfoque basado en la captación para comprender los riesgos y alienta al sitio a desempeñar un papel importante para involucrarse en el nivel de cuenca e influir en los resultados de la gestión responsable del agua.
- *CEO Water Mandate* es una iniciativa liderada por las Naciones Unidas diseñada para ayudar a las empresas al desarrollo, la implementación y la divulgación de políticas y prácticas de sostenibilidad del agua. Hasta la fecha, se ha centrado más en la traducción de buenas prácticas a través de talleres para miembros y enfoques de informes sobre el agua.

PARTE 3

GESTIÓN DEL AGUA DE CAPTACIÓN

I. RIESGOS REGIONALES Y DEL AGUA DE CAPTACIÓN

Ideas clave

- El agua es un recurso compartido y los administradores en los proyectos mineros deben comprender el uso que hacen de él, los posibles impactos en la cuenca y el riesgo compartido con otras partes interesadas en la región.
- Un enfoque basado en cuencas tiene una visión holística de la gestión del agua, lo cual contribuye a identificar los riesgos y oportunidades materiales de la administración del recurso hídrico.
- El alto grado de complejidad e interconexión de los riesgos en la captación del agua requiere que las empresas lideren o participen en enfoques de colaboración con las partes interesadas, de modo de poder identificar y gestionar los riesgos y las oportunidades en una escala de captación.

El agua es un recurso compartido y, en este sentido, los administradores en los proyectos mineros deben comprender el uso que hacen de él, los posibles impactos en la cuenca y el riesgo compartido con otras partes interesadas en la región en términos de gobernanza del agua y gestión de los recursos hídricos.

La captación del agua y su dinámica regional se incluyen cada vez más en los enfoques normativos y son requeridas para la gestión en las minas. Para algunas empresas, el desafío es obtener acceso a suficiente agua de la calidad adecuada para las actividades del sitio en una región, con una cantidad de usuarios en competencia (incluyendo diferentes industrias, el ambiente y la comunidad) y la posibilidad de asignaciones reducidas en el futuro.

Para otras compañías que operan en áreas más alejadas, de industrias que también requieren este recurso, el desafío de captación es más amplio, incluyéndose los impactos acumulativos asociados con el uso del agua, la calidad del agua y el vertido.

En esta parte de la guía se proporciona una visión general de la planificación relacionada con la cuenca y los riesgos hidrológicos, mientras que en la parte 4 se analiza en detalle la gestión de la interacción de la cuenca con el sistema de agua industrial de mina.

El alto grado de complejidad e interconexión de los riesgos hídricos requiere que las empresas comprendan mejor los recursos regionales y, cuando corresponda, participen en enfoques de colaboración con otros usuarios del agua para identificar riesgos y oportunidades, y para encontrar una solución a los desafíos de la gestión hídrica.

La necesidad de considerar y gestionar las circunstancias más allá del perímetro del proyecto minero y, a menudo, de tener en cuenta factores fuera del control directo de la mina, introduce un nivel de complejidad e incertidumbre que tiene implicaciones significativas en la forma en que las minas planifican y operan. También significa que los operadores de minas deben considerar no solo la extensión geográfica de su contexto operativo, sino también las posibles transformaciones en el tiempo, las cuales podrían incluir: 1) cambios en la manera en que otros usuarios manejan el agua; 2) cambios en las expectativas y percepciones de los reguladores y otras partes interesadas clave, y 3) cambios en la manera en que el clima, con todas sus variaciones, afecta la cuenca. Esta necesidad de una mayor conciencia plantea algunos desafíos importantes para las operaciones mineras en la forma en que gestionan el agua en el contexto de la cuenca, la forma en que planifican a más largo plazo teniendo en cuenta esta dinámica, y la forma en que interactúan con las partes interesadas clave en la región.

La capacidad de gestionar los riesgos a más largo plazo (10 o 20 años, o más), asociados con la dinámica regional y de cuenca, constituye un desafío si consideramos que los horizontes de planificación minera de las empresas son relativamente más cortos (1, 2 o 5 años). Esto es aún más difícil en circunstancias económicas desafiantes, cuando las compañías se enfocan en minimizar costos y maximizar la eficiencia. En un entorno operativo que se vincula cada vez más con las acciones de gestión del agua de otros, la administración se convierte en una responsabilidad colectiva no solo para el operador de la mina, sino también para todos los usuarios del agua en la cuenca.

Además, si una operación minera falla en la gestión responsable del agua, **se reflejará en la reputación de la industria en su conjunto** y, en particular, en otras operaciones en la misma región o cuenca. Un desafío clave para las operaciones mineras es lograr un equilibrio adecuado entre la administración del agua a través de la cuenca y garantizar que esos esfuerzos sean proporcionales al riesgo planteado por las actividades de gestión del agua de la mina y sus impactos.

3.1. Enfoque basado en la captación

Este enfoque resulta en una visión holística e integrada de los impactos de la gestión del agua a nivel de cuenca y regional, lo cual contribuye a identificar los riesgos materiales de la administración del recurso hídrico. Considera los principales activos de agua, así como los activos de alto valor ambiental, social y económico que pueden verse afectados por la gestión del agua. Considera asimismo usuarios de agua existentes y, en la medida de lo razonablemente previsible, usuarios y condiciones del agua en el futuro.

Una gestión responsable del agua requiere que sean considerados todos los componentes del ciclo hidrológico, incluidos los recursos hídricos superficiales y subterráneos. El ICM ha identificado la adopción de un enfoque basado en cuencas como un elemento clave de su

Marco de Gestión del Agua. Para apoyar este trabajo, una guía práctica para la industria minera y de metales (ICMM, 2015) busca comprender mejor los beneficios de adoptar un enfoque basado en cuencas para la gestión del riesgo hídrico. También busca ayudar a las empresas a definir y entregar sus propias estrategias de gestión del riesgo del agua, ajustadas a las características particulares de las minas y cuencas individuales.

Las capturas no siempre se definen fácilmente. La interacción de las aguas superficiales y las aguas subterráneas a menudo puede desdibujar la definición de cuenca hidrográfica. En algunos lugares, el terreno no se presta para una identificación clara de cuencas. Sin embargo, los principios subyacentes importantes en el enfoque de gestión basado en cuencas hacen que las operaciones mineras sean conscientes del contexto local y regional dentro del cual operan, y que esas consideraciones se tienen en cuenta en la evaluación de riesgos para la gestión del agua de su sitio.

3.1.1. ¿Qué es un enfoque basado en cuencas para la gestión del agua?

Adoptar un enfoque basado en cuencas para la gestión del agua ayuda a conceptualizar y gestionar los complejos desafíos de los recursos hídricos.

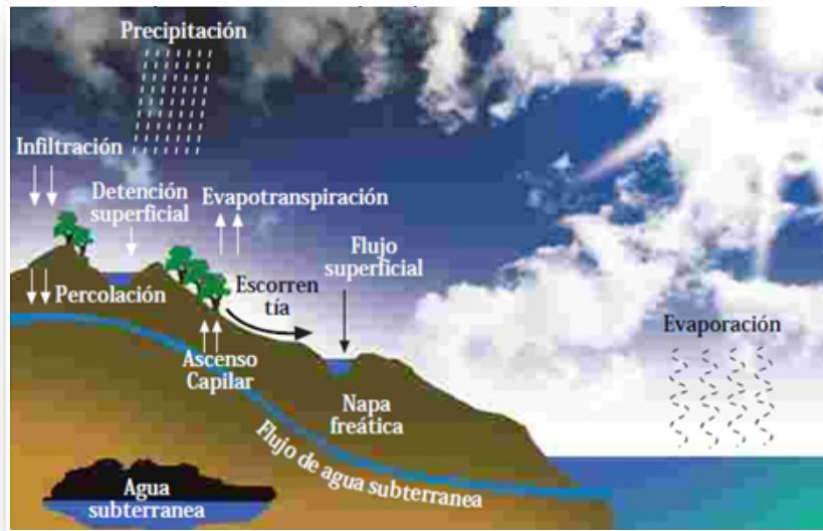
Este enfoque considera *las actividades y problemas en la cuenca como un todo*, en lugar de considerar los diferentes aspectos por separado. Requiere una gama diversa de procesos para ser tenidos en cuenta, incluyendo la hidrología y el uso de la tierra, así como dinámicas políticas, económicas, sociales y ecológicas más amplias que influyen en el uso, la disponibilidad y la calidad del agua.

El enfoque basado en cuencas alienta a las organizaciones a considerar de manera integral cómo las demandas opuestas sobre los recursos hídricos de un grupo de partes interesadas (usuarios domésticos, industria, reguladores, políticos) pueden crear presiones y generar conflictos si no se gestionan adecuadamente. También requiere que las personas de diferentes sectores se reúnan para identificar problemas, acordar prioridades de acción y, en última instancia, forjar alianzas locales para poner en práctica esas acciones.

Las actividades de minería y metales afectan los recursos hídricos, pero también se ven afectadas por actividades en la cuenca que pueden estar más allá de su control directo. Está claro que las operaciones mineras metalíferas, en virtud tanto de su huella física como del uso del agua a través de procesos de extracción, procesamiento y descarga operacional, pueden cambiar la dinámica de la cuenca.

Sin embargo, las empresas mineras también pueden verse afectadas por las dinámicas físicas y socioeconómicas en la cuenca. Las características de captación, tales como la disponibilidad del agua, la calidad y las tasas de extracción, pueden afectar las operaciones mineras. Si bien estas dinámicas pueden parecer obvias, son complejas y requieren una comprensión relativamente sofisticada de las presiones múltiples y competitivas sobre los recursos hídricos de una gama de usuarios.

Las presiones sociales, las prioridades de desarrollo y los cambios en las políticas nacionales, regionales o locales también pueden afectar la operación. El enfoque basado en cuencas para la gestión del agua busca llamar la atención sobre la naturaleza compleja de los riesgos del agua e identificar opciones de respuesta en casos en los que surgen riesgos, o requieren acción, fuera de los límites operacionales de la mina.



Representación del ciclo hidrológico.

Fuente: <https://civilgeeks.com/2018/04/06/conceptos-basicos-de-cuencas/>

II. PLANIFICACIÓN DE LA CAPTACIÓN Y GRUPOS DE INTERÉS CLAVE

Ideas clave

- La administración regional y de captación reconoce que el agua es un recurso compartido entre los usuarios y el ambiente, hoy y en el futuro.
- Cada vez más el enfoque regulador se centra en los impactos de la minería y sus prácticas de gestión del agua a escala regional y de cuenca.
- Además de los requisitos legales establecidos para la gestión del agua de una operación minera, los arreglos institucionales en la cuenca pueden desempeñar un papel importante en la forma en que estos se aplican, interpretan y hacen cumplir.
- Los gobiernos y las agencias de captación son dinámicos en el desarrollo de sus políticas, y las operaciones mineras deben interactuar con las agencias pertinentes desde el principio y con frecuencia.
- La participación propia y la de las partes interesadas son medios para reconocer los temas de preocupación y las diferentes percepciones de cuán bien la operación minera lleva a cabo la gestión del agua.
- El agua y su flujo a través del paisaje forman un elemento crítico del concepto de "país" para los propietarios tradicionales. Las operaciones mineras deben considerar los medios apropiados de participación en la gestión del agua y reconocer la naturaleza de esa conexión.
- Las empresas mineras deben reconocer los vínculos y tensiones entre su uso del agua y el uso del agua por otros sectores, como la energía y la producción de alimentos, y considerar esas interacciones en la evaluación de riesgos para la gestión del agua en el entorno de captación.

En las últimas dos décadas, ha surgido un enfoque regulatorio emergente en los impactos regionales y de escala de cuenca (es decir, a una escala espacial y temporal mayor que las operaciones mineras individuales) que considera que la actividad minera se concentra cada vez más o aumenta la competencia por el recurso hídrico con otros usuarios. Este enfoque ha llevado a un análisis más detallado de los impactos de las operaciones mineras y sus prácticas de gestión del agua en la escala de captación.

Un concepto fundamental es la evaluación de los recursos hídricos basada en cuencas. Cambios legislativos recientes en varios países han otorgado reconocimiento legal a la necesidad de proporcionar agua para fines ambientales como una parte importante de la definición de los límites de asignación de la cuenca y la cantidad de agua disponible para fines de consumo.

Varios factores, como el surgimiento de los conceptos de la **biodiversidad** y los **servicios ecosistémicos**, cobran importancia para valorar la contribución de los ecosistemas al bienestar humano y la consideración del impacto de la actividad humana en la salud de aquellos, así como su capacidad para continuar brindando estos servicios. La *Guía de biodiversidad* de CAEM analiza muchos aspectos de la gestión de la biodiversidad que son igualmente relevantes en el contexto de la gestión del agua.

La gestión de la biodiversidad reconoce la importancia de la totalidad de genes, especies y ecosistemas dentro de una región. Esto es fundamental para garantizar la resiliencia de los ecosistemas y para mantener un enfoque de servicios ecosistémicos que considere las interacciones clave y los impactos humanos a escala de cuenca.

Un enfoque ecosistémico implica el requisito de considerar las relaciones de manera multidisciplinaria, como reconocer las conexiones entre la salud del ecosistema y los servicios culturales (actividades recreativas, estéticas y espirituales). El surgimiento de estos dos conceptos conlleva nuevos criterios para evaluar y regular los impactos a escala regional, de cuenca y sobre todo de captación en las operaciones mineras. Por ejemplo, los reguladores han tratado de gestionar los impactos de la biodiversidad a través del desarrollo de **políticas de compensación**. Esas políticas buscan identificar los impactos sobre la cantidad, el tipo y la calidad del hábitat afectado por un desarrollo, y compensar el efecto neto a través de retribuciones financieras o en especie, que conducirán directamente a mejoras a largo plazo en la biodiversidad y que, a menudo, están vinculadas a los tipos de hábitats afectados.

Más recientemente, los reguladores han considerado cómo los múltiples administradores del agua pueden necesitar gestionar de forma conjunta los impactos sobre los activos a escala regional. El concepto de que las operaciones múltiples, ya sea solo la minería o la minería en combinación con otras actividades económicas, pueden tener impactos acumulativos está ganando mayor vigencia.

Los reguladores ambientales comúnmente requieren que los proponentes rindan cuentas de los impactos sobre los activos ambientales, que resultan del efecto acumulativo de una propuesta cuando se agrega a otras propuestas pasadas, presentes o futuras, razonablemente previsibles. Esta es una tarea compleja, ya que puede requerir acceso a activos ubicados fuera del arrendamiento minero y a cierta información que no es de dominio público.

Cuando se trata de evitar impactos en un activo de importancia o de tomar medidas de mitigación para minimizarlos, la capacidad de unos únicos generadores para gestionar los impactos acumulativos puede ser limitada. Se empieza a reconocer la necesidad de facilitar las respuestas colaborativas a estos impactos, y quienes asumen la responsabilidad colectiva

de gestionarlos son quienes los han generado. Sin embargo, el concepto de **impactos acumulativos** enfatiza la necesidad de que los proponentes del proyecto desarrollen una comprensión sofisticada de los activos ambientales dentro de su cuenca, y de la forma en que su proyecto puede interactuar con otros usos del agua afectando esos activos.

Desarrollar esta comprensión no necesariamente requiere encuestas exhaustivas en la región. Los requisitos para comprender los impactos acumulativos de un nuevo proyecto deben ser proporcionales a los activos ambientales en riesgo, por lo que los esfuerzos para comprender los impactos de la cuenca deben centrarse en cómo esos activos se ven afectados por la hidrología y los flujos de captación, el plazo en que se pueden observar los impactos, y cómo pueden afectar la biodiversidad y el servicio de los ecosistemas. Debido a que la actividad económica y la hidrología de captación son altamente dinámicas, la regulación y la gestión de los impactos acumulativos deben ser capaces de adaptarse a ellas. La incertidumbre sobre la naturaleza y el alcance de los impactos acumulativos tiende a impulsar un *enfoque preventivo de la regulación*. Por lo tanto, es importante garantizar que el régimen normativo identifique las incertidumbres relacionadas con los activos acordados de alto valor.

Los **enfoques de gestión adaptativa** pueden administrar la dinámica y las incertidumbres a la vez que aumentan el conocimiento a través del tiempo, impulsando un mayor control e inversión en investigación y desarrollo, donde los activos ambientales corren riesgo de sufrir daños. Estos enfoques no son nuevos. Sin embargo, es necesario explorar cómo la colaboración con otras empresas, con reguladores y partes interesadas clave puede regular eficazmente los impactos acumulativos a través de la gestión adaptativa.

Otro enfoque para gestionar los impactos acumulativos que ha tenido cierto éxito es a través de **mecanismos de mercado**, en los que la capacidad de limitar y comerciar los "derechos de impacto" se basa en un incentivo para reducirlos. Este enfoque se adapta a las circunstancias que respaldan un mercado (es decir, hay suficientes compradores y vendedores), y donde se puede definir un tope o un límite. Es adecuado para gestionar los impactos en un solo receptor, pero tiene una aplicación limitada para gestionar los impactos en múltiples activos.

3.2. Instituciones que regulan la gestión del agua

Los arreglos institucionales en la cuenca o región pueden jugar un papel importante en la determinación de cómo se aplican, interpretan y hacen cumplir los requisitos legales para la gestión del agua. Las agencias gubernamentales y los departamentos con interés en la gestión del agua pueden definir aún más las condiciones de operación a través de reglamentos, estatutos, directrices y políticas, muchos de los cuales pueden ser específicos de la región o incluso de la cuenca. Las agencias y los departamentos desarrollan e interpretan las políticas dinámicamente. Anticipan las tendencias emergentes de gestión del agua y los desafíos de política y responden a circunstancias específicas a medida que surgen. Sus funciones y su personal cambian con el tiempo. A veces, las nuevas tecnologías o los nuevos enfoques para la gestión del agua pueden exponer la incertidumbre sobre las responsabilidades regulatorias, o a la inversa.

El efecto total de estas interacciones institucionales establece el contexto dentro del cual las minas deben operar. El contexto no solo confirma los requisitos de gestión del agua según se aplican a la cuenca o región, sino que también establece las condiciones en las que otras partes interesadas en la gestión del agua se desarrollan y determinan sus expectativas.

Las operaciones mineras deben considerar cuidadosamente la cuenca y el contexto regional en el que operan, identificar los riesgos relacionados con la gestión del agua y proporcionar recursos suficientes y responsabilidades claras para las funciones relacionadas con la identificación y respuesta al riesgo. De hecho, esta dinámica también debe considerarse en la etapa de planificación de la mina para garantizar que estos factores no presenten una falla fatal en el proyecto, y para asegurar que las opciones se identifiquen tempranamente para dar cuenta de ellas.

Allí donde las responsabilidades regulatorias son inciertas o cambiantes, la minería y sus operaciones deben comprometerse con las agencias pertinentes desde el principio, con frecuencia, y trabajar con ellas en las respuestas adecuadas de gestión del agua. También es apropiado, en esas circunstancias, ofrecerse como voluntario para compartir la experiencia de la industria minera sobre el cambio normativo apropiado.

La reglamentación ambiental para gestionar los posibles impactos resultantes de la forma en que se extrae, gestiona y elimina el agua es importante, pero también son importantes otros reguladores que definan las limitaciones o la medida en que puede producirse la gestión del agua de las minas. Por ejemplo, las agencias con responsabilidades en la regulación minera pueden tener un rol en la determinación de controles y guías para el almacenamiento y manejo de relaves, así como para la gestión del agua en el cierre. Las agencias de salud también pueden desempeñar un papel en los impactos en la calidad del agua, especialmente donde el agua que se utilizará para beber puede verse afectada. De manera similar, las empresas públicas y privadas involucradas en el suministro de agua potable y servicios de aguas residuales dentro de la cuenca pueden tener estatutos específicos, directrices o políticas que deben considerarse al planificar y gestionar el agua para las operaciones mineras.

Las operaciones mineras también deben interactuar con todos los organismos federales y estatales que tengan intereses en la cuenca o región. Por ejemplo, los intereses de otras industrias que comparten con la minería el recurso hídrico disponible, como la agricultura, están representados por sus respectivas agencias gubernamentales, y estas pueden influir en la toma de decisiones y la planificación de los recursos hídricos, pero pueden no tener las necesidades de la minería como las más importantes.

Muchas regiones también están representadas por agencias activas de desarrollo regional, cuyos intereses son promover el desarrollo económico y social de la región. Esas agencias a menudo son fundamentales para las iniciativas específicas de la región que pueden influir en los intereses de gestión del agua de una mina individual. Los gobiernos locales pueden jugar un papel multifacético en la administración y planificación del agua en ciertas cuencas.

La planificación, el drenaje y la provisión de agua potable y servicios de aguas residuales son todas facetas de la gestión del agua de captación que deben considerarse y que pueden estar regidas por las reglamentaciones y los reglamentos locales.

3.3. Planificación regional y de gestión de cuencas

Los planes de administración de cuencas ayudan a evaluar la situación actual y la deseada para la cantidad y calidad del agua, la integridad ambiental y los objetivos de desarrollo económico y, presentan un conjunto completo de medidas tendientes a alcanzar la situación deseada.

Estas medidas pueden incluir límites definidos de asignación de cuencas, enfoques para la asignación de agua –tales como licencias, o emisión y comercio de derechos de acceso al agua– y respuestas acordadas según la disponibilidad estacional. Otras medidas incluyen arreglos de monitoreo, sanciones, protocolos de comunicación y resolución de conflictos, y procedimientos de apelación.

Las operaciones mineras deben conocer las oportunidades brindadas por los planes regionales y de gestión de cuencas para informar mejor los riesgos para su operación, y para asegurar que dichos planes tengan en cuenta adecuadamente los proyectos mineros actuales y los desarrollos futuros. Para muchas operaciones mineras que operan en cuencas aisladas y donde el recurso hídrico no está completamente asignado, los planes de gestión regional y de cuenca proporcionan un contexto útil para considerar los riesgos a nivel de cuenca.

Los planes sintetizan información pertinente (incluida la información hidrológica), identifican los problemas de mayor riesgo y la prioridad de la gestión, e indican problemas emergentes relevantes para la cuenca, incluidos los requisitos normativos en evolución. Cuando una operación minera se ubica en un sistema, total o casi totalmente asignado, deberá involucrarse en la planificación de la captación para garantizar que sus intereses sean considerados adecuadamente.

3.4. Partes interesadas en la cuenca

La forma en que se maneja el agua puede tener impactos en los activos sociales, ambientales y económicos. Las operaciones mineras rara vez trabajan en forma aislada, y los impactos de sus prácticas de gestión del agua, tanto reales como percibidas, deben ser considerados teniendo en cuenta ese contexto más amplio.

Por ejemplo, aumentar la publicidad sobre la cantidad de agua usada en una cuenca respecto de todos los usuarios consumidores puede ser profundamente esclarecedor, tanto para reguladores como para la sociedad en su conjunto. Un proyecto minero podría estar consumiendo o afectando mínimamente a la cuenca, y los impactos podrían estar siendo realizados por otras actividades. En contraposición, la industria minera puede ser un usuario relativamente pequeño a nivel nacional, pero un solo proyecto minero puede ser un usuario importante de agua o tener un impacto significativo a nivel local.

Concientizar sobre las consecuencias de sequías e inundaciones extremas, sobre cambio climático y variabilidad del clima han enfocado la atención de la comunidad en la disponibilidad y calidad del agua, así como en dónde y cómo se usa este recurso vital.

Con un criterio de valor agregado (dólares generados por megalitro de agua utilizada), la minería y el procesamiento de minerales agregan significativamente más valor financiero que la mayoría de los usos agrícolas. Sin embargo, como los mercados del agua se han atrincherado, algunos cultivos específicos en ciertas cuencas ahora también están logrando altos niveles de valor agregado al agua que se usa (Morison, 2014).

La concentración del uso del agua de la industria minera en una región o cuenca hidrográfica es importante para configurar las percepciones de los interesados sobre el uso responsable y los acuerdos de distribución apropiados entre múltiples usuarios, incluido el ambiente.

Las medidas tomadas sin la participación de los beneficiarios o los afectados tienen una posibilidad reducida de éxito. Los interesados pueden definirse muy ampliamente. Incluyen aquellos que son usuarios de agua directos, indirectos y potenciales; reguladores y otras

agencias gubernamentales relevantes; comunidades locales; propietarios tradicionales, y organizaciones no gubernamentales interesadas en los impactos de las prácticas de gestión del agua.

La identificación de las partes interesadas clave requiere una evaluación cuidadosa de qué activos pueden verse afectados (o incluso percibidos como afectados) por las prácticas de gestión del agua de la operación minera, seguido por la determinación de una estrategia de participación que sea proporcional al riesgo de los involucrados.

La implicación de las partes interesadas es una herramienta válida para evitar o gestionar los conflictos. Se necesita un marco para conciliar las demandas en competencia, como la agricultura, el suministro de agua doméstica, el ambiente y la recreación. En muchos casos, la reconciliación se logra principalmente a través de los mercados de derechos formales de propiedad del agua y del desarrollo de planes de distribución del agua en línea con las prioridades actuales de las políticas nacionales e internacionales. En un número cada vez mayor de regiones, los planes de gestión de cuencas proporcionan la base para ese marco.

3.4.1. Las comunidades

El acceso a cantidades suficientes de agua limpia es un derecho humano fundamental.

Las comunidades en las que opera la industria, o sobre las cuales tiene impacto, esperan y exigen su participación en las decisiones sobre la asignación de recursos hídricos y que la industria utilice el agua de manera eficiente y no afecte negativamente la calidad del agua.

Normalmente, la comunidad y otras partes interesadas son consultadas durante la etapa de evaluación ambiental y aprobación de proyectos, pero también se debe buscar el compromiso con las autoridades locales de gestión de cuencas y otras partes interesadas durante el desarrollo y la revisión de los planes de distribución de agua de captación.

Los valores culturales y ambientales del agua pueden ser factores importantes para las expectativas regulatorias y sociales sobre lo que constituye una administración responsable del agua. Los sitios pueden tener la oportunidad de contribuir positivamente trabajando para el mantenimiento de esos valores, participando en forma activa en la planificación de la captación y mediante un compromiso efectivo con la comunidad.

.....
Antes, durante y después de las operaciones, el operador de la mina debe entender el entorno de la comunidad: cómo se usa el agua, quién lo usa, la estacionalidad del uso y sus demandas actuales y futuras.
.....

El **diálogo continuo** ayuda a las comunidades a comprender las necesidades de agua de la mina, y también ayuda a la industria a comprender las expectativas de la comunidad al tomar decisiones comerciales relacionadas con el uso del agua.

En muchas situaciones, las minas proporcionan agua a los miembros de la comunidad, desde el suministro de agua para uso doméstico y existencias hasta el suministro formal de mayores volúmenes para riego, a través de la infraestructura diseñada, construida y administrada por la compañía minera. El suministro de agua también puede ser parte de los acuerdos asociados con los drenajes de la mina, a través de acuerdos relacionados con los cambios en las condiciones hidrológicas causadas por la actividad minera.

Algunas compañías mineras están involucradas, asimismo, en el suministro de agua a pueblos y comunidades como operadores de servicios de agua. La participación en estos servicios tiene su origen en que la minería es un desarrollo pionero en ciertas regiones.

Pocas comunidades aledañas a las minas tendrán una comprensión intuitiva del concepto de cierre de la mina. Por lo tanto, es particularmente importante que este concepto se explore con la comunidad al principio de la operación y que la planificación del cierre la involucre durante toda la vida de la mina. Debido a que los impactos en la calidad del agua y los sistemas hidrológicos son consideraciones clave de la planificación e implementación del cierre, los proponentes del proyecto deben esforzarse por discutir y buscar el respaldo de la comunidad para los objetivos de cierre de la mina relacionados con el agua. También deben considerarse las oportunidades para el uso del agua por parte de la comunidad después del cierre, como el uso de pozos abiertos para la acuicultura o el suministro de agua para extinción de incendios etc. Esto minimizará los problemas con las comunidades a largo plazo, causados por las expectativas no realizadas después del cierre.

3.5. El nexo agua-energía-comida

Las empresas mineras deben reconocer los vínculos y tensiones más amplios entre su uso del agua y el uso del agua por otros sectores, como la energía y la producción de alimentos, y tener en cuenta esas interacciones en las evaluaciones de riesgos para la gestión del agua en la cuenca.

El concepto del **nexo agua-energía-alimento** reconoce que los vínculos estrechos entre los sectores y las acciones en un área a menudo pueden tener un impacto significativo en los demás (Hoff, 2011).

Los vínculos entre el agua, la energía y los alimentos se enfocan más de cerca a medida que aumenta la demanda de los tres, pero particularmente *a medida que aumenta la competencia por el agua*.

Este concepto es relativamente nuevo. Amplía la noción de administración del agua para incluir efectos más abarcativos sobre la energía y los alimentos. Las tensiones e interacciones entre los tres sectores son evidentes en los últimos años.

La consideración de estos vínculos por parte de las compañías mineras también fomentará una valoración más adecuada del agua, pudiendo informarse las decisiones que toman los operadores de la mina sobre el acceso a las fuentes de agua indicadas, asegurando niveles adecuados de inversión en eficiencia hídrica y reciclaje de agua, y considerando oportunidades responsables para la eliminación del excedente.

III. ENFOQUE DE GESTIÓN DEL AGUA BASADO EN LA CAPTACIÓN

Ideas clave

- Un enfoque de gestión del agua basado en la captación requiere un conocimiento técnico fundamental del contexto regional en cuanto al agua superficial y a la subterránea, de los usuarios y de los valores clave.
- Todos los componentes del ciclo hidrológico, incluidos las aguas superficiales y las subterráneas, la evaporación, etc., deben ser considerados para una gestión responsable del agua.
- La definición de la región o cuenca hidrográfica es un paso inicial importante para garantizar que se identifiquen y cuantifiquen las dimensiones completas del equilibrio hídrico y los activos y valores dependientes del agua.
- El retorno del agua al ambiente debe ser "mantener y, cuando sea necesario, restaurar los procesos ecológicos y la biodiversidad de los ecosistemas dependientes del agua".
- La caracterización de la hidrología de la cuenca generalmente requiere datos respaldados por las instalaciones de monitoreo, incluyendo el clima, el flujo de aguas superficiales y el monitoreo del agua subterránea.
- El cambio climático y la variabilidad climática (por ejemplo, la reducción de las precipitaciones y las inundaciones más graves) serán diferentes en distintas regiones. Es importante considerar las condiciones futuras en las predicciones de disponibilidad de agua y en las evaluaciones de los impactos.
- Los activos ambientales dependientes del agua, los sitios de importancia cultural y las demandas de agua de terceros deben ser identificados.
- La incertidumbre técnica a escala regional en las áreas mineras puede ser considerable, por lo que la gestión de los recursos hídricos requiere una apreciación de los márgenes de error y de la variabilidad temporal y espacial, ya sea debido a la variación climática y estacional o a factores geológicos locales.

Un enfoque de gestión del agua basado en la captación requiere un conocimiento técnico fundamental del contexto regional del agua superficial y la subterránea, de los usuarios del agua y de los valores clave. En particular, los controles y las características hidrológicas son insumos importantes para el equilibrio hídrico, que apuntalan muchos problemas subyacentes acumulativos, comunitarios y ambientales.

Cambiar a un contexto regional para la gestión del agua sin invertir en conocimiento técnico fundamental expone potencialmente a la compañía minera a mayores riesgos, que finalmente resulta en decisiones y compromisos de inversión mal informados. Por lo tanto, establecer un entendimiento de las características y los controles de las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca y el balance hídrico, los depósitos y los medios de transporte, se constituye en un componente inicial importante de un enfoque basado en cuencas.

Normalmente se requiere un conocimiento técnico exhaustivo de las características y los controles del agua superficial y del agua subterránea, ya que *un enfoque basado en la captación generalmente requiere que el operador monitoree y evalúe las condiciones más allá de la concesión minera o la propiedad de la mina.*

Esto requiere:

1. Conjuntos de datos más grandes y más instalaciones de monitoreo, algunas de las cuales pueden compartirse con otros mineros, agricultores y otras industrias.
2. Conjuntos de datos diseñados para proporcionar información en diferentes escalas (temporales y espaciales), de manera de abordar problemas internos y externos de las partes interesadas.
3. Un conocimiento mejorado de las dependencias, funciones y resiliencia de los receptores de agua, algunos de los cuales están ubicados fuera de la tenencia y dentro de cuencas vecinas.
4. Herramientas predictivas regionales que consideran la escala apropiada y la incertidumbre técnica.
5. Una comprensión fundamental de los servicios existentes y las capacidades y limitaciones de infraestructura en la cuenca.
6. Técnicas activas de gestión del agua en áreas fuera de la puerta de la mina, algunas de las cuales pueden compartirse con otros proyectos mineros, para prevenir o mitigar los impactos.

Los requisitos para operar y monitorear fuera del arrendamiento inmediato de la mina (o compartir datos de manera oportuna) pueden presentar algunas dificultades y desafíos logísticos, particularmente cuando se necesita conocimiento clave sobre otras minas, industrias, receptores sensibles o propietarios de tierras, o reservorios de agua en la cuenca.

.....

El acceso a la tierra, los problemas de intercambio de datos y los acuerdos generales de gestión del agua evolucionan a lo largo del tiempo y requieren compromiso e inversión a largo plazo.

.....

3.6. Establecimiento de la escala de captación apropiada

Definir la región de interés o el dominio de captación es un paso inicial importante para garantizar que se identifiquen y cuantifiquen las dimensiones completas del balance hídrico, así como los activos y valores dependientes del agua. Esto requiere una revisión de la captación de aguas superficiales, de la hidrogeología (incluyendo el potencial de interconexiones entre acuíferos y aguas superficiales) y de cualquier transferencia de agua que se produzca como parte de una red o que pueda ocurrir naturalmente durante las diferentes estaciones.

El dominio de la cuenca puede variar estacionalmente y a medida que surjan nuevas operaciones e industrias. Se define como el área hidrológica de agua superficial seguido de una superposición de las condiciones del agua subterránea –si hubiera– y las posibles interconexiones entre ellas y las cuencas vecinas.

En las cuencas superficiales grandes, o donde los acuíferos son extensos, la definición del dominio de captación puede necesitar considerar el área probable de impacto de una actividad minera, o bien los efectos acumulativos resultantes de operaciones múltiples.

Es probable que se produzcan cambios en el dominio de la cuenca a medida que se desarrolla más el conocimiento de esta, pero se debe evitar la modificación regular de su frontera porque dificultaría el mantenimiento de la consistencia de la gestión. Para respaldar la definición del dominio de captación, incluso para aguas superficiales y subterráneas, pueden utilizarse algunos análisis iniciales y modelos predictivos.

Es asimismo importante desarrollar un modelo hidrológico conceptual del agua subterránea a escala local y regional que considere la recarga y la descarga, las interacciones entre las unidades del acuífero y con el agua superficial, los ecosistemas dependientes del agua subterránea y otros usuarios del recurso.

Para demostrar el modelo conceptual que se seguirá pueden desarrollarse modelos numéricos o analíticos. Los programas de monitoreo se pueden refinar a partir de los resultados de esos modelos.

3.7. Desarrollo de una línea de base hidrológica

La caracterización hidrológica de la cuenca generalmente requiere datos respaldados por instalaciones de monitoreo que de modo usual controlan el clima, el flujo de aguas superficiales y el nivel y la calidad de las aguas subterránea y superficial. También es necesario realizar evaluaciones técnicas específicas para caracterizar las aguas en receptores clave o infraestructura hídrica.

Desde una perspectiva ambiental, los volúmenes de agua superficial, las tasas (de evaporación, de recarga, etc.), los niveles de agua subterránea, la dirección del flujo, los caudales y la calidad del agua son conjuntos de información importantes para comprender las variaciones naturales y las condiciones hidrológicas en diferentes partes de la cuenca o subcuenca, así como el impacto que la mina tendrá en ellos y los que, probablemente, tenga debido a ellos.

Es posible encontrar arroyos y ríos con una extrema variabilidad del flujo. El flujo promedio anual de un mismo río puede ser muy amplio: extremadamente alto en épocas de lluvia y permanecer inactivo y completamente seco en épocas o estaciones de sequía. Tomar en

cuenta solo el flujo promedio anual no proporcionará una buena comprensión del sistema en este tipo de ambientes.

Las operaciones mineras se producen en una amplia gama de entornos, incluidas las regiones húmedas o secas con una variación estacional fuerte o débil. La minería necesita un **suministro de agua confiable y consistente**, la más de las veces no necesariamente alto. Pero en condiciones climáticas estacionales, podría requerir licencias adicionales, derechos, perforaciones o almacenamientos. Esto requiere que los operadores reconozcan esa variabilidad de las condiciones ambientales y planeen y administren el suministro de agua durante todas las fases de la operación.

La clave para gestionar los requisitos ambientales del agua es comprender la dinámica temporal de la cuenca. También es necesario conocer los servicios de agua existentes para comprender el balance de agua dentro de la cuenca.

Algunos de los elementos básicos importantes para mapear son:

- capacidad, condición y confiabilidad de la infraestructura del agua;
- almacenamiento del agua;
- limitaciones en la distribución, y
- variaciones estacionales.

Cualquier evaluación que considere la capacidad, la condición y la confiabilidad de la infraestructura del agua debe considerar una planificación adecuada para el impacto del cambio climático, como las inundaciones. El alcance de los nuevos requisitos y redes de monitoreo es diferente para cada cuenca y depende en gran medida de su complejidad hidrológica, así como de los desafíos hídricos, el nivel de certeza que es apropiado para brindar soluciones de gestión y la información histórica disponible.

El **monitoreo de captación** es un componente esencial para simular y predecir el flujo de agua a través del paisaje y es la base para calibrar los modelos.

3.8. Identificación de las principales características de los recursos hídricos

Una sólida comprensión de las funciones hidrológicas que respaldan las características y activos clave del agua garantizará que se establezcan las condiciones de gestión apropiadas, aptas para el uso, los factores desencadenantes, los umbrales y los objetivos.

Las encuestas ecológicas y las evaluaciones hidrológicas, junto con el compromiso cultural, comunitario y regulatorio, son actividades importantes y necesarias para definir el valor funcional de los activos. Asimismo, podrá ser necesario que algunos estudios e investigaciones sean completados en coordinación con otros mineros y la comunidad local.

No todas las evaluaciones basadas en cuencas están enfocadas en identificar y manejar el potencial de impactos ambientales o de agua de terceros. Dichas evaluaciones también se realizan para identificar y establecer posibles sinergias, contingencias y suministro de agua u oportunidades comerciales.

Las características clave del agua y los activos que deben considerarse en una cuenca también pueden incluir recursos hídricos naturales o recursos hídricos modificados o reciclados disponibles de otros mineros, servicios públicos y proyectos comunitarios. Establecer

esas oportunidades y evaluar los costos y diseños para mover el agua entre los puntos de oferta y demanda son fundamentales para una planificación temprana exitosa.

3.9. Evaluación y predicción del cambio hidrológico y del balance hídrico

Los métodos y técnicas utilizados para evaluar el cambio hidrológico en la escala de captación son típicamente similares a las herramientas utilizadas en un sitio de mina. Por ejemplo, modelos hidrológicos conceptuales en el sitio local y escalas de captación para soportar modelos analíticos y numéricos. Las principales diferencias son la escala, el grado de incertidumbre y la necesidad de compartir potencialmente el modelo con otros mineros. Esto puede introducir complejidades de gobierno y de intercambio de datos, algunas de las cuales pueden requerir el control de la información por un tercero independiente o un regulador apropiado.

Las herramientas de evaluación y predicción se pueden usar para simular los regímenes de flujo de aguas superficiales, las tasas y las direcciones del flujo de aguas subterráneas y los límites de extracción sostenibles. Las capacidades predictivas de los modelos se utilizan luego para definir los diversos escenarios de balance hídrico y el rango de resultados de impacto que pueden resultar de los efectos individuales y acumulativos de la mina.

Los proponentes deben reconocer que la incertidumbre técnica en la disponibilidad y la calidad de los datos puede dar lugar a limitaciones en los productos. Los modelos de escala de captación y la interpretación de los resultados de esos modelos deben ser adecuados para su propósito, y generalmente *se deben considerar múltiples escenarios* en el análisis para respaldar la toma de decisiones efectiva y apropiada.

Se requieren **modelos hidrogeológicos conceptuales** para identificar áreas de incertidumbre y enfoque, después de lo cual los modelos analíticos y numéricos pueden aclarar aún más las incertidumbres e informar la elección de los lugares y la frecuencia de monitoreo. Las herramientas de evaluación de escala de captura se pueden usar para simular diversas técnicas de gestión para mitigar o evitar los impactos. La aplicación de tales herramientas para este fin debe reconocer las limitaciones de los datos y los resultados en un receptor distante, particularmente si existen datos limitados sobre la interacción de la acción de manejo de interés y el receptor relevante.

3.10. Base técnica para la gestión del agua a escala de cuenca

Las soluciones de gestión activa del agua para prevenir o mitigar los impactos fuera de la tenencia superficiaria de la mina o la escala de captación, e incluso para compartir o comerciar recursos hídricos, se basan en el **conocimiento técnico a escala de cuenca**.

Entregar agua a un tercero, mantener la descarga artificial de un manantial o establecer un sistema funcional de comercio de agua requiere una comprensión fundamental del recurso hídrico y los componentes clave de la incertidumbre ambiental, científica y de ingeniería.

Algunas de las soluciones vendrán a través de la colaboración con otros mineros y terceros, la inversión en investigación y desarrollo, y la cooperación en los planes operativos. La incertidumbre técnica a nivel de cuenca en las áreas mineras puede ser considerable, y la gestión de los recursos hídricos a esta escala requiere una apreciación de los márgenes de

error y la variabilidad temporal y espacial, ya sea debido a la variación climática y estacional o a los controles geológicos locales.

En ausencia de conjuntos de datos históricos a largo plazo y la presencia de capacidades predictivas limitadas, puede ser necesario considerar inicialmente las soluciones de gestión conservadoras con umbrales de precaución. Es importante destacar que los controles de gestión deben reflejar este rango de incertidumbre y posibles resultados de impacto. Con la mejora de los datos y el conocimiento a través de la gestión adaptable del agua, el enfoque precautorio de la gestión puede pasar a umbrales más específicos y medidas de gestión mejor definidas.

Por ejemplo, los factores desencadenantes o umbrales de gestión para evitar impactos en un ecosistema acuático a partir de la descarga de agua excedente de mina durante una estación húmeda pueden necesitar establecerse inicialmente dentro de la variación natural o rango en los valores de parámetros hidrológicos clave, como nutrientes, pH y salinidad. Esos valores generalmente se obtienen a través del monitoreo durante varios años y ciclos estacionales. Con un mayor conocimiento técnico generado a partir de las evaluaciones científicas, el factor desencadenante de la gestión puede cambiar a umbrales ecológicos más específicos que consideren la adaptabilidad y la capacidad de adaptación de las especies.

El **enfoque de gestión adaptativa** se aplica bien a la administración del agua a escala de cuenca, particularmente cuando existen datos limitados o imperfectos o lagunas en el conocimiento hidrológico. La mejora del conocimiento, respaldada por un monitoreo y análisis adecuados, generalmente genera resultados menos conservadores y brinda transparencia sobre los riesgos y una base para una mayor confianza entre las comunidades locales y otros usuarios del agua.

3.11. Cambio climático y variabilidad climática

Los impactos del cambio climático y la variabilidad climática serán diferentes en las diversas regiones donde se encuentren los proyectos mineros. Algunas regiones podrían experimentar una reducción de las precipitaciones, mientras que otras podrían verse expuestas a precipitaciones extremas. Los impactos son desiguales y difíciles de predecir. Sin embargo, estos efectos tienen el potencial de *influir en la hidrología de ciertas cuencas y contribuir al estrés y al cambio ambiental*.

La variabilidad interanual en las condiciones climáticas resulta en ciclos de períodos húmedos y secos que abarcan varios años debido a sistemas como El Niño y La Niña. Estos procesos están asociados con un período sostenido de calentamiento (El Niño) o enfriamiento (La Niña) y pueden ocurrir en escalas de tiempo de uno a ocho años.

Las minas requieren *planes de gestión del agua tolerantes a inundaciones y sequías*. Con el tiempo, las operaciones pueden experimentar mayores riesgos operativos al verse afectadas por los cambios climáticos y la variabilidad climática, como inundaciones más intensas que provocan daños físicos a la infraestructura de gestión del agua o impactos en la producción por anegamiento de los *pits* mineros.

Las operaciones también pueden experimentar un riesgo o incremento de los costos por medidas regulatorias debido al exceso de descarga y liberación de agua de inundación a afluentes y los impactos ambientales relacionados.

Las reducciones en la disponibilidad de agua debido al cambio climático pueden afectar una operación aumentando la competencia por el recurso hídrico si la mina se encuentra en una cuenca de captación con una asignación casi total o total. Por el contrario, la inundación de las operaciones y el daño a la infraestructura pueden ocurrir debido a tormentas severas. La mayoría de los usuarios del agua en una región presentan los mismos requisitos al mismo tiempo: tienen exceso de agua o requieren un aumento de la extracción, por lo que los efectos acumulativos se agravan en momentos de estrés. Esto puede dar lugar a la *colocación de topes en el volumen total de agua disponible* para fines de consumo o para el uso de la mina.

El cambio climático y la variabilidad climática también pueden afectar el volumen de agua disponible para el uso ambiental o pueden tener otros impactos, por ejemplo, a través de cambios en las temperaturas medias.

Cuando las operaciones mineras se monitorean y miden por su impacto en los activos ambientales de alto valor, es importante garantizar que el desempeño frente a factores desencadenantes, metas, límites y umbrales incluya cierta tolerancia a los impactos que son exógenos a la actividad minera, como los provocados por el clima (cambio y variabilidad).

La atribución de impactos debido al cambio climático puede ser una tarea difícil, ya que pueden ocurrir durante un período prolongado y no son fáciles de medir. Por ejemplo, en las corrientes efímeras, que pueden exhibir una variación natural significativa en los flujos que pueden permitir un nivel de tolerancia y resiliencia en los receptores dependientes del agua, los efectos del cambio climático y la variación climática podrían enmascarse si se acumulan lentamente.

Las empresas mineras deben monitorear la investigación sobre este tema y utilizarla para informar las decisiones y acciones relacionadas con cuestiones regulatorias, para garantizar que los reguladores aprecien que *no todos los impactos pueden atribuirse a los usuarios del agua*.

3.12. Flujos ambientales

Un **flujo ambiental** es el régimen de agua provisto dentro de un río, humedal o zona costera para mantener los ecosistemas y sus beneficios donde hay usos competitivos del agua y donde los volúmenes de uso están regulados.

Los flujos ambientales hacen contribuciones críticas a la salud del río, el desarrollo económico y el alivio de la pobreza.

La gestión del agua en una mina puede alterar las características del flujo aguas abajo mediante alguna de estas acciones:

- Causando flujos de base extendidos o elevados debido a descargas relativamente constantes, como, por ejemplo, desde operaciones de molienda o drenaje.
- Desplazando la escurrentía pluvial y atenuando los picos de flujo de inundación, o capturando la escurrentía del sitio y tratándola en estanques de retención.
- Reduciendo la escurrentía del sitio, por ejemplo, mediante el uso de una estrategia de liberación nula o la mejora de las pérdidas por evaporación *in situ* de agua en áreas potencialmente contaminadas.
- Aumentando los picos del flujo de inundación y reduciendo los flujos de base al disminuir la infiltración.

- Aumentando las tasas de escorrentía, como resultado de la eliminación de la vegetación natural y las capas de suelo de las áreas afectadas, o de la compactación de suelos y subsuelos.
- Perturbando las relaciones entre los sistemas de aguas superficiales y subterráneas.
- Desviando agua de una cuenca a otra.
- Convirtiendo las aguas temporales en aguas perennes, o viceversa.

La gestión de las mejores prácticas sobre los impactos del flujo de las descargas de agua de un sitio o proyecto minero debe ser compatible con los marcos legislativos y tener en cuenta los objetivos de flujo ambiental que se han determinado para la cuenca afectada. Por ejemplo, la conversión de una corriente efímera en una corriente perenne como resultado de las descargas continuas de agua de mina (por ejemplo, desde las operaciones de drenaje) interrumpirá los procesos ecológicos naturales que dependen de las variaciones estacionales en el flujo y podría **reducir la biodiversidad** a escala local (promoviendo solo las especies que tienden a dominar en aguas perennes) y a escala regional (reduciendo el número de cuerpos de agua temporalmente inundados).

Establecer un flujo perenne en un río o un flujo naturalmente efímero también puede *cam-
biar profundamente la composición de la vegetación* acuática y ribereña, de modo que la zona litoral esté dominada por especies que requieren agua durante todo el año. Cuando el flujo cesa al final del período de descarga (que en algunos casos puede durar muchos años), la vegetación ribereña que necesita agua durante todo el año morirá, lo que provocará la desestabilización de los bancos y una mayor erosión. En esta circunstancia, puede ser necesaria la rehabilitación de los bancos de los arroyos.

Los ecosistemas dependientes del agua subterránea pueden verse dañados por los cambios en el flujo y la calidad del agua (un ejemplo que involucra especies que pasan parte de sus vidas bajo tierra). Los cambios en los regímenes del flujo también pueden *aumentar el riesgo de establecimiento y propagación de especies invasoras*, como las malezas acuáticas y terrestres, lo que puede dar lugar a requisitos de gestión a largo plazo.

Que cualquiera de los efectos anteriores, resultantes de los cambios en el flujo, sea aceptable dependerá de las implicaciones para la cuenca y, en particular, para cualquier especie o comunidad sensible, rara, amenazada o en peligro que dependa del ciclo natural del agua.

Estos riesgos deben ser considerados y gestionados. En algunas circunstancias, los cambios en los flujos ambientales pueden no tener siempre los mismos impactos a largo plazo. Los efectos en el tiempo de tales cambios pueden verse atenuados por la resistencia de los sistemas ecológicos afectados.

Los estudios son importantes para mantener una frecuencia de monitoreo e investigación constante sobre los impactos de los cambios en los regímenes hidrológicos resultantes de las actividades mineras, y para proporcionar un nivel de información a los reguladores y otras partes interesadas clave que tengan interés en los impactos del agua a nivel de administración de cuenca.

La aplicación de las mejores prácticas en los impactos del flujo de las descargas de agua desde un sitio de mina también considera las implicaciones más amplias para la cuenca receptora. Por ejemplo, el paso de organismos acuáticos (como los peces) a través de los cursos de agua puede ser inhibido o completamente impedido por **barreras químicas** causadas por la mala calidad del agua. Las consideraciones sobre **barreras físicas** son igualmente relevantes, pero el problema de las descargas es que, incluso una sección corta de mala calidad del agua en una corriente resultante de una descarga de fuente puntual puede tener

implicaciones más amplias si se inhibe el movimiento hacia otras partes de la cuenca. Esto puede ocurrir cuando la zona de mezcla cubre todo el ancho de la corriente, incluso si la calidad del agua cumple con las condiciones de la licencia de descarga fuera de la zona de mezcla.

3.13. Estigofauna: un caso testigo

La **estigofauna** es un ejemplo de especies dependientes del agua subterránea que pueden verse afectadas por la minería. El término *estigofauna* alude a la fauna subterránea (predominantemente crustáceos, gusanos, caracoles, insectos y otros invertebrados) que dependen, al menos durante una parte de su ciclo de vida, de las aguas subterráneas. Las comunidades de aguas subterráneas típicamente comprenden especies que se encuentran solo en un área muy pequeña (“endemismo de corto alcance”) y, en algunos casos, especies enteras pueden ser vulnerables a los cambios en el nivel y flujo del agua subterránea.

Se ha descubierto el potencial de deshidratación asociado con las actividades de extracción de agua por debajo del nivel del mar que impactan en la estigofauna. Sin embargo, la distribución y diversidad de las especies, la extensión del endemismo y la resiliencia de las especies ha generado incertidumbre sobre los impactos. Esto ha llevado a considerar los impactos sobre la estigofauna como *parte del proceso de evaluación ambiental para nuevas minas* y otros desarrollos que afectan las aguas subterráneas, e incluso, a directrices específicas para enfoques aceptables de evaluación.

El hábitat subterráneo de la estigofauna conduce a adaptaciones altamente especializadas que aumentan en gran medida la probabilidad de endemismo de corto alcance y, por lo tanto, aumenta la incertidumbre sobre los impactos en las especies endémicas y la biodiversidad.

Es fundamental realizar estudios adecuados para comprender las especies que pueden estar presentes. Esto ayudará a minimizar las condiciones y los retrasos de aprobación y los costos de monitoreo y cumplimiento. Sin embargo, la evaluación de la fauna subterránea a menudo es compleja debido al conocimiento limitado de las distribuciones de especies y los requisitos de hábitat, así como a las dificultades para realizar los estudios.

PARTE 4

Gestión operativa del agua

Esta parte de la guía describe los elementos que se deben considerar para lograr la gestión operativa del agua con la aplicación de las mejores prácticas profesionales disponibles. Se deben de establecer objetivos claros que se alineen con el nivel de riesgo que enfrenta la operación. Un sólido argumento comercial para soluciones alternativas basadas en el riesgo y la tolerancia al riesgo ayudará a la compañía a comprender los costos y beneficios de varias opciones.

Comprender el contexto de la cuenca biofísica para la mina, desarrollar y operar la mina y optimizar el sistema de agua involucrará diversos grados de complejidad, dependiendo de la naturaleza de la operación. La selección de las mejores prácticas dependerá de un análisis de costo-beneficio que tenga en cuenta la magnitud de los riesgos y el nivel de mitigación requerida.

I. PLANIFICACIÓN DEL AGUA Y GESTIÓN ADAPTATIVA

Ideas clave

- La gestión del agua para las operaciones mineras requiere un tiempo de preparación adecuado para la planificación y debe basarse en los riesgos y las oportunidades.
- La gestión del agua debe ser adaptable y debe adoptar técnicas prácticas y factibles que incorporen aprendizajes clave.
- Se necesita una buena comprensión del riesgo y la tolerancia a él para determinar los costos y beneficios de las diferentes opciones.
- Los riesgos y oportunidades relacionados con el agua se pueden gestionar estableciendo un horizonte de planificación a más largo plazo que se base en consideraciones operacionales existentes y prepare la operación para una gama de posibles escenarios de desarrollo de minas y resultados de balance hídrico.

- El establecimiento de objetivos y procesos operacionales y de administración acordados formalmente, y la implementación de sistemas de monitoreo e informes para ellos, permite una gestión eficaz del riesgo del agua y mejoras en la productividad.
- Los planes hídricos estratégicos específicos del sitio son esenciales para establecer objetivos y expectativas de gestión del agua y definir responsabilidades y medidas de desempeño.

4.1. Planificación del manejo del agua

La administración líder del agua en la práctica requiere una buena planificación y preparación y la selección de las herramientas y aplicaciones adecuadas para permitir que la gestión sea un impulsor de la productividad.

4.1.1. Plazos de planificación y preparación

El agua es tanto un facilitador como una limitación para las compañías mineras.

- **Como facilitador.** Es un requisito esencial para el procesamiento de minerales y la supresión de polvo en suspensión.
- **Como una limitación.** La mala gestión del agua puede conducir a desviaciones ineficaces, impactos en la producción por problemas de bombeo o tratamiento, impactos ambientales y preocupación de la comunidad, y puede requerir un tiempo de administración y gastos considerables para rectificar el panorama.

El esfuerzo de gestión que recibe el agua es diferente para cada empresa y operación.

Las empresas necesitan establecer objetivos, principios y medidas claras de gestión del agua que abarquen de manera efectiva horizontes operativos y de planificación de mediano a largo plazo, aborden su perfil de riesgo, consideren la complejidad operativa y, lo que es más importante, consideren los costos y beneficios.

Aunque un enfoque para la gestión del agua puede ser efectivo para problemas hídricos y crisis inmediatos, es más probable que *la falta de objetivos, principios y medidas claras* aumente los costos operacionales y reduzca la flexibilidad en el mediano plazo y, potencialmente, conduzca a un cierre no planificado, pérdida de reputación e impactos a largo plazo.

La gestión del agua también puede convertirse en *un punto focal para agravios* en las comunidades cuyos miembros desean expresar un descontento más amplio con la compañía minera.

El grado de exigencia en la planificación y la gestión integrada del agua varía según diversos factores, como la escala y el tamaño de la operación, la dependencia de la operación de

un recurso hídrico limitado, el costo de las actividades acuáticas y, lo que es más importante, la vulnerabilidad de la operación a cuestiones ambientales, sociales y a nivel de cuenca.

Es aceptable considerar que *los problemas del agua se convierten en un riesgo importante en algún momento* para la mayoría de las operaciones.

También es importante señalar que la mayor parte de las operaciones se beneficiarán al proporcionar un tiempo de entrega adecuado para considerar los múltiples riesgos hídricos, las interfaces y las estructuras de gobierno que se aplican a la planificación del diseño operativo y los procesos de mejora. Los plazos para la planificación e implementación de la gestión del agua no siempre se alinean con el desarrollo de la mina o los calendarios de planificación de la mina; por lo tanto, los horizontes de planificación y los enfoques operativos deben ser adaptables y lo suficientemente flexibles como para abordar las demandas de agua y los volúmenes de descarga.

Si se adopta un enfoque *ad hoc*, sin establecer un objetivo estratégico claro, los impactos pueden ser costosos e inconsistentes con la gestión. Por ejemplo, el aumento de la producción minera puede desarrollarse de uno a tres años, particularmente para las operaciones existentes, mientras que un suministro de agua de apoyo para el crecimiento equivalente de una planta de desalinización o de un pozo puede requerir hasta cinco años de evaluaciones, aprobaciones y desarrollo, colocando así la actividad en un camino crítico para el proyecto. Después de completar un análisis y un plan de opciones de suministro en un contexto estratégico, permitirá una toma de decisión posible y concreta de ampliaciones futuras y, al mismo tiempo, servirá como una contingencia para un suministro existente.

Un ejemplo adicional se refiere a los plazos posteriores al cierre y al largo tiempo de demora para que se manifiesten las posibles respuestas de las aguas subterráneas. Si no existen alternativas amplias de gestión del agua en el momento adecuado y se asignan a varias opciones futuras de planificación minera, cualquier desviación de los planes de la mina a largo plazo y los cronogramas operativos puede tener impactos en la producción. Los costos de capital y operativos requieren una inversión temprana para mitigar dichos impactos. Alternativamente, la compañía necesita aceptar la posición de mayor riesgo para posibles impactos de producción y administración y los costos resultantes.

4.1.2. Herramientas, técnicas y aplicaciones

Las herramientas y los métodos técnicos desarrollados para la industria del agua son generalmente aplicables y transferibles a la mayoría de las situaciones y operaciones mineras, incluidos los modelos numéricos y analíticos, las bases de datos, los instrumentos de monitoreo y los programas de informes. Esas herramientas y procesos –en particular, la contabilización del agua– se pueden usar para proporcionar **capacidad numérica**, abordar las complejas interacciones entre los resultados del agua observada y predicha, y respaldar un caso de desarrollo de mina alternativo o un escenario operacional.

Este enfoque analítico puede proporcionar la base para comunicar la incertidumbre técnica y los riesgos del agua (como un resultado probabilístico), particularmente cuando la información imperfecta está disponible para la toma de decisiones. Un balance de agua bien mantenido (calibrado y apto para el uso) y robusto, que abarca horizontes de tiempo de corto y largo plazo y proporciona insumos a una cuenta de agua, es una herramienta esencial para una operación con una práctica líder.

4.1.3. Planificación de la gestión del agua

La planificación y la ejecución oportuna del agua, con puntos de decisión de inversión robustos, otorgan oportunidades de producción y administración y pueden facilitar la entrega de proyectos más rápidamente. Un sólido argumento comercial para soluciones alternativas, basadas en el riesgo y la tolerancia al riesgo, ayudará a la compañía a comprender los costos y beneficios de varias opciones. El diseño de instalaciones e infraestructura de gestión de aguas superficiales, como drenajes de desagüe y configuraciones de bombeo, es inherentemente probabilístico, y los diseños reflejarán la tolerancia al riesgo de un evento de precipitación con un intervalo de recurrencia promedio específico.

Por ejemplo, una operación minera a cielo abierto a corto plazo (2-5 años) puede elegir un diseño de gestión de clima húmedo que refleje el corto período de operaciones (por ejemplo, un evento de uno en diez años) y, al hacerlo, llevaría la probabilidad de que ocurra un evento de alta precipitación y reduzca la producción. Aunque con este diseño el capital y los gastos de funcionamiento se pueden reducir, se deben resaltar los costos de los posibles impactos y tomar una decisión comercial consciente para aumentar la tolerancia al riesgo. Alternativamente, se puede seleccionar un evento menos frecuente, que limitaría el riesgo, pero aumentaría el capital y el gasto operacional.

El gasto operativo y de capital para la infraestructura del agua puede ser sustancial. La inversión mal diseñada puede ser la causa principal de los impactos futuros en la producción o el aumento de los costos operativos. El diseño y la operación de los equipos de bombeo requieren una revisión continua, ya que el costo de capital de las bombas puede ser de alrededor del 5% del costo del ciclo de vida, considerando que la mayor proporción del costo de bombeo corresponde al uso de energía.

A medida que los volúmenes de bombeo cambian, el costo de energía operacional puede reducirse significativamente al revisar las especificaciones de la bomba y el rendimiento hidráulico y al sustituir las bombas más apropiadas y aptas para el uso. El aplazamiento de una inversión en la gestión del agua y la infraestructura requiere una consideración cuidadosa. Cualquier caso de negocio para una gestión hídrica significativa debe identificar claramente los costos directos e indirectos, así como los beneficios que la inversión puede obtener a mediano y largo plazo.

En general, la infraestructura del agua se utiliza en última instancia para fines adicionales al propósito del diseño, por lo que siempre debe considerarse una aplicación más amplia durante el desarrollo de un caso comercial.

La toma de decisiones sobre la gestión del agua normalmente depende de una **fuerte base técnica**. Una inversión temprana en ciencia e ingeniería a través de la perforación, pruebas y monitoreo generalmente abordará la incertidumbre y el valor de la información a través de diseños adecuados y una reducción en la pérdida máxima previsible durante las etapas operacionales.

Los diseños de desviación de agua mal delineados y las estimaciones imprecisas del suministro de agua subterránea pueden aumentar los costos de las operaciones mineras. Estos costos podrían controlarse mediante *una mejor investigación científica y la inversión en ingeniería*. Un documento de aprobación ambiental o un Estudio de Impacto Ambiental bien desarrollado y preciso pueden resultar en aprobaciones oportunas con menos condicionantes. Por el contrario, una evaluación poco desarrollada puede ocasionar demoras en la aprobación y, en última instancia, afectar seriamente los objetivos de producción.

La inversión estratégica en la administración del agua, respaldada por una buena investigación y un compromiso proactivo, puede correlacionarse con *menores costos de producción a largo plazo y una mayor seguridad* en el suministro de agua. Sin embargo, los beneficios directos no siempre son inmediatos, y construir la reputación de la compañía como un buen administrador del agua requiere *mensajes consistentes, objetivos claros y comunicación transparente*. Estos beneficios pueden lograrse a través de una mayor velocidad de aprobación ambiental, a veces con menos requisitos de monitoreo y reporte. Aprovecharlos generalmente requiere:

- un monitoreo riguroso e informes consistentes, los cuales generan confianza regulatoria;
- inversión en conocimiento científico sobre entornos de captación más amplios, y
- compromiso proactivo y voluntad, por parte de propietarios y otras industrias, de compartir datos y abordar los efectos acumulativos de las operaciones.

4.2. Gestión del agua adaptativa y basada en riesgos

Los desafíos del agua de las minas se pueden gestionar y las oportunidades se pueden lograr mediante la aplicación de varios enfoques que abordan los riesgos asociados con diferentes geografías, plazos de desarrollo y complejidades operacionales. Esto incluye:

- adoptar un enfoque basado en riesgos;
- incorporar la gestión adaptativa del agua para lograr aprendizajes clave en un proceso de mejora, y
- operar según los objetivos, estrategias, planes y procedimientos acordados.

4.2.1. Enfoque basado en riesgos

Un enfoque basado en riesgos permite identificar y mitigar de manera efectiva diversos problemas hídricos potencialmente interdependientes, que pueden afectar de manera individual o colectiva una operación o el entorno circundante. También puede preparar el negocio para tomar decisiones oportunas sobre una gama de posibles resultados hídricos, al presentar diferentes niveles de probabilidad y consecuencia de riesgo, así como los costos y plazos asociados con los controles preventivos y atenuantes.

Idealmente, una **evaluación de riesgos** bien desarrollada debe:

- abarcar múltiples marcos de tiempo desde la planificación hasta las operaciones y el cierre;
- considerar tanto el sitio minero como los aspectos regionales, y
- abordar iniciativas de administración del agua y consideraciones regionales o de captación y responsabilidades corporativas que pueden generar resultados complejos.

Las evaluaciones de riesgos también son efectivas para decisiones tácticas o inmediatas, como la determinación de un punto de descarga nuevo o modificado durante una inundación o la evaluación de un efecto de variación climática a corto plazo en el suministro de agua.

Como parte de un enfoque basado en riesgos, la mina debe identificar y revisar continuamente consideraciones clave que afecten el agua en forma anual (como mínimo) y desarrollar una base técnica y comercial para el proceso y la evaluación.

Se recomienda el uso de enfoques estándares corporativos o industriales existentes para garantizar la coherencia y una comparación de riesgos más sencilla. En ausencia de un pro-

ceso formal de evaluación, el establecimiento de categorías y consideraciones de riesgo hídrico fuerza a debatir sobre los que no son obvios, como el hecho de invertir en suministros de agua seguros a corto o largo plazo durante la vida del proyecto. Este ejemplo de riesgo tiene varias interdependencias que pueden necesitar una revisión separada y colectiva, y las variables de riesgo cambiarán a lo largo de la vida del proyecto.

4.2.2. Gestión adaptativa del agua

La gestión adaptable del agua es un enfoque iterativo para la toma de decisiones en el que los aprendizajes y conocimientos clave se revisan activamente e incorporan en un plan operacional de gestión de la mina para mejorar los objetivos y resolver los desafíos.

El enfoque es aplicable a los entornos de gestión del agua debido a la considerable incertidumbre que surge de las variaciones técnicas, el desarrollo minero y las variaciones logísticas que pueden ocurrir a lo largo del ciclo de vida de la mina.

Este enfoque también puede introducir capacidad operativa y flexibilidad para adaptarse a los cambios en los planes de la mina o los requisitos reglamentarios. Se pueden introducir una mayor flexibilidad operacional y mejores sistemas de agua a lo largo del tiempo mediante la planificación de una variedad de escenarios e incorporación de datos de monitoreo y aprendizajes clave en planes y actividades operacionales. La gestión adaptativa requiere una posición inicial con información suficiente para tomar una decisión sólida, en ocasiones basada en datos limitados, al tiempo que se establecen objetivos de mejora a mediano y largo plazo. En ausencia de información suficiente, se puede considerar un enfoque preventivo de gestión del agua cuando los diseños iniciales o los modelos operativos sugieran un enfoque conservador. Por ejemplo, la información inicial de drenaje de la mina puede ser insuficiente para determinar las tasas de bombeo a mediano plazo; por lo tanto, las primeras etapas del equilibrio hídrico integrado del sitio pueden necesitar considerar una amplia gama de volúmenes y cualidades potenciales del agua.

Como resultado, acomodar esa variación puede requerir un suministro de agua de mina y un plan de gestión del agua excedente. De manera similar, cuando se evalúan los impactos ambientales, los datos de series temporales tempranas pueden ser inadecuados para predecir tendencias y cambios a largo plazo, por lo que puede ser necesario introducir umbrales de precaución y factores desencadenantes para gestionar la incertidumbre del impacto.

El manejo adaptativo puede ser particularmente poderoso cuando se combina con la gestión de riesgos. La desventaja es que puede ocurrir sobreinversión debido a la magnitud de la incertidumbre, y las normas de diseño y los gastos de capital pueden necesitar ser más altos que los requeridos.

4.2.3. Objetivos, estrategias y planes operativos

A continuación, se describen las actividades de gestión del agua que necesitan ser llevadas a cabo durante las diferentes etapas de la minería.

Etapas de exploración

- Capturar y registrar los datos para una línea de base del agua.
- Realizar las acciones para aprovisionar agua para el campamento de exploraciones y las necesidades operativas de las perforaciones.
- Establecer los posibles sitios de captación y acondicionarlos.
- Comenzar con un estudio preliminar de riesgos.

Etapas de desarrollo y expansión (estudio de factibilidad y construcción del proyecto)

- Establecer una línea de base para ser usada como referencia en todo el LOM.
- Completar todas las evaluaciones y mediciones técnicas.
- Incluir en el EIA un balance predictivo de agua.
- Realizar un análisis de las diferentes fuentes de suministro de agua.
- Obtener todas las aprobaciones regulatorias y permisos de explotación de pozos, etcétera.
- Diseñar y construir las instalaciones de captura de agua.

Etapas de operaciones mineras y producción

- Operar diariamente con el proceso de suministro de agua y balance aprobados.
- Operar según las prácticas de tratamiento del agua, tanto para el consumo humano del campamento como para la utilización en la planta y todos los vertidos a cuencas.
- Operar registrando todos los datos en forma diaria.
- Operar registrando específicamente los datos del drenaje de mina.
- Operar las desviaciones de flujos del agua.
- Registrar los datos de sedimentaciones retenidas, si las hubiere.
- Operar mediante controles y supresión de polvo en mina y en la planta de procesos.
- Operar descargando el exceso de agua industrial y registrando la calidad del agua y el tratamiento realizado.
- Realizar el monitoreo continuo de la gestión del agua, del balance de agua industrial y del balance hídrico de la cuenca.
- Realizar auditorías internas y externa en forma anual (como mínimo).

Etapas de cierre

- Establecer un monitoreo permanente y determinar el rendimiento, detectando desvíos.
- Controlar y comprender el impacto del manejo del agua en el ambiente de la cuenca.
- Llevar a cabo el control de la erosión y el mantenimiento de los drenajes.
- Obtener la aceptación regular de los controles regulatorios e informar a nivel corporativo.
- Realizar un gerenciamiento adaptativo y de control de riesgos hasta la entrega del legado y uso definitivo posterior de la tierra.

Los principales componentes de la planificación y los procesos necesarios para dirigir la gestión del agua, distribuidos por nivel de actividad, son los que se muestran a continuación:

Estrategia de la gestión del agua y objetivos

- Establecer una estrategia de largo plazo para la administración del agua e incluir en ella todos los elementos que permitan cumplir con una gobernanza adecuada y con todas las regulaciones locales necesarias.

Plan de largo a mediano plazo

- Detallar todos los planes, aspectos organizativos y directivas operacionales alineados con la estrategia adoptada.

Plan de aguas operacional

- Formular y operar con el plan de aguas basado fundamentalmente en las líneas de base hidrológicas obtenidas.
- Incluir en el plan el balance predictivo de agua y sus correcciones durante el LOM.
- Incluir en el plan todas las regulaciones y licencias necesarias y actualizarlas durante el LOM.

- Especificar en el plan todas las iniciativas y mejores prácticas consideradas, los límites en estas y todos los disparadores implicados al ponerlas en operación.

Procedimientos operativos

- Detallar todas las actividades de trabajo en mina y en planta.
- Detallar las medidas de contingencia para adoptar en caso de quedar fuera del balance incluido en el plan de aguas.
- Detallar las actividades de monitoreo y análisis.
- Indicar cómo se capturan, analizan y guardan los registros de datos operacionales del agua.
- Detallar actividades de administración.
- Detallar cómo se realizan los reportes y sus frecuencias.
- Detallar el calendario anual de actividades.

4.3. Estrategia para el manejo del agua

Una **estrategia para el manejo del agua** establece objetivos de administración direccionales y globales, resume los principales riesgos hídricos, las oportunidades y amplios vínculos organizacionales, y describe la planificación fundamental, la entrega de proyectos y el marco operacional para asegurar que la gestión del agua se considere en todas las fases de la planificación minera.

La estrategia debe actualizarse o revisarse anualmente o con mayor frecuencia si la necesidad del negocio lo exige. Una estrategia global es efectiva para las empresas con operaciones múltiples que buscan beneficios de producción, los cuales se pueden lograr a través de un enfoque uniforme y estándar para la gestión del recurso hídrico.

Una estrategia para el manejo del agua normalmente aborda los aspectos relacionados con los objetivos, la visión y los valores de producción de una empresa; con la regulación y la política estatal y nacional, y con las pautas de mejores prácticas. Las operaciones más pequeñas pueden beneficiarse de la preparación de una estrategia, pero pueden optar por elaborar documentos más amplios que aborden el horizonte de planificación adecuado, como el plan de la mina o los planes ambientales.

4.3.1. Planes de gestión del agua a mediano y largo plazo

Como mínimo, un plan operacional de manejo del agua es fundamental para la gestión de este recurso. El tamaño y la complejidad del plan dependen de la naturaleza de la operación, la hidrología y la sensibilidad ambiental y de la comunidad aledaña. Es un resumen del uso, el almacenamiento y la distribución del agua e identifica todos los problemas, riesgos y controles asociados con el desarrollo, la operación y el desmantelamiento de un proyecto. El plan está guiado por la estrategia o por un plan de manejo del agua a mediano plazo, o bien un plan de la mina, y especifica cómo administrar y controlar los impactos adversos potenciales en los recursos hídricos locales y regionales.

Las principales actividades por cubrir en cada etapa del ciclo de vida se resumieron antes.

Aunque un plan de manejo del agua operacional se considera esencial en la mayoría de los casos, se pueden necesitar **múltiples planes secuenciales de manejo del agua** para asegurar que las actividades efectivamente se alinean con las diversas fases de planificación

minera. En particular, un plan a largo plazo esbozaría las actividades relacionadas con el recurso hídrico, los preparativos y las inversiones requeridas para apoyar la entrega de un plan de mina y un suministro continuo de agua.

Por ejemplo, un calendario y un diseño de mina pueden verse limitados por requerimientos de extracción de mineral y de estéril, y un plan a largo plazo documentaría el caso para los aspectos de gestión del agua del sitio, e informaría la gestión del agua operacional. En este escenario, el plan operativo de gestión del agua se alinearía con los horizontes de planificación de la mina y los plazos del proyecto para minimizar los riesgos del agua y cumplir los objetivos de producción, al tiempo que se logran los objetivos ambientales.

El plan operacional de gestión del agua *integra la cantidad y la calidad del agua* y, por lo general:

- proporciona una ubicación para consolidar el entorno hidrológico conceptual y una descripción general de la función del sistema de infraestructura hídrica;
- detalla las medidas de gestión del agua que están vigentes y dice quién es responsable de implementarlas;
- registra los objetivos específicos del agua del sitio con respecto a los cuales se puede evaluar el rendimiento;
- registra cualquier requisito para los informes interno y externo del rendimiento del agua y asegura que los documentos periódicos se asienten en los procedimientos y en los enlaces a los manuales operativos. Estos deben ser *de uso frecuente y accesible para todo el personal a través de la intranet* de la compañía, con derechos de edición limitados para mantener el control de la versión.

El plan operacional de gestión del agua *no es un documento estático*, ya que las operaciones tienen que lidiar con frecuencia con cambios y mejoras. Debe actualizarse y revisarse regularmente como requisito reglamentario si los escenarios de desarrollo de la mina cambian o se modifican. Aunque con una buena planificación esos cambios no deben ocurrir semanalmente, es probable que resulten en la necesidad de modificar el plan operacional trimestral o anualmente.

4.3.2. Procedimientos operativos

Los procedimientos operativos proporcionan listas de verificación de los requisitos básicos y las instrucciones para las actividades laborales relacionadas con el agua, que normalmente requieren una ejecución diaria o trimestral, como un programa mensual de control de la calidad del agua para una instalación de monitoreo del agua subterránea.

Estos procedimientos describen los objetivos operativos requeridos y las actividades de observación y recopilación de datos, y también pueden definir responsabilidades, objetivos de entrega de agua y gestión de registros. Los procedimientos suelen ser documentos internos y, por lo general, son parte del sistema de gestión ambiental.

Es esencial que los sistemas de gestión se pongan en marcha para garantizar que se actúe sobre los procedimientos; de lo contrario, es posible que no funcionen según lo previsto.

Los procedimientos operativos también se pueden usar para definir los supuestos en los que se basa la cuenta de agua del sitio y, en consecuencia, sobre qué decisiones de gestión se toman. Los procedimientos también pueden describir actividades relacionadas, como procesos de planificación de horizontes o listas de verificación y plataformas de gobernanza y auditoría para la difusión de información y aprendizaje.

Una parte importante de los procedimientos operativos es caracterizar y definir los diferentes tipos de agua que pueden tener que administrarse en el sitio. Esto proporciona la base para una contabilización clara del recurso y garantiza que la producción de la cuenta de agua del sitio se interprete de forma coherente.

Las **cuentas de agua** son el registro real de los resultados operacionales, que se pueden revisar y comparar con los balances predictivos de agua. Esencialmente, el agua tiene dos estados: “sin procesar” (sin transferir previamente a una tarea) y “procesada” (pasó por una tarea al menos una vez).

Dada la importancia de comunicarse con las comunidades y los reguladores sobre el uso de agua dulce, las operaciones deben tener una *definición de los atributos de calidad que constituyen el agua dulce y un registro de sus fuentes*.

Los procedimientos deben mantenerse actualizados y relevantes a través de revisiones periódicas.

II. INTERACCIÓN ENTRE EL SISTEMA OPERATIVO DE AGUA MINA Y LA CAPTACIÓN

Ideas clave

- El primer paso en el desarrollo de un sistema operacional de agua de mina de práctica líder implica comprender los recursos hídricos de la cuenca y la región más amplia, así como las interacciones entre los recursos hídricos y la operación minera.
- Esa comprensión generalmente se adquiere durante las fases de evaluación y desarrollo de la mina (exploración, prefactibilidad y estudios de viabilidad, construcción), pero es un proceso en permanente cambio, en el que el compendio de más información conduce a una mejora en su entendimiento.
- La comprensión de los sistemas de agua superficial en la cuenca, los recursos de agua subterránea y los requisitos de suministro de agua para las operaciones y el cierre es de vital importancia en esta primera etapa.
- Para garantizar el control de la práctica líder de los riesgos del agua, los sitios deben llevar a cabo una planificación integral y estudios técnicos e invertir en infraestructura.
- Los sitios necesitan comprender el impacto de las formas de relieve posteriores al cierre sobre los recursos hídricos y la calidad del agua.

El agua es un **recurso crítico** en muchos procesos del sitio de la mina y puede ser difícil de asegurar en entornos con escasez de agua. También puede ser un inconveniente cuando las interacciones de la mina con los cuerpos de agua plantean desafíos para la extracción y la producción o generan impactos en los ecosistemas circundantes.

Los impactos climáticos y los cambios asociados a las regulaciones aumentan significativamente el tiempo dedicado a problemas relacionados con el agua. Las cargas de trabajo de los equipos de producción e ingeniería pueden aumentar debido a los requisitos para realizar el drenaje de los *pits*, transportar el agua desde los *pits* al almacenamiento, etcétera.

Existen razones económicas claras para enriquecer el enfoque de la gestión del agua para un mejor control de dichos riesgos. Las actividades varían según la etapa del ciclo de vida de

una mina. En términos generales, es necesario comprender los riesgos de la escala de captación en las fases de exploración y planificación, es decir, antes de construir la operación. Las medidas de mitigación para riesgos operacionales deben instalarse mientras la operación se construye o se extiende en las fases de desarrollo y expansión. Posteriormente, algunos componentes se pueden optimizar durante la fase operativa. Finalmente, el cierre de mina debe considerar el legado de los riesgos relacionados con el agua.

El primer paso en el desarrollo de un sistema operacional de agua para minas requiere comprender los recursos hídricos de la cuenca, la región amplia y las interacciones entre los recursos hídricos y la operación. Este trabajo se completa generalmente durante las fases de evaluación y desarrollo de una mina (exploración, prefactibilidad y estudios de factibilidad, construcción), pero es un proceso en evolución permanente y en el que el compendio de más y más información conduce a una mejora en la comprensión y en los resultados.

4.4. Agua superficial

Entender los sistemas de agua superficial en la cuenca es de importancia crítica para las operaciones de la mina. Estas necesitan recopilar suficientes datos de referencia para predecir y monitorear los impactos en los sistemas de agua. Los sitios también necesitan comprender el impacto posterior al cierre de los accidentes geográficos sobre los recursos hídricos y la calidad del agua.

Las preguntas que guiarán la comprensión del contexto del agua superficial son:

- ☒ ¿Existen desafíos específicos asociados con las características hidrológicas de la cuenca, como la variabilidad extrema del caudal o las formas del terreno posteriores al cierre?
- ☒ ¿Cuál es la calidad del agua superficial?
- ☒ ¿Cuál es el marco que regula las interacciones con las aguas superficiales?
- ☒ ¿Qué comunidades ecológicas y sociales actúan en la cuenca?
- ☒ ¿Cuáles son las áreas sensibles de toda la cuenca?

Las consecuencias de no entender el contexto de las aguas superficiales pueden ser:

- **Financieras.** La falta de obtención de permisos y condiciones adecuadas puede retrasar un proyecto; no comprender ni mitigar los riesgos de inundación puede tener un impacto catastrófico en la infraestructura y la producción; no comprender ni mitigar los riesgos de sequía puede reducir la producción.
- **Ambientales.** Impactos inaceptables en comunidades ecológicas importantes u otros usuarios.
- **Legales y reputacionales.** Impactos inaceptables en otros usuarios.

Para garantizar el control de la práctica líder de dichos riesgos, los sitios necesitan realizar estudios técnicos y de planificación integral e invertir en infraestructura.

Los temas técnicos que deben ser explorados para obtener un nivel apropiado de comprensión de los riesgos a escala de la operación se analizan a continuación.

Recolección de datos. Coteje los datos de las redes de monitoreo existentes para obtener:

- Información geográfica, incluyendo modelos digitales topográficos, vegetales y de suelos.
- Datos de lluvia y clima, en general, de la Oficina de Meteorología local y de la base de datos del área.
- Información de estaciones meteorológicas cercanas y empresas privadas.

- Datos de flujo de agencias estatales u otras fuentes gubernamentales.
- Información sobre la licencia de uso del agua y los volúmenes de derechos de otros usuarios en la cuenca, a través del regulador de agua, si existiere.
- Cualquier información ambiental relevante en el dominio público.

Equipos de monitoreo. La revisión de los datos puede revelar faltantes importantes que solo pueden completarse instalando equipos de monitoreo en el área de interés:

- **Estaciones meteorológicas.** Si la estación meteorológica es necesaria para modelar la calidad del aire o cumplir las condiciones de una licencia o concesión minera, pueden tener requisitos específicos de ubicación y medición.
- **Estaciones de medición.** Vertederos en V, canales y control natural (en algunos casos, mantener el paso de los peces puede ser una restricción de diseño).
- **Línea de base: monitoreo de la calidad del agua.** Comprender la variación en la calidad del agua requiere un extenso registro de muestras de agua.

Evaluación de la línea de base completa. Completar las evaluaciones de referencia requiere un trabajo adicional en hidrología de aguas superficiales, desvíos de cursos de agua, drenaje y calidad del agua.

Hidrología del agua superficial. Se necesita un estudio hidrológico para comprender el rango de flujos. Este trabajo tiene tres aspectos que son áreas técnicas distintas:

- Evaluación de la magnitud potencial y los impactos de las lluvias e inundaciones extremas.
- Evaluación de la disponibilidad de agua.
- Evaluación de los impactos potenciales del drenaje y la descarga de agua excedente.

La hidrología se basa en la evaluación de la extensión de la lluvia con una probabilidad dada de ocurrencia. Utiliza el concepto de “**probabilidad de superación anual**” (**ARI**, de sus siglas en inglés por *Average Recurrence Interval*), que representa la probabilidad de que ocurra un evento de cierta magnitud dentro de un determinado marco de tiempo. Por ejemplo, un evento de 1: 100 ARI tiene una probabilidad de 0.01 de ocurrir en un año. El ARI es una construcción estadística y se calcula según los métodos específicos descritos en los manuales hidrológicos.

Su interpretación en el dominio público puede ser engañosa, ya que se pueden hacer muchas referencias al “hecho” de que un evento 1: 100 ARI “solo” puede ocurrir una vez cada 100 años. Ese no es el caso. *Que un evento tenga una baja probabilidad de ocurrencia no significa que no puede ocurrir.* Es fundamental que los equipos de ingeniería y ambientales expliquen claramente lo que representa el ARI para que todos los involucrados entiendan claramente los niveles de riesgo.

Los totales de lluvia para varios ARI se calculan utilizando métodos que extrapolan datos históricos en dominios menos probables. Para un ARI con probabilidad razonablemente alta (típicamente hasta 0.01), se utilizan curvas de intensidad de frecuencia de duración.

Para probabilidades más bajas ($ARI < 0.01$), se usan métodos probables de máxima precipitación, debido a las grandes variaciones en la distribución de la lluvia y la dificultad establecer con confianza que un evento puede o no ocurrir durante la vida de una mina.

Las **estrategias de mitigación** están diseñadas para brindar protección contra un ARI determinado. Típicamente, las consecuencias de los eventos con un rango de ARI se analizan y se les asigna un costo, y las estrategias de mitigación para evitar las consecuencias de cada evento también se diseñan y se costean. El nivel de riesgo seleccionado contra el que

se protegerá la mina se basa en un análisis minucioso de costo-beneficio de cada escenario. Cuanto más bajo sea el ARI seleccionado, mayor será el costo.

Es esencial comprender este concepto. En muchos casos, *no habrá regulación que imponga la tolerancia al riesgo*, y esta debe ser seleccionada por el equipo del proyecto después de un análisis exhaustivo de costo-beneficio y compromiso con diversos interesados para garantizar que se tienen en cuenta todos los aspectos del riesgo (de seguridad, ambiente, producción, comunidad y reputación, así como los requisitos reglamentarios).

Hay que considerar siempre que *no todas las partes de una mina deben diseñarse para la misma tolerancia al riesgo*. Una instalación de almacenamiento de agua de mina que presente un alto riesgo de exportar agua contaminada al ambiente se diseñará con un ARI más bajo que la infraestructura de drenaje estándar. El resultado clave es la determinación sobre si la infraestructura corre el riesgo de quedar inundada. Como se discutió antes, la tolerancia al riesgo depende del tipo de infraestructura: las tolerancias serán diferentes para un camino de acarreo que para un campamento minero.

Si las inundaciones requieren control, las entregas también deben incluir un plan de mitigación que probablemente incluya infraestructura para redirigir las aguas de inundación. Es poco probable que las estructuras de control de inundaciones estén reguladas. Y es una buena práctica la de considerar el ARI de cada área de la mina en la etapa de diseño y reflejarla específicamente en el Estudio de Factibilidad y en el Estudio de Impacto Ambiental.

Se dispone de una gama de herramientas para evaluar la disponibilidad diaria de agua, incluidos los modelos de agua superficial, como el modelo de balance hídrico, pero, como ocurre con las inundaciones, es probable que este aspecto requiera la intervención de especialistas.

Los resultados clave son *los flujos diarios previstos y sus probabilidades*.

Durante estas evaluaciones, también se debe considerar el **potencial de erosión** de los accidentes geográficos naturales y de los construidos.

Desviación de los cursos de agua. Los depósitos de recursos minerales a menudo se extienden debajo de arroyos y ríos. La viabilidad de un proyecto puede depender de la viabilidad de desviar un curso de agua para permitir el acceso a un depósito de recursos.

El desvío de un curso de agua puede ser factible donde sea económicamente viable (basado en el costo total durante la vida del desvío) y donde los impactos se puedan mitigar y gestionar de manera adecuada.

Los cursos de agua son componentes clave de los paisajes, y las comunidades los valoran por su suministro de agua, sus valores recreativos y ambientales, y por razones estéticas y culturales. Las propuestas para desviarlos pueden generar preocupación en la comunidad y requerir aprobación regulatoria.

Drenajes de minas a cielo abierto y galerías subterráneas. Las minas a cielo abierto pueden afectar el drenaje regional, y sus impactos pueden dar lugar a requisitos para desviar los cursos de agua y proteger la infraestructura de las inundaciones.

Otro posible impacto del drenaje se relaciona con la subsidencia creada por la minería subterránea. La extensión de los impactos depende del tamaño de los *pits* y de las galerías y su profundidad. En particular, en las minas subterráneas de paredes largas, los estratos del techo sobre la veta pueden colapsar progresiva y controladamente para llenar el vacío creado por la explotación minera. Esto da como resultado el desarrollo progresivo de depresiones

superficiales. Este hundimiento de la superficie puede afectar al drenaje, los cursos de agua locales y la extensión de las llanuras de inundación.

Las posibles inundaciones y los impactos geomorfológicos en los cursos de agua y las del drenaje deben evaluarse a través de estudios técnicos detallados. Deben incluir el potencial de:

- Aumentar la frecuencia y duración de las inundaciones del proyecto y las áreas circundantes.
- Aumentar los estanques.
- Crear canales cambiando la dirección de los flujos de inundación.
- Aumentar la erosión y la sedimentación en los cursos de agua afectados.
- Reducir el flujo aguas abajo a través de acumulación en estanques, en los canales.

La evaluación de los efectos del hundimiento en aguas superficiales (y subterráneas) requiere habilidades y técnicas especializadas.

Calidad del agua. Los datos sobre la calidad del agua deben compilarse para comprender los riesgos potenciales de la salud de las corrientes y la calidad del agua subterránea y para monitorear la efectividad de las medidas de mitigación. La comprensión de los riesgos asociados con los datos de geoquímica debe informar los criterios de diseño y las medidas de gestión y, por lo tanto, el riesgo para el entorno receptor. Se necesita una evaluación geoquímica del entorno receptor para definir los elementos que están allí presentes de forma natural.

Con frecuencia es necesario desarrollar un método para determinar si las aguas utilizadas por las minas tienen el potencial de afectar la salud acuática. La geoquímica de residuos de minas y los productos químicos utilizados en el procesamiento de minerales indican qué elementos o sustancias podrían estar presentes en la escurrentía.

El análisis de todos los datos geoquímicos determina si la exportación de agua de la mina al entorno receptor podría presentar riesgos si no se gestiona. En conjunción con el balance hídrico que determina si es necesario liberar agua, ya sea rutinariamente o como resultado de inundaciones.

El riesgo de la “salud” de la corriente depende del flujo y la calidad del agua liberada y del flujo y la calidad del ambiente receptor. Es un punto que considerar durante la etapa de diseño.

Un principio clave para la práctica líder en la gestión de riesgos es *comprender los impactos a largo plazo sobre la calidad y el caudal del agua* e ir más allá de identificar los principales contaminantes para comprender los posibles procesos de impacto y las fases o componentes sensibles en los ecosistemas receptores. Sin una comprensión de los procesos físicos, geoquímicos y biológicos que pueden conducir a la toxicidad en los receptores clave, es posible que no se logre la práctica líder. Para las aguas afectadas por las minas con una variedad de contaminantes puede ser difícil predecir la toxicidad para los ecosistemas receptores. No se comprende bien cómo las mezclas de contaminantes interactúan y afectan la toxicidad. La medición de las concentraciones de sustancias individuales es ineficaz. Las políticas adoptadas en general utilizan el concepto de evaluación de toxicidad directa, que se puede utilizar para evaluar la toxicidad del agua afectada por las minas en una variedad de organismos. Por esta razón, se puede diseñar una estrategia para evitar impactos en los ecosistemas receptores, lo que permite la gestión proactiva de las velocidades de liberación y de los tiempos. Además, puede ser mucho más práctico utilizar la evaluación de toxicidad directa como una herramienta de predicción para gestionar las descargas en aguas temporales que intentar

controlar el impacto de una liberación después del evento, cuando la remediación puede ser difícil de lograr.

Las emisiones de agua afectada por las minas en los sistemas superficiales y subterráneos a menudo contienen partículas disueltas, suspendidas en el lecho y materiales transportados en la superficie. Esos materiales podrían ser tóxicos o crear efectos ambientales físicos, como abrasión, asfixia, o alterar las estructuras del hábitat. El cambio de entornos geoquímicos y ambientes físicos (por ejemplo, al exponer las aguas subterráneas a la atmósfera o en los humedales) puede provocar reacciones que empeoren o mejoren las condiciones ambientales del agua o del entorno receptor.

4.5. Agua subterránea

En la mayoría de los casos, la minería implica interacciones con las aguas subterráneas, que deben evaluarse y gestionarse para evitar impactos en las operaciones y el ambiente circundante, otros usuarios y el recurso hídrico.

La **evaluación y gestión de las aguas subterráneas** puede ser difícil debido a las incertidumbres técnicas y los desafíos en la caracterización de los controles hidrogeológicos y los mecanismos de los flujos.

Las preguntas que pueden guiar los desarrollos mineros son:

- ☑ ¿Cuáles son las características del acuífero (incluidos la profundidad del agua, parámetros hidráulicos, dirección del flujo, distribución, ubicaciones de las recargas, ubicaciones de descarga y mecanismos de flujo) que deben entenderse para evaluar el riesgo sobre el agua?
- ☑ ¿Cuáles son los requisitos y objetivos de gestión del agua subterránea?
- ☑ ¿Cuál es la calidad del agua subterránea y su variabilidad vertical y lateralmente?
- ☑ ¿Cuál es el impacto de la minería en la calidad del agua subterránea?
- ☑ ¿Existen características geológicas estructurales y deposicionales que puedan facilitar la migración de contaminantes fuera del sitio?
- ☑ ¿Existen conexiones entre las aguas superficiales y subterráneas (como los manantiales, los arroyos alimentados por manantiales o los arroyos alimentados por los flujos de base)?
- ☑ ¿Pueden los acuíferos producir volúmenes suficientes de agua subterránea para la operación?
- ☑ ¿Cuál es el marco regulatorio que controla la interferencia y la concesión de licencias para las aguas subterráneas?
- ☑ ¿Otros dependen del agua subterránea para su sustento?
- ☑ ¿Cuál es el valor comercial de un suministro de agua seguro para los propietarios de tierras privados y públicos?
- ☑ ¿Qué comunidades ecológicas y sociales respaldan el agua subterránea?
- ☑ ¿Existen ecosistemas dependientes del agua subterránea y sitios de importancia cultural?
- ☑ ¿Qué información se necesita para determinar el rendimiento sostenible y el nivel máximo o la tasa de cambio de las aguas subterráneas que será necesario establecer y mantener para proteger los valores sociales, ambientales y económicos?
- ☑ ¿Cuáles son los posibles efectos acumulativos?
- ☑ ¿Cuáles son los impactos a largo plazo de la contaminación del agua subterránea y cuándo podrían ocurrir?

- ☑ ¿Existen desafíos específicos en la obtención de información que caracterizará los acuíferos y los flujos de agua subterránea?
- ☑ ¿Cuánto conocimiento hidrogeológico se necesita para gestionar el rango de efectos e impactos?

Las consecuencias de no entender suficientemente bien el contexto del agua subterránea pueden ser:

- **Financieras.** La falla en obtener permisos y condiciones apropiados puede demorar un proyecto; el hecho de no entender y gestionar los requisitos de deshidratación de las aguas subterráneas o la falta de mantenimiento de la estabilidad de la pendiente del tajo puede provocar demoras costosas o impactos catastróficos en la infraestructura y la producción; la falta de comprensión y mitigación de la reducción de los acuíferos vecinos puede afectar la capacidad de la mina para seguir operando.
- **Ambientales.** Impactos inaceptables en comunidades ecológicas importantes, como los ecosistemas dependientes del agua subterránea y la estigofauna.
- **Legales y reputacionales.** Impactos inaceptables en otros usuarios; problemas de reputación y obstrucciones a la operación.

Los principales riesgos de no comprender los sistemas de aguas subterráneas son:

- Incertidumbre sobre el volumen de las aguas subterráneas en el funcionamiento de la mina.
- Estabilidad geotécnica incierta del funcionamiento de la mina.
- Incertidumbre sobre los controles de la calidad del agua subterránea asociados a labores dentro de la mina y flujos de residuos, particularmente los relaves.
- Degradación a ecosistemas dependientes del agua subterránea por el cambio en el flujo.
- Incertidumbre sobre la capacidad de respuesta del acuífero al bombeo, con implicaciones para el capital y gastos operativos.
- La posibilidad de diseñar un proyecto que no puede ser permitido o aprobado.
- Impactos inaceptables en el suministro de agua de las propiedades vecinas.
- Riesgo comercial inaceptable causado por la baja seguridad del suministro de agua.

Los principales controles de práctica de estos riesgos son:

- La planificación anticipada.
- Los estudios técnicos (como los estudios de variación temporal, entre otros).
- La infraestructura.

Es fundamental que se forme un **equipo multidisciplinario** (incluidos ingenieros industriales, ingenieros de minas, geólogos, ingenieros geotécnicos, ecólogos, geoquímicos y especialistas en aguas subterráneas y aguas superficiales) para identificar y acordar los riesgos relacionados con las aguas subterráneas y proporcionar información temprana para asegurar la minimización de riesgo de aprobaciones y mejor gestión de las expectativas de las partes interesadas.

Hacer frente a problemas tales como el riesgo de falla en la pendiente, incluidas las consecuencias de seguridad para el personal y los mayores costos para los accionistas, requiere habilidades técnicas especializadas. Si es necesaria la descarga de aguas subterráneas del sitio, se necesitará la aprobación del organismo regulador, por lo que se deben realizar ajustes para estudios de campo, análisis e informes. El compromiso de un equipo multidisciplinario temprano en el ciclo de vida de la mina resultará en el diseño de los planes apropiados, lo que ofrece un importante ahorro de costos.

Los sistemas de agua subterránea son complejos, y con frecuencia se necesitan investigaciones específicas con monitoreo continuo y exhaustivo para comprender adecuadamente los procesos que le dan forma y su conectividad con otros recursos hídricos y el ambiente. La gestión del agua subterránea requiere la recopilación y revisión de datos y una mejora continua de la conceptualización hidrogeológica para apoyar la mejora de los sistemas de gestión del agua.

Los temas técnicos que deben ser explorados como parte de esta fase y las actividades asociadas se desarrollan a continuación.

Recopilación de información pública disponible. El acceso a la información y los datos es esencial para entender los sistemas de aguas subterráneas, y crítico para su gestión y uso eficaz. Resulta, además, particularmente importante el acceso rápido a datos temporales y espaciales para monitorear las tendencias en las condiciones del agua subterránea y para evaluar la efectividad de los planes, estrategias y acciones de manejo.

Instalación de pozos de monitoreo. En muchos casos, no habrá datos suficientes disponibles para evaluar las condiciones hidrológicas y desarrollar planes y objetivos prácticos de gestión. Deberán recopilarse datos adicionales para los programas de evaluación, que requerirán:

- Perforación para identificar acuíferos y acuitardos (formación geológica semipermeable) y sus propiedades físicas y químicas.
- Instalación de pozos de monitoreo de aguas subterráneas.
- Recopilación de datos de referencia, incluyendo nivel de agua subterránea (presión), datos de calidad del agua y un rango de condiciones estacionales.

Evaluación básica completa. Completar una evaluación de referencia:

- Determinar las características geológicas y establecer el dominio hidrogeológico, los acuíferos y sus propiedades.
- Determinar la profundidad del agua, la presión del agua, las direcciones del flujo, las tasas de recarga y la influencia de las precipitaciones, y caracterizar la calidad del agua.
- Desarrollar un modelo hidrogeológico conceptual del agua subterránea a escala local y de cuenca que considere la recarga y la descarga, las interacciones entre las unidades del acuífero y las interacciones con el agua superficial, los ecosistemas dependientes del agua subterránea y otros usuarios del recurso.
- Desarrollar modelos analíticos o numéricos de agua subterránea, que prueben el modelo conceptual.
- Refinar los programas de monitoreo en función de los resultados de la modelización conceptual y analítica o numérica.
- Comprender las interacciones entre la mina y el agua subterránea (agotamiento de recursos hídricos significativos, drenaje).
- Si se requiere drenaje, desarrollar un plan para la infraestructura necesaria y la eliminación o almacenamiento de esa agua (posibilidad de reinyección aguas abajo).
- Comprender las posibles reacciones geoquímicas que pueden tener lugar como resultado del drenaje.
- Comprender las licencias de agua y el censo de los pozos. Un aspecto de esto es asegurar que aquellos que usan el recurso tengan clara la naturaleza legal de los derechos de agua. Los procesos mediante los cuales se habilita el acceso a las aguas subterráneas, el estado legal de ese acceso y las reglas y costos que se aplican a la extracción deben ser transparentes y responsables.
- Revisar la política de interferencia del acuífero si es relevante.

- Si se predice el agotamiento, desarrollar un plan de mitigación (por ejemplo, estableciendo acuerdos de operación controlada o reducida) que considere los requisitos de políticas y licencias.

En la mayoría de los casos, la evaluación de la línea de base del agua subterránea será realizada por especialistas técnicos como hidrogeólogos, hidroquímicos o hidrólogos. Es fundamental documentar los métodos para recopilar todos los datos, incluidos los relacionados con la cantidad y calidad del agua dentro de los sistemas del acuífero.

Predicción de cambios en las condiciones del agua subterránea. La magnitud de la respuesta de un sistema de agua subterránea a los cambios introducidos por la minería depende de una variedad de factores:

- La duración y el alcance de las operaciones subterráneas.
- Las propiedades hidrogeológicas de la cuenca.
- La conexión con las características del agua superficial con las subterráneas.
- Las formas de relieve y la geología.
- Operaciones sobre el fin del LOM y posteriores al cierre.

Hay varias opciones disponibles para predecir la tasa y la cantidad de cambios asociados con el estrés del agua subterránea. Se pueden aplicar modelos empíricos, analíticos y numéricos para proporcionar diversos grados de confiabilidad y precisión para un escenario modelado o un rango de posibles resultados.

Un buen modelo predictivo requiere una comprensión conceptual sólida de las condiciones del agua subterránea y el rango probable de variables y parámetros que podrían ocurrir. Las incertidumbres se relacionan con el conocimiento hidrogeológico y los cambios operacionales en el tiempo, que modifican los volúmenes y la tasa de cambio.

Un modelo de agua subterránea es cualquier método informático que representa una aproximación de un sistema de agua subterránea. Si bien los modelos son, por definición, simplificaciones de sistemas reales, han demostrado ser herramientas útiles para abordar una gama de problemas, como evaluar el impacto de un proyecto en acuíferos y la disponibilidad de agua subterránea, cuantificar la efectividad de estrategias de mitigación y seleccionar los lugares de monitoreo más apropiados.

Estos modelos son herramientas efectivas para apoyar la toma de decisiones. El **modelado numérico** ha avanzado significativamente en la última década, y los *modelos de elementos finitos* y *de diferencias finitas* son adecuados para simular y predecir resultados en la mayoría de los entornos hidrogeológicos y las fases acuosas. Sin embargo, el modelo de agua subterránea debe ser adecuado para el propósito, y el margen de error debe ser entendido al interpretar los resultados. Es poco probable que un modelo desarrollado para abordar un requisito u objetivo específico sea adecuado para una aplicación más amplia sin mejoras o adecuaciones.

El desarrollo de un modelo de agua subterránea requiere los siguientes pasos:

1. Definir los objetivos de modelado y usar los datos disponibles para establecer el nivel de confiabilidad que se logrará.
2. Conceptualizar el sistema hidrogeológico, lo que implica identificar y describir los procesos que controlan o influyen en el movimiento y almacenamiento del agua subterránea. Esto incluye un análisis de las interacciones aguas superficiales-aguas subterráneas.
3. Desarrollar el modelo, que traduzca la conceptualización en un entorno de modelado matemático y numérico.

4. Calibrar el modelo, un proceso iterativo para obtener los parámetros y las condiciones de contorno que producen resultados que coinciden con las observaciones históricas.
5. Probar la precisión de las predicciones del modelo en condiciones que representen los escenarios predictivos. En la práctica, esto es difícil de lograr antes de que una mina esté operativa y, a menudo, se sustituye por un proceso de validación una vez que hay suficiente información del sistema afectado o estresado.
6. Desarrollar escenarios predictivos diseñados para responder a las preguntas planteadas en los objetivos de modelado. Por ejemplo, si el objetivo es determinar la extracción máxima sostenible de un acuífero, el modelo puede utilizarse para derivar estimaciones de la disminución de la base hidrológica y la disponibilidad para los ecosistemas dependientes del agua subterránea, para diversos niveles de extracción y suposiciones futuras sobre el clima.
7. Si el objetivo es diseñar un esquema de desagüe de minas, el modelo se puede utilizar para optimizar la velocidad a la que se debe bombear el agua subterránea, los caudales y su ubicación.
8. Documentar las diferentes etapas del desarrollo del modelo, describiendo todos los datos recopilados y la información creada a través del proceso de modelado.

Es importante comprender las limitaciones del modelo, el error y las sensibilidades e incertidumbres antes de interpretar los resultados para entregar los objetivos y soluciones de gestión del agua subterránea, como para administrar y decidir el drenaje, el suministro de agua y la contaminación y descontaminación de la presa de relave.

Los modelos numéricos deberían *actualizarse y recalibrarse con frecuencia* y, en algunos casos, utilizarse para establecer requisitos de investigación adicionales.

4.6. Valores ambientales

Los valores ambientales de los sistemas de aguas superficiales y subterráneas deben compilarse. Los **valores ambientales** son las *cualidades de los sistemas que deben protegerse* de los efectos de la operación para garantizar que se mantengan los ecosistemas acuáticos y las vías navegables de importancia acordada, se minimicen los impactos en los servicios de los ecosistemas y las vías navegables.

Los valores ambientales reflejan los usos ecológicos, sociales y económicos (como la natación, la pesca o la agricultura) del recurso hídrico. Estos valores también son importantes para los ecosistemas dependientes del agua subterránea, y muchos sistemas de aguas superficiales están respaldados por aquellos. Los valores también reflejan si las actividades mineras se encuentran o no en cuencas perturbadas o no perturbadas. Los objetivos de calidad del agua deben compilarse si son relevantes para la ubicación. Son indicadores mensurables de las características necesarias para proteger los valores de vías fluviales particulares.

Se pueden definir para una gama de **parámetros físicos** (como turbidez, sedimentos suspendidos y temperatura), **parámetros químicos** (metales disueltos, fósforo, nitrógeno, demanda bioquímica de oxígeno, sustancias tóxicas) y **parámetros biológicos** (algas, diatomeas, macroinvertebrados, peces), así como otras medidas de las condiciones de captación (niveles de erosión, vegetación ribereña, morfología del canal).

Para los ecosistemas dependientes del agua, es probable un impacto significativo si el cambio predicho en la calidad del agua es mayor que en los sistemas "moderados a levemente alterados". Los indicadores de calidad del agua previstos deberían ser tales que permanezcan dentro del rango de los valores guía de protección del ecosistema.

Hay que tener en cuenta que pueden aplicarse otros umbrales, según los cuales los cambios en la calidad del agua pueden afectar otros asuntos de importancia ambiental nacional, como especies amenazadas o comunidades ecológicas.

4.7. Recursos hídricos y suministro

En casi todos los casos, la operación minera deberá importar agua de fuentes externas para equilibrar la diferencia entre sus requisitos, como el procesamiento o la supresión de polvo, con el agregado de que deberá, además, proporcionar agua de una calidad específica.

La disponibilidad de agua de lluvia acumulada, las escorrentías y la interceptación de aguas subterráneas generalmente son fuentes de captación. Por lo tanto, es dable esperar que existirán **variaciones estacionales y temporales** en muchas de las entradas y salidas del sistema de agua de mina.

Estas variaciones determinarán si existe la *posibilidad de escasez de agua, un excedente o ambos* en diferentes momentos. El almacenamiento de agua proporciona capacidad de almacenamiento en búfer para los momentos en que el suministro es mayor que la demanda, y viceversa.

Los requisitos de calidad del agua de la industria de los minerales son diferentes a los de los servicios públicos, la agricultura u otras industrias. La industria minera a menudo puede usar agua de menor calidad, lo que significa que *no necesariamente tiene que competir con otros usuarios* por las asignaciones de agua de calidad. También existe la posibilidad de importar agua de baja calidad de otras industrias o minas o áreas de la cuenca, lo que reduce costos, tensiones sociales por la competencia del agua de calidad y ayuda a la cuenca a reducir la presión sobre recursos escasos.

Las preguntas que guían el desarrollo de una estrategia de suministro de agua son:

- ☒ ¿Se han establecido y comprenden las entradas y salidas del sistema y las demandas de agua de la mina, en términos de volumen y calidad?
- ☒ ¿Cuál es el horizonte de demanda y dónde se encuentran las opciones más amplias de suministro de agua?
- ☒ ¿Hay alguna oportunidad de compartir o intercambiar agua con terceros?
- ☒ ¿Quiénes son los otros usuarios en la cuenca y dónde obtienen su agua?
- ☒ ¿Habrá competencia con otros usuarios o hay oportunidades para sinergias?
- ☒ ¿Cuál es el marco regulatorio para la planificación y asignación de recursos hídricos?
- ☒ ¿La región tiene un plan de recursos hídricos o su equivalente?
- ☒ ¿Cuál es el valor comercial del suministro seguro de agua para los propietarios privados?
- ☒ ¿Cuál es el marco regulatorio para la gestión del agua excedente?
- ☒ ¿Se permite el lanzamiento de agua afectada por las minas?
- ☒ De ser así, ¿bajo qué circunstancias?

Las consecuencias de no entender los recursos hídricos y el contexto de la oferta pueden ser:

- **Financieras.** El no entender los requerimientos de suministro puede conducir a una deficiencia de agua y detener la producción. No entender el exceso de agua potencial puede detener la producción y puede llevar a inversiones costosas en el suministro para compensar la diferencia.
- **Ambientales.** Impactos inaceptables en comunidades ecológicas importantes u otros usuarios del agua.
- **Legales y reputacionales.** Impactos inaceptables en otros usuarios. El exceso de agua puede conducir a descargas no conformes con las regulaciones.

Los riesgos de no desarrollar una estrategia de suministro de agua adecuada son los siguientes:

- Que no haya suficiente agua para cumplir con los requisitos.
- Si el agua es demasiada, que provoque impactos en la producción porque no se puede acceder al recurso (inundación de *pits* y rampas), incluso un impacto inaceptable en los ecosistemas por liberaciones no razonables del agua, lo que llevaría a la pérdida de la licencia regulatoria y social para operar.
- Que las licencias y los acuerdos requeridos no estén vigentes o no se puedan asegurar.
- Que la competencia con otros usuarios impida el acceso a un recurso hídrico.

Los principales controles de mejor práctica para estos riesgos son la inversión en el conocimiento temprano del cuerpo mineral, la planificación, los estudios técnicos, la infraestructura y la participación de los interesados.

Para comprender y cuantificar las entradas, salidas y demandas internas del sistema de agua de la mina se debe analizar el balance hídrico del sitio.

El nivel de detalle y la selección de herramientas apropiadas dependen de la complejidad del sistema y del objetivo fijado para la confiabilidad del suministro de agua (por ejemplo, la mina debe tener suficiente agua disponible para sus operaciones el 95% del tiempo). *La necesidad de un consumo adicional de nuevos recursos hídricos fuera del circuito de agua existente debe estar plenamente justificada.* Esto incluye un análisis de costos en la vida útil de la mina.

Recolección de datos. Los datos que se necesitan son:

- Interrelación entre aguas superficiales y subterráneas.
- El proceso de planificación de recursos hídricos para la región y la cuenca completa, incluyendo el plan de recursos hídricos, si está disponible.
- Todos los requisitos legales, permisos, licencias, procesos de asignación de agua y reglas en vigor para la región y la cuenca.
- Los requisitos de calidad del agua para cada demanda interna.
- Las consecuencias de no cumplir con los requisitos de calidad del agua.
- Información sobre los mercados del agua y comercialización del agua de la cuenca.

Modelo del balance hídrico. En todos los casos, será necesario desarrollar un modelo para representar el sistema de agua de la mina y calcular, en intervalos de tiempo dados, sus entradas, salidas, demandas internas y características de calidad del agua.

El diseño del modelo está dictado por la complejidad del sistema y el nivel de confiabilidad que se requiere. Es posible que, en algunos casos, una hoja de cálculo simple cumpla con los requisitos y el equipo del proyecto puede realizar el trabajo internamente, siendo cuencas simples y áreas y proyectos muy pequeños. Para problemas más complejos, se necesitan *software* y habilidades específicos, y se debe buscar ayuda de especialistas técnicos.

El modelo debe incluir todos los componentes principales del sistema de gestión del agua:

- Variabilidad climática, capturada como series de tiempo largas de lluvia y datos de evaporación.
- Escorrentía de captación y recolección.
- Entradas de desagüe de mina.
- Transferencias de bomba y gravedad.
- Información de diseño sobre pozos (área de superficie y volumen para el rango de niveles de agua, de vacío a lleno, a menudo denominado “curvas de almacenamiento de etapa”).
- Demandas internas de agua (supresión de polvo, lavado, procesamiento del mineral, etc.).
- Objetivos de las operaciones en el proyecto como la fiabilidad del suministro del sistema de agua para las demandas internas, la tolerancia de descarga de la cuenca si la hubiere y los objetivos de calidad del agua

El modelo se debe utilizar para evaluar el rendimiento del sistema mediante el análisis de algunos indicadores clave de rendimiento, que serán específicos del sitio, pero es probable que incluyan:

- La fiabilidad del suministro para satisfacer las demandas internas bajo varios escenarios climáticos y volúmenes de agua adicionales a importarse de fuentes externas.
- La frecuencia a la que se excede la capacidad de almacenamiento y el volumen de capacidad de almacenamiento adicional que se necesita para reducir esa frecuencia a un nivel aceptable.
- La frecuencia a la que la mina liberará agua de conformidad con sus obligaciones ambientales.
- El impacto de las posibles estrategias de gestión del agua en el rendimiento del sistema (por ejemplo, la utilización de un agente supresor de polvo podría reducir la demanda de agua para ese uso y aumentar la fiabilidad del suministro).

Análisis de resultados y desarrollo de estrategias. Los resultados de los diversos escenarios en el modelo de balance hídrico deben analizarse para seleccionar la estrategia de gestión del agua más adecuada. Un equipo multidisciplinario debería examinar los resultados y llegar a un consenso al comparar las ventajas y desventajas de cada opción de suministro de agua. El costo del suministro de agua debe incluirse para proporcionar un análisis completo de costo-beneficio. En un enfoque de mejor práctica, las consideraciones del costo del suministro de agua también tienen en cuenta los impactos económicos en otras partes, así como los impactos sociales y ambientales no financieros.

Además, cualquier responsabilidad asociada con los acuerdos posteriores al cierre para el suministro de agua a las comunidades debe calcularse en su totalidad, para garantizar que la empresa conozca el alcance total de esos compromisos.

4.8. Impactos acumulativos

Muchas operaciones mineras existen en áreas donde hay una concentración excepcional de actividades debido a los activos minerales, la proximidad a la infraestructura de transporte, la facilidad de exportación y la presencia de suficientes fuentes de energía para respaldar estas actividades.

Los **impactos acumulativos** surgen como resultado de las actividades de operaciones múltiples (mineras y no mineras) y pueden afectar la disponibilidad de la comunidad, el ambiente, la infraestructura y la vivienda.

Los impactos acumulativos de mayor frecuencia deben abordarse a través de la planificación y la acción colectiva, y esto puede representar un desafío significativo para las operaciones individuales.

Para las operaciones mineras en áreas donde hay una concentración de actividades, habrá impactos acumulativos en el agua; por ejemplo, en la forma de impactos en su calidad o en los niveles de agua subterránea.

La comprensión, evaluación y gestión de los impactos ambientales acumulativos se está convirtiendo en un área de mayor enfoque por parte de la industria y los gobiernos. Si bien el concepto de evaluación de impacto acumulativo no es nuevo, el diseño de dicha evaluación y los requisitos del proyecto asociado continúan evolucionando día a día.

Las consecuencias de un enfoque de gestión y evaluación de impacto acumulativo mal diseñado o inapropiado pueden ser importantes, incluyendo costos incrementados e innecesarios, retrasos en los proyectos, pérdida de confianza de la comunidad en la gestión del agua de la empresa, mayor incertidumbre del proyecto para los proponentes y, finalmente, rendimientos económicos y financieros subóptimos.

Las preguntas que guiarán la comprensión de los posibles impactos acumulativos son:

- ☒ ¿Se requiere una evaluación de los impactos acumulativos?
La evaluación de los impactos acumulativos solo debe llevarse a cabo cuando existe una probabilidad de que estos sean significativos en los activos ambientales, sociales o económicos –identificados y acordados– de más de una actividad.
- ☒ ¿Hay otros usuarios de agua en el área de interés?
La evaluación de estos impactos debe basarse en la probabilidad del efecto acumulativo de múltiples usuarios de agua para causar un impacto significativo en un activo identificado o receptor sensible.
- ☒ ¿Es posible colaborar con las distintas partes interesadas que se preocupan por los activos clave frente a un riesgo de impacto?
La evaluación requiere la participación continua *de todas las partes interesadas*, y puede necesitar un enfoque colaborativo para compartir datos, monitorear y, llegado el caso, acciones mitigantes.
- ☒ ¿Cuáles son las consecuencias de no comprender los posibles impactos acumulativos?
Las consecuencias de no comprender los posibles impactos acumulativos pueden ser:
 - **Financieras.** La no consideración de los impactos acumulativos en los recursos hídricos puede retrasar un proyecto.
 - **Ambientales.** Impactos inaceptables en comunidades ecológicas importantes u otros activos clave de la gestión del agua.
 - **Legales y reputacionales.** Impactos inaceptables en otros usuarios o impactos irreversibles en activos clave.

.....
Los principales controles de estos riesgos son la planificación,
los estudios técnicos y las estrategias de mitigación.
.....

El análisis de los impactos acumulativos del manejo del agua debe incluir:

- Límites espaciales y temporales.
- Interacciones entre aguas superficiales y aguas subterráneas.
- Un proceso robusto basado en el riesgo para determinar los activos o receptores sensibles que pueden verse significativamente afectados por la actividad propuesta.
- Acuerdo colectivo sobre activos ambientales, sociales y económicos de alto valor en riesgo de impactos acumulativos.
- La gama de actividades para monitorear y administrar, y acuerdos para el acceso a la información relacionada con todas las actividades.
- Pronóstico de los impactos de todas las actividades (la previsión de los impactos de las actividades de terceros puede ser difícil si se proporciona información insuficiente para la evaluación o para permitir suposiciones sólidas).

4.9. Cierre de mina

El plan de cierre de mina evoluciona y se revisa a lo largo de la vida de la operación. Con frecuencia habrá una serie de aspectos relacionados con el agua que deben considerarse de modo de garantizar que no exista un riesgo residual potencial para los valores ambientales y comunitarios.

Para la mayoría de las minas, asumiendo que los riesgos de contaminación relacionados con las instalaciones de almacenamiento de relaves, depósitos de roca estéril y áreas industriales se han abordado, el riesgo clave de cierre relacionado con el agua estará representado por la interacción entre los vacíos (*pits* mineros), las formas terrestres finales y todo cuerpo de agua circundante.

Una pregunta crítica por responder es *si el balance de agua final será positivo* (los vacíos se llenan con agua), en cuyo caso existe un riesgo para los valores ambientales circundantes, *o si será negativo* (los vacíos pierden agua), en cuyo caso no se puede cumplir el objetivo de mantener los vacíos como un lago.

Los objetivos principales de la rehabilitación de vacíos deberían ser:

- Hacer que los vacíos y las formas terrestres finales sean *seguros, estables y no contaminantes*, sin riesgos ambientales ni de seguridad ni de salud (un aspecto clave está relacionado con la exportación de agua contaminada al ambiente)
- Maximizar cualquier posible uso futuro del área, si fuera posible.
- Desarrollar una solución que sea sostenible y no requiera un manejo intensivo continuo, como un tratamiento continuo del agua (que puede ser difícil de lograr con un balance de agua positivo o agua subterránea de mina).
- Realizar un estudio de las interacciones de los vacíos finales con aguas superficiales y subterráneas.

Las preguntas que guían la comprensión de las posibles interacciones entre un vacío final y los recursos hídricos son:

- ☒ Los vacíos actualmente planificados ¿recogerán suficiente agua superficial o subterránea para mantener un cuerpo de agua permanente?
- ☒ De ser así, ¿existe algún riesgo de que las descargas de agua afectada por las minas contaminen las aguas superficiales o subterráneas?
- ☒ En ese caso, ¿cuál es el ARI de los derrames? ¿Cuál es la calidad del agua esperada a mediano y largo plazo? ¿Afectará el agua la estabilidad del vacío a largo plazo?

- ☑ ¿Los vacíos recogerán las aguas subterráneas de los acuíferos circundantes o las exportarán? ¿Cuál es el impacto esperado en los acuíferos o en otros usuarios?
- ☑ Si hay impactos y necesitan ser administrados por inversiones adicionales, ¿cómo se compara el costo de las soluciones modificadas con otras soluciones, tales como llenar totalmente los vacíos o aumentar el área de captación para mantener el nivel del agua y mejorar la calidad del agua?
- ☑ Los vacíos generalmente no se cumplen en su totalidad durante la vida de una mina debido al costo prohibitivo de las operaciones de movimiento de tierras, pero ¿hay otras opciones para lograr mejores resultados de cierre?
- ☑ ¿Existen otras soluciones de planificación, participación y rehabilitación que podrían proporcionar usos beneficiosos o facilitar la renuncia al arrendamiento al cierre? ¿Qué licencias y aprobaciones se requerirían?

Muchas operaciones mineras a cielo abierto eligen dejar que sus *pits* se llenen de agua de lluvia, o bien desvían una fuente de agua hacia el vacío para crear un nuevo lago. Crear un cuerpo de agua parece ser una solución práctica que puede proporcionar un uso beneficioso a las comunidades aledañas, pero plantea una serie de problemas y desafíos, particularmente cuando las condiciones climáticas son muy variables, las tasas de evaporación son altas o el agua afectada por las minas es de mala calidad.

Se necesitarán balances hídricos y químicos para comprender los riesgos planteados por los planes de rehabilitación. La minería a menudo da como resultado *cambios permanentes en el paisaje y su función hidrológica*. Eso, a su vez, puede tener consecuencias significativas a largo plazo para el entorno que lo rodea después del cierre. Las principales operaciones mineras planifican los accidentes geográficos finales, diseñan su forma y atributos geoquímicos y geofísicos, y los construyen con el objetivo de minimizar el impacto a largo plazo. Las operaciones necesitan gestionar y revisar el rendimiento del agua de las formas terrestres finales durante el ciclo de vida de la mina y *no simplemente manipular el paisaje una vez que cesa la actividad minera*.

Las consecuencias de un plan de cierre de mina mal diseñado o inapropiado, en relación con los vacíos finales y las interacciones con el agua, pueden ser:

- **Financieras.** Mayor responsabilidad financiera por planificación deficiente de rehabilitación de espacios vacíos o requisito de tratamiento de agua a perpetuidad.
- **Ambientales.** Impactos inaceptables en cantidad o calidad del agua.
- **Legales.** La mina no puede ser legada para su nuevo uso hasta que se cumplan los objetivos básicos de la rehabilitación.

.....

**Los principales controles de estos riesgos son los estudios técnicos
y el desarrollo de planes apropiados de cierre de mina.**

.....

Los pasos para la rehabilitación de los vacíos finales y la renuncia a ellos son los siguientes:

- Llevar a cabo un análisis espacial detallado, incluidos los planes de vida útil de la mina y los perfiles de los vacíos propuestos y todas las áreas de captación libres.
- Desarrollar un modelo conceptual de interacciones entre los vacíos y los acuíferos circundantes, utilizando la información compilada como parte de la evaluación de referencia de las aguas subterráneas.
- Analizar el balance hídrico. Idealmente, el modelo utilizado para desarrollar la estrategia del agua debería adaptarse para estudiar los aspectos del cierre de mina.

- Desarrollar una variedad de escenarios de equilibrio de agua y solutos para varios escenarios climáticos (por ejemplo, secos, húmedos y medios) o realizar modelos estocásticos.
- Revisar los últimos modelos climáticos para determinar cómo incluir los impactos del cambio climático (por ejemplo, aumento de la lluvia total para el escenario húmedo).
- Analizar si los vacíos finales son estables, seguros y no contaminantes al derivar series temporales de niveles de agua y aproximar la calidad del agua para el rango de escenarios climáticos.
- Usar los datos para evaluar el riesgo de desbordamiento y descarga de agua contaminada a cuerpos superficiales o subterráneos.
- Comprometerse con el personal relevante para evaluar cualquier posible problema de estabilidad inducido por el agua.
- Asegurarse de que todas las suposiciones que se usaron en el modelado estén bien documentadas, y describir las investigaciones adicionales que se necesitan para abordar las incógnitas clave.
- Cuando se identifiquen riesgos, definir estrategias de manejo, como el sellado de acuíferos (enlechado, barrera hidrológica superficial a menudo denominada “barrera neutral”), el sellado de muros (hormigón proyectado), la disminución o el aumento de áreas de captación (movimiento de tierras) y el control de las pérdidas por evaporación (barreras flotantes).
- Documentar los riesgos y oportunidades asociados con cada estrategia en una matriz de riesgo y oportunidad. Deducir los costos aproximados de las estrategias y compararlas con el costo del relleno total de los vacíos.
- Usar las predicciones de los niveles de los vacíos clave para evaluar la cantidad adicional de entrada de agua superficial (si la hubiera) que se necesitaría para mantener un lago de pozo permanente. Evaluar cualquier posible impacto o beneficio posterior (como la reducción de las inundaciones).
- Determinar los posibles usos beneficiosos de los lagos de pozo (como la acuicultura).
- Evaluar cualquier otro riesgo del mantenimiento de los lagos de pozo, como el desbordamiento hacia el entorno receptor, los riesgos de seguridad asociados con el acceso incontrolado o los impactos en la fauna.

El plan de cierre de mina también puede incluir compromisos para satisfacer las demandas de otros usuarios del agua. Cuando se construye una mina, en algunos casos, se hacen arreglos para proporcionar agua a las comunidades aledañas. El plan de cierre de mina debe comprender todos los compromisos relacionados con el agua, incluida la infraestructura que será necesaria para abastecer los requerimientos de agua de la comunidad en el futuro.

III. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE AGUA DE MINA

Ideas clave

- Se requiere un diseño detallado del sistema de agua de mina para que se cumplan las condiciones de aprobación del proyecto, las licencias ambientales y las de agua y otros requisitos legales.
- La infraestructura clave de la gestión del agua (desvíos de arroyos, almacenamiento y drenaje de mina, erosión y control de sedimentos, drenaje de aguas subterráneas, suministro de agua de alta calidad o agua afectada por minas para diversas demandas), que protegerá la operación contra los riesgos de la escala de captación, debe estar bien diseñada para la tolerancia al riesgo acordada antes de que la actividad minera pueda continuar.
- La recopilación y el monitoreo de datos son críticamente importantes en esta etapa operativa.

Una vez que el contexto de la cuenca esté bien entendido y documentado y se hayan obtenido todas las aprobaciones requeridas, se puede proceder al diseño detallado y a la construcción de la operación. Esta sección se refiere a las actividades relacionadas con el agua que deben ocurrir durante el diseño, la construcción y la puesta en servicio de una nueva operación o de la ampliación de una operación preexistente.

Se requiere un diseño detallado para que el sistema de agua de la mina cumpla con las condiciones de aprobación del proyecto, las licencias ambientales y las de agua y otros requisitos legales. En esta fase, *los criterios de diseño basados en el riesgo finalizan y se toman decisiones de diseño basadas en análisis de costo-beneficio.*

Las actividades clave que deben completarse incluyen:

- el diseño y la instalación de toda la infraestructura afectados por la mina, que se utilizarán para gestionar las escorrentías, la erosión y la generación de sedimentos;
- la exportación, el drenaje y el almacenamiento de aguas subterráneas, y
- el suministro de agua de alta calidad o agua afectada por las minas para diversas demandas.

La construcción de la infraestructura se produce con un **enfoque por etapas**, que se alinea con las fases de producción del proyecto minero.

4.10. Agua superficial

El agua superficial debe separarse de otras aguas, y la erosión y los sedimentos deben controlarse.

4.10.1. Separación efectiva del agua superficial afectada por la mina y del agua no afectada

En la mayoría de las jurisdicciones, los flujos de escorrentía que no entran en contacto con las actividades mineras se consideran agua de alta calidad que puede liberarse pasivamente al ambiente, siempre que exista una erosión adecuada y se establezcan estructuras de control de sedimentos. En la práctica, esto significa que los flujos afectados por las minas deben separarse de los que no han sido afectados. La planificación del agua y la de la mina, en general, deben definir claramente la separación entre los componentes del agua de alta calidad y de baja calidad (agua utilizada por la mina), que se basa en la extensión del terreno perturbado y no perturbado, así como seleccionar la naturaleza, el tamaño y la ubicación del desvío y la infraestructura de drenaje.

Los principios que sustentan la separación efectiva son:

- minimizar la alteración de la tierra, designar carreteras y áreas de deposición y restringir el acceso a áreas no perturbadas;
- rehabilitar y estabilizar progresivamente las zonas afectadas por las minas, y
- desviar flujos no afectados por las minas, si eso conduce a una reducción significativa del área de captación que alimenta a las áreas alteradas.

La construcción de **desagües y canales de desvío** minimiza el alcance de los flujos de escorrentía que entran en contacto con las actividades mineras. Los criterios de diseño para los desagües y los canales dependen en gran medida de la complejidad del sitio y de los requisitos legales locales, pero se basan en principios de ingeniería estándar, como el requisito de transmitir de forma segura los flujos de una probabilidad de ocurrencia dada.

Un aspecto clave de esta actividad debería ser una descripción precisa de cuencas y subcuencas, del uso de la tierra dentro de cada subcuenca, de la naturaleza de los flujos asociados (afectados por minas *versus* no afectados por minas) y el punto de salida de cada subcuenca. También, considerar la verificación en el campo de los límites de las subcuencas y los puntos de salida (por ejemplo, tuberías o alcantarillas debajo de un camino de acarreo para la transferencia aguas abajo, erosión y estructuras de control de sedimentos para su liberación al ambiente o para su captura en almacenamiento).

El trabajo debe ser respaldado por una mayor y extensa verificación de campo para ganar la confianza de que el mapeo de la cuenca refleja con precisión la calidad de los flujos de escorrentía y su destino (pasivamente liberado al ambiente, capturado en el almacenamiento de agua de la mina, etc.). La información debe proporcionarse como *mapas de captación detallados en un entorno georreferenciado (GIS)*, que muestren una variedad de atributos: fotos aéreas, contornos, límites de cuencas y captaciones, vías principales que muestren los flujos de aguas afectadas y no afectadas por las minas y si se captura un flujo en el sistema de agua de la mina, o no.

Los mapas se pueden usar para documentar las cuencas que contribuyen al inventario de agua de la mina, y también las que no generan agua afectada por las minas y que se administrarán a través del plan de gestión de sedimentos y erosión.

4.10.2. Erosión y control de sedimentos

Incluso en cuencas inalteradas, los sedimentos se encuentran a niveles de fondo naturales y el entorno receptor se ha adaptado a ellos. Sin embargo, *los sedimentos pueden convertirse en contaminantes* si exceden los límites aceptables dentro de las aguas receptoras, lo que lleva a la degradación ambiental.

El sedimento generalmente consiste en material fino (que comprende partículas de arcilla y de limo) y material grueso (partículas más gruesas, del tamaño de la arena). A medida que la mina se desarrolla, la tierra nueva y el drenaje se alteran. El control de sedimentos y de la erosión se debe realizar antes de que ocurra la perturbación. La función más importante de este control es evitar que niveles inaceptables de sedimentos abandonen la operación e ingresen a las vías fluviales.

Los tres principios clave son:

- **Control del drenaje:** prevenir o reducir la erosión del suelo causada por los flujos concentrados y separar apropiadamente los flujos afectados de los no afectados por las minas (como se describió antes).
- **Control de la erosión:** prevenir o minimizar la erosión de material disperso y material competente causado por el impacto de la gota de lluvia y el flujo terrestre exacerbado en las superficies alteradas.
- **Control de sedimentos:** atrapar o retener el sedimento contenido en los flujos de escorrentía.

Se puede lograr control efectivo de la erosión y de sedimentos siguiendo estos pasos estándar:

1. Identificar las fuentes potenciales de sedimentos a través del mapeo del uso de la tierra. Esto debería hacerse al evaluar los flujos de agua afectada por las minas. El mapeo debe basarse en las definiciones estándar de “uso de la tierra”. Variarán con las operaciones, pero podrían incluir: actividades de exploración, tierras periféricas, áreas rehabilitadas, áreas de hundimiento, despojos (drenaje interno o externo), áreas despojadas del suelo, reservas, áreas de rechazo, caminos de acarreo, trabajos de construcción y almacenamiento de relaves.
2. Las actividades que tienen el potencial de causar o aumentar la erosión y, consecuentemente, de aumentar la generación de sedimentos incluyen la exposición de los suelos durante la construcción de la infraestructura minera (limpieza de vegetación, desbroce y movimiento de tierras), las actividades mineras en curso y el almacenamiento de materiales de la mina. Minimizar la cantidad de tierra alterada en cualquier momento de la actividad minera reduce la escala del sistema de control de sedimentos y erosión del sitio. La rehabilitación progresiva puede comenzar tan pronto como se complete la construcción, creando accidentes geográficos estables no sujetos a los mismos riesgos de erosión que aquellos que no son estables.
3. Evaluar el potencial de erosión que se ve afectado por la pendiente, el tipo de suelo, la extensión y duración de la perturbación del suelo, la ubicación dentro de la cuenca y la proximidad a las vías fluviales. Todos estos aspectos deben considerarse y combinarse para *asignar un riesgo de erosión a cada área*. Será importante contar con un mapa de riesgos de erosión, que muestre claramente los sitios de alto riesgo y de bajo riesgo. Respecto de los suelos, la mayoría de los laboratorios acreditados ofrecen servicios para la medición de la distribución del tamaño de partículas del suelo, el pH, la conductividad

eléctrica y los cationes intercambiables. Esas mediciones se utilizan para evaluar si un suelo es dispersivo o no, y si tiene un alto riesgo de erosionabilidad.

4. Identificar la necesidad de medidas de control y seleccionar las más apropiadas, dependiendo de si se requiere drenaje, erosión o control de sedimentos.
5. La combinación más efectiva de medidas depende de las limitaciones específicas de la operación. Se recomienda, por tanto, mantener un registro de medidas de control, incluidos mapas de sus ubicaciones y detalles de sus requisitos de monitoreo y mantenimiento. La inspección y el mantenimiento de las medidas de control deben llevarse a cabo regularmente para que estas sigan siendo efectivas. En general, la inspección y el mantenimiento de rutina se llevan a cabo antes de la estación húmeda (si la operación se realiza en un área que tiene una estación húmeda) y después de una lluvia significativa que puede haber afectado la funcionalidad de las medidas.

4.11. Agua subterránea

Durante la fase de operaciones, la mina se debe ocupar de gestionar los flujos de aguas subterráneas que interfieren con sus actividades o afectan su capacidad para acceder de manera segura al recurso y cumplir, de esta manera, con sus obligaciones ambientales.

Es necesario establecer un objetivo claro de gestión operativa antes de las investigaciones, evaluaciones y diseños para delinear los requisitos fundamentales de la actividad y establecer objetivos de gestión factibles y prácticos. Por ejemplo, el drenaje se completa para abordar varios objetivos, tales como mantener las condiciones de operación en seco o las de explosión seca, reducir las presiones de la pendiente de los *pits* o lograr un contenido óptimo de humedad del mineral.

Los diseños, los plazos, los volúmenes y las operaciones se interrelacionan y dependen de estos diferentes objetivos de gestión del agua.

4.11.1. Flujos de agua subterránea en *pits* a cielo abierto

Cuando los materiales que forman las paredes de los *pits* tienen baja permeabilidad, o los acuíferos que rodean los pozos tienen bajo rendimiento, es probable que los flujos de agua subterránea a un pozo a cielo abierto sean bajos. En este caso, un **sumidero simple** para recoger las entradas que se bombearán podría ser todo lo que se requiere.

Los **sistemas de sumidero de bomba** pueden ser tan simples como un sumidero de corte en caída en el fondo de un pozo, con una capacidad de bombeo suficiente como para evitar que el piso se inunde hasta un cierto nivel. Tener en cuenta que los sistemas de sumidero de bomba a menudo se configuran para gestionar los flujos de agua subterránea baja y los flujos de escurrimiento, es decir, ambos. En ese caso, es probable que el sistema esté diseñado para un evento de lluvia dado, como tormentas de un ARI determinado previamente. Habrá entonces una compensación entre el tamaño del sumidero y la capacidad de bombeo: cuanto mayor sea el sumidero, menor será la bomba requerida, y viceversa.

También hay una compensación entre el costo del sistema y su fiabilidad. A menudo se requieren análisis de costo-beneficio, pero en muchos casos las pérdidas de producción superarán los costos de la bomba. Con una mayor complejidad de compensación, se debe buscar experiencia técnica especializada.

Más allá de consideraciones de diseño, hay aspectos prácticos para tener en cuenta. Por ejemplo, si el piso del *pit* no puede ser operado por maquinaria pesada debido a materiales húmedos (como arcillas), la producción se verá afectada. Los materiales blandos y húmedos situados en la capa freática y debajo de ella pueden ser difíciles de manejar debido a que pueden tener baja permeabilidad y no ser susceptibles de deshidratación simple por bombeo. En tales situaciones, el enfoque más apropiado es drenar el piso bombeando desde zonas permeables más profundas o desde sumideros profundos.

4.11.2. Flujos de agua subterránea debajo de la capa freática

La decisión de diseñar y operar un sistema de desagüe para bajar la capa freática debe ser el resultado de la evaluación del agua subterránea, no una suposición inicial. Un programa de investigación y diseño bien administrado identifica el objetivo de drenaje, la solución de bombeo más práctica y rentable, la selección óptima de equipos y el programa de construcción.

El drenaje y bajada del nivel freático se puede lograr de varias maneras:

- Pozos para bombear y sumideros profundos dentro del *pit*.
- Pozos para bombear fuera del *pit*.
- Pozos de flujo libre dentro del *pit*. El flujo de entrada se recoge y bombea a uno o más sumideros.

Dependiendo del tamaño de la mina y las condiciones del agua subterránea, serán necesarios uno o más sumideros, a menudo en paralelo con los pozos que se bombearán.

Los aspectos prácticos para considerar al seleccionar un método incluyen:

- Acceso a ubicaciones apropiadas para instalar y operar los pozos de desagüe.
- Mantenimiento de un bombeo casi continuo a tasas apropiadas.
- Flexibilidad para cambios en los planes de mina.
- Diseño de sistemas de bombeo y tubería apropiados para el rango probable de tasas de bombeo y, en algunos sitios, para acomodar la química agresiva del agua, particularmente si existen condiciones generadoras de ácido.
- Conocimiento del potencial de rebote posterior a la operación del nivel del agua subterránea luego del cese del drenaje.
- Posibilidad de descargar el agua excedente al entorno natural –incluso fuera de la concesión minera– y tratamiento del agua, de ser necesario.

4.11.3. Reinyección

La **reinyección** es la práctica que consiste en colocar agua subterránea en el mismo sitio de donde fue extraída o en un acuífero cercano. Se puede lograr utilizando infraestructura de ingeniería o por medio de infiltración pasiva a través de cursos de agua locales. En algunas circunstancias, es preferible liberar agua en los sistemas de aguas superficiales.

La reinyección requiere **condiciones geológicas e hidrogeológicas** específicas con el requisito adicional de ser económicamente factible.

Una operación de reinyección debe ubicarse:

- en terrenos con características geológicas que reciban agua a una tasa suficientemente alta (es decir, con una permeabilidad aceptable);
- en un área con una capa freática natural suficientemente profunda;

- en áreas donde la calidad de las aguas inyectadas y receptoras sea compatible, y
- a una distancia razonable de la fuente de extracción, para minimizar los costos de infraestructura, pero no tan cerca como para que las operaciones de drenaje se inhiban debido a la recirculación.

No todas estas condiciones se pueden cumplir en todas las situaciones donde podría ser deseable usar la reinyección, pero puede ser una medida utilizada para solucionar la disposición de los excedentes con un estándar muy adecuado.

4.11.4. Monitoreo de aguas subterráneas

Por lo general, se requiere un programa de monitoreo para gestionar los impactos potenciales de la minería en las aguas subterráneas y para recolectar datos que mejoren la efectividad operativa de actividades tales como drenaje y reinyección. Tal programa precisa la instalación de instrumentos para monitorear los niveles de agua subterránea y la calidad dentro de los acuíferos, proporcionar una estimación de las propiedades hidráulicas de estos y monitorear la línea base y los cabezales de presión de agua subterránea a profundidades pre-determinadas.

Las ubicaciones de monitoreo deben seleccionarse en consulta con hidrogeólogos, para garantizar que la evaluación se adecue al propósito y aborde los controles hidrogeológicos clave y las actividades de estrés. Lograr estos objetivos requiere:

- Perforación de pozos e instalación de piezómetros, monitoreo de ánimas y orificios de prueba.
- Realización de pruebas de bombeo.
- Muestreo de aguas subterráneas para medir parámetros de calidad, como pH, conductividad eléctrica, alcalinidad, sólidos suspendidos y disueltos, cationes y aniones principales, nutrientes, metales totales y disueltos, hidrocarburos y compuestos orgánicos volátiles.
- Registro de toda la información sobre el programa de monitoreo en documentos apropiados.

4.12. Sistema de agua de mina

Las operaciones deben contar con sistemas que se ocupen de *transferir, dirigir y transportar aguas superficiales y subterráneas* en las condiciones normales de la operación y para cumplir con la tolerancia al riesgo acordada.

Las condiciones climáticas influyen en el rendimiento del sistema. La gestión de los flujos del agua afectada por las minas para satisfacer las expectativas de las partes interesadas requiere una comprensión profunda del impacto de las variaciones climáticas en los flujos de escorrentía y los volúmenes recolectados por el sistema de agua de la mina (modelado e informe del balance hídrico). Requiere:

- que los sistemas de agua de mina estén diseñados para minimizar el alcance de los flujos afectados por ella;
- que contengan todas las aguas afectadas por la mina para cumplir con las condiciones ambientales;
- una amplia supervisión del entorno de recepción y los sistemas de gestión de datos apropiados para compilar, interrogar e informar los datos recopilados.

Las actividades clave para la operación de un sistema de agua de mina son:

- **Grabar y controlar** la entrada de agua de fuentes externas.
- **Comprender cuánta agua afectada por las minas se almacenará en el sitio**, tanto de aguas de escorrentía como subterráneas. Idealmente, el modelo de equilibrio hídrico que se desarrolló para comprender la relación entre la operación y su cuenca de captación se puede utilizar o refinar para realizar esta tarea. El modelo debe revisarse periódicamente y debe contener un nivel de detalle acorde con la complejidad del sistema y los riesgos clave. Debido a que la variación del clima es la clave desconocida, el modelo debe tener la capacidad de ejecutar varios escenarios climáticos posibles o realizar un análisis estocástico.
- **Comprender la calidad del agua que se almacenará** y asignar cada tipo de calidad del agua a tiendas específicas, si corresponde. Por ejemplo, los botaderos de escombreras o pilas de escombros a menudo son una fuente importante de agua afectada en un sitio minero, y la calidad de la escorrentía de los vertederos puede requerir su almacenamiento en estructuras específicas. A menudo hay una gran demora entre la lluvia que cae sobre la roca de desecho o el despojo y el volumen de escorrentía que se almacena, lo que puede plantear dificultades cuando se trata de conciliar el equilibrio hídrico en intervalos cortos (semana o mes). Donde el drenaje ácido de la mina es un riesgo se deben aplicar prácticas para la prevención del ácido y el drenaje metalífero.
- **Comprender y desarrollar pronósticos de inventario** y compararlos con las demandas de tareas. Las demandas típicas incluyen supresión de polvo en plantas subterráneas y de superficie y sus plantas de procesamiento, supresión de polvo en caminos de acarreo, lavado de vehículos y equipos, como así también otras tareas industriales diversas. Las demandas deben ser monitoreadas, idealmente a través de la medición adecuada y la carga automática de datos en el *software* apropiado.
- **Registrar la calidad del agua** requerida por cada demanda. Deben definirse y registrarse las tolerancias de la calidad del agua para cada demanda operacional, y deben documentarse las respuestas de gestión apropiadas a los cambios en esas condiciones según los procedimientos operacionales.
- **Definir niveles críticos** que comuniquen claramente cuando existe un riesgo de suministro inadecuado. Habrá un nivel crítico para cada fuente de una calidad de agua específica. Por ejemplo, las demandas que dependen del suministro de agua contaminada por minas se referirán a un nivel crítico establecido para el inventario de agua de la mina. Las demandas que dependen del suministro de agua externa se referirán a las limitaciones operativas establecidas por el tercero que suministra el agua.
- **Informar el balance hídrico** a intervalos de tiempo acordados. Cuando no hay un evento de estrés específico, es probable que el informe mensual del balance hídrico sea el apropiado. En momentos de estrés, como lluvias intensas, es posible que deba actualizarse el equilibrio hídrico con más frecuencia. Para conciliar el balance hídrico, los datos sobre el inventario de agua deben recopilarse periódicamente. El método más común es medir los niveles de agua en pozos y presas y luego convertirlos a volúmenes y áreas de superficie (este último para el cálculo de las pérdidas por evaporación). Los estudios batimétricos deben realizarse regularmente en estructuras de almacenamiento críticas para actualizar las relaciones entre el nivel del agua, el volumen y el área de la superficie. Las nuevas tecnologías están ofreciendo métodos de medición nuevos y más rentables. Por ejemplo, los drones ahora se pueden volar para medir rápidamente el área de superficie de la masa de agua, que luego se puede convertir en volumen. El balance hídrico debe revisarse para evaluar el riesgo de exceso de inventario y el riesgo de inventario insuficiente. Definir opciones de gestión para ambos.

- **Realizar regularmente un análisis de balance hídrico** para una variedad de escenarios que consideren posibles impactos al suministro de agua de la operación, como cambios geoquímicos que afectan la calidad del agua, proyecciones climáticas que afectan su cantidad, cambios en el tiempo de disponibilidad, vulnerabilidad a la escasez y restricciones de calidad.
- **Evaluar los riesgos específicos** asociados con cada estructura de almacenamiento. Por ejemplo, el riesgo de no cumplir con los requisitos de francobordo o revancha; o el riesgo de versiones no conformes para cada estructura individual en lugar del sitio en general. El diseño de las estructuras de almacenamiento varía según las regulaciones locales y las condiciones ambientales, pero generalmente está dictado por la capacidad de contener un evento de tormenta de diseño requerido sin descargar al ambiente y la capacidad de contener la escorrentía de una estación húmeda con una probabilidad de superación anual específica.
En algunas jurisdicciones, independientemente de los requisitos de “diseño”, las condiciones de vertido efectivo luego de la obra pueden llegar a diferir. En esos casos, puede haber una ligera desconexión entre el diseño de las estructuras de almacenamiento y la capacidad de cumplir con las condiciones de liberación.
- **Optimizar, probar y registrar las características finales** del caudal de lanzamiento efectivo, junto con los procedimientos operativos, y detallarlos en una publicación o documento. Las versiones controladas requieren suficiente infraestructura para capturar y retener el agua de lanzamiento efectivo. Las condiciones de liberación son impuestas por obligaciones ambientales. Como pueden ser complejas y deben cumplir una serie de condiciones, es esencial un procedimiento operacional detallado, con pruebas exhaustivas. El rendimiento y el impacto de las descargas de agua deben revisarse después de cada estación húmeda (o evento de lluvia) para capturar cualquier cambio en la operación y en los entornos receptores, y las estrategias de liberación deben ajustarse en consecuencia. Los datos de monitoreo brindan la información para evaluar los impactos de las emisiones y pueden llevar a una reevaluación del programa de monitoreo. Esta vuelta atrás de la información en la gestión de las entregas a menudo se pasa por alto, a menos que ocurra una situación de incumplimiento, que no es una gestión proactiva y definitivamente no es una práctica líder.

4.13. Recopilación y gestión de datos

Los gerentes operativos deben recopilar una gran variedad de datos para respaldar su gestión del agua e informar sobre la efectividad de sus procedimientos.

El alcance del programa de recopilación de datos depende de la operación, pero existen principios clave de práctica líder para la compilación y gestión. En la mayoría de los casos, el muestreo se realiza para confirmar el cumplimiento de las obligaciones ambientales, evaluar el desempeño ambiental de la operación y monitorear el ambiente receptor.

En el caso del agua, esto requiere medidas de:

- las características del agua superficial y del agua subterránea (parámetros de calidad y del flujo), a menudo utilizando dispositivos de monitoreo y muestreo automatizados y muestreo de agua *in situ* para su análisis por parte de un laboratorio;
- el nivel y la calidad del agua subterránea;
- la calidad del agua afectada por las minas;
- las demandas internas y otros flujos que se utilizan para calcular o estimar las entradas y salidas del sitio.

Los objetivos del programa de muestreo deben determinarse y documentarse y ser lo más específicos posibles, definiendo los límites espaciales del muestreo (el tamaño del área a evaluar), la escala temporal (por cuánto tiempo) y la frecuencia (con qué periodicidad).

Los principales problemas que preocupan (como los nutrientes y las cargas de metal) deben conocerse desde la comprensión del contexto de la operación, incluido el entorno receptor. Idealmente, al decidir el número de muestras que se recopilarán y la frecuencia de muestreo requerida, se recopilarán las suficientes y se harán las repeticiones necesarias para representar el rango completo de variabilidad en el espacio y en el tiempo.

Las características esenciales de una estrategia de muestreo son garantizar que el material muestreado sea genuinamente representativo, que las mediciones *in situ* sean confiables y que la integridad de los materiales enviados para el análisis de laboratorio no haya sido afectada por contaminación, degradación, transformación o pérdidas.

El régimen de muestreo debe ser representativo del sistema y los parámetros de interés. El programa de monitoreo debe revisarse periódicamente para evaluar si es necesario trasladar los lugares de monitoreo y para saber si aún cumple con los requisitos del marco regulatorio.

El **control de calidad** es esencial, tanto en el muestreo como en el análisis. Los análisis de laboratorio deben ser realizados por un laboratorio acreditado. Es posible que solo un número limitado de laboratorios comerciales ofrezcan márgenes analíticos de detección adecuados.

El **monitoreo biológico** es cada vez más necesario. Algunos laboratorios pueden realizar pruebas de ecotoxicología y evaluar la toxicidad del agua afectada por las minas en una variedad de organismos de prueba, y algunos consultores biológicos pueden proporcionar evaluaciones locales utilizando herramientas apropiadas de monitoreo del ecosistema. También pueden instalarse redes de monitoreo automatizadas, que requieren un equipo de telemetría para la descarga remota de mediciones de sensores. Un régimen de muestreo genera una gran cantidad de datos que deben ser gestionados con una herramienta apropiada, idealmente una base de datos ambiental centralizada.

También es importante administrar otros datos como, por ejemplo, los cambios realizados en la altura del revestimiento del pozo a medida que se desarrolla la mina. Y almacenar los conjuntos de datos que ya no están activos (como los de los pozos de exploración).

Un sistema de gestión de datos de alto rendimiento también tiene la capacidad de detectar cambios y enviar advertencias para activar una respuesta de gestión. Con la administración de datos centralizada, los datos pueden analizarse para identificar tendencias, particularmente las que van desde la línea de base, monitorear el desempeño ambiental de las operaciones y compilar informes para la comunicación a la comunidad de interés.

IV. MANTENIMIENTO Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE AGUA DE LA MINA

Ideas clave

- Las prácticas de gestión del agua están adaptadas a las condiciones climáticas. En condiciones secas, se enfocan en la eficiencia del agua. En condiciones húmedas, en la gestión de inundaciones y el monitoreo de la calidad del agua.
- Las operaciones de práctica líder devuelven tanta agua con propiedades beneficiosas como sea posible.
- La optimización del contenido de agua de relaves puede ayudar a minimizar los requisitos de agua.
- El agua utilizada para mitigar el polvo es necesaria para la seguridad y la eficiencia de la producción, y para evitar los impactos de la calidad del aire en los usuarios y en las comunidades de las tierras circundantes.

Una vez que la operación se ha diseñado para controlar todos los riesgos de alto nivel y los riesgos a nivel operativo, puede haber oportunidades para optimizar componentes individuales e implementar una variedad de opciones de práctica líderes.

4.14. Funciones y responsabilidades

Los riesgos relacionados con el agua cruzan una serie de límites de gestión.

La gestión del agua puede fragmentarse, con implicaciones para responsabilidades múltiples, y es propensa a la duplicación de servicios o a la planificación ineficaz. Por tanto, debe integrarse en todos los departamentos pertinentes, idealmente con un organismo coordinador presidido por una persona con la autoridad y la responsabilidad adecuadas.

4.15. Minería subterránea

Las demandas de agua en una mina subterránea deben analizarse en detalle, junto con los requisitos de calidad. En algunos casos, se necesitará una calidad de agua específica para cumplir con las condiciones de garantía requeridas por los costosos equipos. Por ejemplo, en minas de carbón subterráneas de paredes largas, el agua para la supresión de polvo

en la cara del carbón debe proporcionarse en todo momento, no puede reducirse manteniendo los mismos parámetros de seguridad y debe ser de muy alta calidad, como se dijo, para cumplir con las condiciones de garantía de los equipos.

El análisis de la demanda también debe centrarse en la identificación de fugas, pérdidas. No es necesario suprimir el polvo en los transportadores cuando estos no están funcionando. Los componentes especializados para la supresión de polvo y la de incendios, y todos los aspectos del control del agua en minería subterránea, están disponibles para detener automáticamente el suministro de agua cuando no sea necesario.

Cuando los sistemas de transporte no funcionan, los aerosoles pueden detenerse automáticamente. En las operaciones de mina subterránea, muchos equipos pueden utilizar agua para su operación, con esta drenando en el suelo y generando condiciones húmedas y descuidadas respecto de la seguridad y el ambiente. Esto puede crear la necesidad de tareas de mantenimiento específicas que causen interrupciones, a un alto costo. Las interrupciones debidas al mantenimiento también pueden afectar directamente los indicadores de rendimiento clave de la producción.

El agua capturada se puede recuperar, tratar y conectar de nuevo al sistema de agua procesada para su reutilización, lo que produce *mejoras significativas en el rendimiento*.

Por lo general, la razón principal para usar agua de alta calidad para la supresión de polvo en cintas transportadoras es que el sistema de rociado está diseñado para proporcionar agua de ese tipo, solamente. Pero este sistema se puede diseñar o rediseñar para suministrar agua afectada por la mina y que haya sido recuperada y tratada. Para garantizar que el sistema de suministro de agua funcione de manera óptima y que se recopilen los datos para el análisis del rendimiento, deben instalarse medidores, los cuales tienen la capacidad de comunicarse a través de una red a un punto central. Los datos en tiempo real se pueden recopilar utilizando un paquete de *software* industrial que también proporciona una pantalla gráfica para el monitoreo continuo de los parámetros operacionales. Esto permite la *detección temprana de cualquier falla potencial* y permite abordar los problemas rápidamente. Todo esto si el caudal de supresión lo amerita. Si los caudales de agua de supresión de polvo son bajos, puede registrarse con una medición mensual y se incluye en el balance como una salida más del sistema.

4.16. Procesamiento y relaves

El procesamiento de minerales consta de diversos procedimientos que aumentan la concentración de aquella sustancia que se desea obtener, o mineral objetivo. Por ejemplo, en las minas auríferas, el oro generalmente representa alrededor del 1% del mineral extraído, por lo que puede haber grandes reducciones en los costos de manipulación y transporte si la mayoría de los "no oro" —es decir, el mineral estéril— pueden separarse.

El procesamiento por lo general implica *varios procedimientos en secuencia* para separar diferentes partes del mineral estéril o bien para preparar el concentrado restante para la extracción adicional de minerales. Por ejemplo:

- los procesos de separación por gravedad se utilizan para eliminar rocas con una gravedad específica diferente del mineral objetivo;
- la flotación usa las diferencias en la tensión superficial y el carácter hidrofóbico para unir el mineral objetivo a las burbujas en una espuma, y

- la solución y la precipitación usan reacciones químicas específicas para extraer el mineral objetivo de la roca circundante.

En muchos procesos de separación se utiliza el agua, principalmente como un medio fluido que permite que el mineral y los residuos se separen en función de sus diferentes propiedades. Una vez que se ha logrado la separación, el agua a menudo también se usa para hacer una mezcla de los residuos finos (**relaves**), de modo que pueda ser bombeada a una instalación de almacenamiento.

4.16.1. Principios de una buena gestión del agua en el procesamiento

En la administración del agua utilizando las mejores prácticas en el procesamiento rigen los principios que se enumeran a continuación.

- **Selección del proceso.** En la etapa de diseño, la combinación y secuencia de procesos se selecciona en función de las propiedades del mineral objetivo y de la roca huésped, la capacidad requerida de la planta y el costo. Este último incluye los gastos de compra o adquisición del agua requerida en los procesos, pero también deben tenerse en cuenta los costos ambientales y sociales del agua, como el de oportunidad para otros usuarios potenciales del agua y el de cualquier tratamiento posterior, o almacenamiento del agua como desecho.

En lugares donde la disponibilidad de agua es limitada, se pueden preferir opciones de proceso seco, si están disponibles.

- **Medición de flujos.** En esta guía se enfatiza varias veces que *una buena medición es esencial para una buena administración*. Idealmente, todos los flujos de entrada y salida de tuberías se deben monitorear continuamente utilizando medidores precisos y adecuados. Los cambios en las tasas de flujo pueden dar una indicación temprana de fugas, derrames y bloqueos, y la interpretación de los flujos en el balance hídrico de una planta puede identificar las demandas y pérdidas para alcanzar la meta de mejora.

Además de los flujos obvios, parte del agua también ingresa al procesamiento en la alimentación del mineral y se pierde en el producto y los desechos gruesos. A menos que el agua afecte los procesos, por lo general es suficiente monitorearlo mediante muestreo regular en lugar de instalar un sistema continuo de medición en línea.

- **Maximización de la reutilización del agua.** Los ahorros en los costos, así como los beneficios ambientales, pueden realizarse si el agua tratada (utilizada o recolectada en otra parte de la mina) puede usarse en el procesamiento para reducir el consumo de agua cruda de alta calidad. Las áreas de almacenamiento de relaves son a menudo una fuente importante de agua trabajada; otras fuentes pueden ser el desagüe de la mina y el escurrimiento pluvial de las áreas alteradas.

Es normal que la calidad del agua se degrade en cierta medida por el uso anterior: la salinidad, la acidez, la alcalinidad y los sólidos suspendidos son problemas comunes. Los posibles impactos negativos del uso de agua de menor calidad incluyen mayores costos de mantenimiento debido a la escala en los componentes de la planta de procesamiento y una menor eficiencia de las reacciones del proceso; sin embargo, esos impactos a menudo pueden contrarrestarse mezclando suficiente agua cruda para mantener los criterios de calidad.

Por otro lado, los beneficios potenciales de la reutilización pueden incluir la reducción de los costos de compra de agua, la mejora de la reputación como usuario eficiente de agua

y un ahorro significativo de costos en las instalaciones de tratamiento y almacenamiento de agua trabajada.

Una vez más, la gestión requiere medidas; en este caso, la medición de los parámetros de la química del agua que son importantes para el rendimiento de los procesos y equipos.

La frecuencia de muestreo y análisis debe basarse en consideraciones tales como la sensibilidad de los procesos y la variabilidad típica en el agua recuperada; el muestreo y las pruebas mensuales o trimestrales a menudo serán suficientes.

Los cambios en la calidad del agua necesitan respuestas rápidas. Si un parámetro clave se deteriora, una solución a corto plazo para continuar con la operación puede ser agregar una mayor proporción de agua cruda o de alta calidad. Sin embargo, si el cambio o tendencia continúa, debe haber una investigación para comprender la causa y diseñar un remedio a largo plazo.

- **Identificación y minimización de pérdidas.** Cuando el procesamiento incluye la deposición hidráulica de relaves, generalmente representa la mayor pérdida del sistema de agua de proceso. Después de la decantación y cierta consolidación, típicamente entre el 30% y el 40% del volumen en la instalación de almacenamiento será agua, y ese *quantum* se debe principalmente a las características de retención de agua de los sólidos de relaves. En consecuencia, el cambio de la concentración de sólidos de la suspensión de relaves cambia la cantidad de agua devuelta, pero no afecta en gran medida la cantidad de agua perdida en los relaves. Sin embargo, otras pérdidas en el circuito de colas se pueden reducir, por ejemplo, por filtración y evaporación del agua de retorno y la evaporación de los estanques de decantación poco profundos.

Otras pérdidas de agua en la planta de procesamiento incluyen fugas, derrames y retro-lavado (como el de los filtros). Los desagües de captura ubicados adecuadamente pueden captar y reutilizar esta agua y mejorar la seguridad al reducir las áreas húmedas del piso.

Algo de agua también se pierde en los desechos gruesos y en el producto; sin embargo, a menos que afecte el valor de mercado del producto, el costo de energía para recuperar el agua suele ser mayor que el valor de la pérdida de agua.

En resumen, aunque existen nuevos desarrollos en nuevos procesos “en seco”, el uso del agua en el procesamiento de minerales y la preparación de carbón continuará en el futuro previsible, como medio de proceso y para el transporte de desechos finos. A pesar de la amplia gama de minerales y los correspondientes procesos de concentración, los principios comunes de la administración de agua líder en la práctica son monitorear con precisión las entradas y salidas y analizar los resultados del monitoreo para identificar *oportunidades de reutilización de agua y reducir las pérdidas*.

4.17. Control de la evaporación

Las pérdidas por evaporación pueden ser un componente principal del balance hídrico de un sitio. En **regiones húmedas**, puede ser necesaria una evaporación mejorada para que el sitio administre el exceso de agua de forma efectiva. La práctica líder asegura que la mejora de la evaporación se lleve a cabo de una manera eficiente en el consumo de energía. En **regiones secas**, puede ser deseable minimizar la evaporación.

Se encuentran disponibles varias técnicas, que incluyen cubiertas (físicas y químicas), geometría de diseño (relación de superficie pequeña a relación de volumen de almacenamiento) y el uso de sistemas subterráneos, como almacenamiento y recuperación de acuíferos.

4.18. Lixiviación

Un método común de separación del producto es la lixiviación. La **lixiviación en pilas**, en particular, requiere el manejo de grandes volúmenes de agua (generalmente soluciones ácidas o que contienen cianuro, para el separado de metales preciosos como oro y plata). En la parte superior de las pilas se agregan las soluciones de lixiviación, por lo que existe un gran potencial de evaporación. Las operaciones de práctica líder minimizan esto asegurando que las tasas de riego en el *pad* se ajusten bien a las tasas de infiltración, para que no se acumule en la superficie (minimizando la superficie del agua libre para la evaporación).

El **riego por goteo** es otra opción y tiene la ventaja adicional de reducir los problemas asociados con el flujo preferencial a través de la pila. La solución impregnada y la solución rica también se almacenan y se disponen en estanques, que deben revestirse para evitar pérdidas y pueden cubrirse para reducir la evaporación.

Los *pads* de lixiviación en pilas deben diseñarse para evitar cualquier pérdida de solución en el entorno. Una vez que se completa la lixiviación, la infiltración de lluvia podría crear la posibilidad de solución residual. Se requiere el mantenimiento de la plataforma de lixiviación y de la infraestructura de drenaje para garantizar la estabilidad y seguridad a largo plazo de los *pads*. Las soluciones a partir de las cuales se han recuperado los metales lixiviados se deben reutilizar en la medida de lo posible, y los líquidos residuales se deben contener o desechar de acuerdo con los requisitos ambientales, según el caso.

4.19. Eficiencia energética del sistema de agua de mina

Dentro del sistema de infraestructura que se usa para transferir, dirigir y transportar agua superficial, las **bombas** son los elementos principales que consumen energía. Los factores que afectan el rendimiento general del sistema de bombeo incluyen la longitud y las dimensiones de la tubería, los gradientes sobre los que se instalan las tuberías, las distancias sobre las que se bombea el agua y las características y especificaciones de las bombas.

Hay oportunidades para optimizar la gestión de bombeo a través de considerar lo siguiente:

- Planificación profunda de bombeo de agua y gestión del sistema de agua de la mina.
- Uso de bombas eléctricas en lugar de bombas diésel.
- Evaluación de todas las especificaciones de la bomba y optimización del tamaño de las bombas y tuberías.
- Recopilación de datos sobre el bombeo diario (por ejemplo, registrar el número de litros bombeados, energía consumida y horas de funcionamiento).

PARTE 5

MONITOREO E INFORMES

I. INFORMES Y PROCESOS CONTABLES

Ideas clave

- El establecimiento de objetivos y procesos operacionales y de administración acordados formalmente, así como la implementación de sistemas de monitoreo e informes, permiten una gestión eficaz del riesgo del agua y mejoras en la productividad.
- Los procedimientos operacionales respaldados por un diagrama de circuito de agua "tal como está construido", las cuentas de agua desarrolladas aplicando disciplinas de balance hídrico y el monitoreo efectivo del sitio proporcionan los componentes necesarios para administrar los riesgos y oportunidades del sitio.
- Los modelos de contabilización y balance de agua son esenciales para respaldar las decisiones de gestión e informar el desempeño interna y externamente.

Esta sección describe los principales métodos de contabilización y de rendición de cuentas del agua que una operación de práctica líder puede utilizar para administrar y generar informes sobre una variedad de desafíos y de buen manejo relacionados con el agua.

5.1. Informes corporativos y estatutarios

La notificación correcta y oportuna del agua es un resultado esperado clave y es fundamental para mantener una licencia operativa y social.

La forma de notificación reglamentaria depende de los requisitos federales, estatales y del distrito minero. La entrega lenta o imprecisa de informes reglamentarios puede erosionar la buena voluntad reguladora y comunitaria, e introducir requisitos administrativos y de presentación de informes adicionales y, muchas veces, multas. En última instancia, la mala presentación de informes regulatorios y operativos puede retrasar una aprobación ambiental nueva o enmendada.

En general, se requieren informes para cumplir con las condiciones asociadas a las licencias de extracción de agua o los compromisos ambientales. También, con las condiciones relacionadas con las descargas de drenaje, el control de sedimentos o gestión y el tratamiento del drenaje de rocas ácidas antes del lanzamiento de las operaciones de la mina.

Las licencias de agua y las licencias ambientales relacionadas con el agua generalmente requieren discutir cuestiones como: los compromisos de monitoreo, el balance hídrico operacional, los niveles de agua subterránea, la información de calidad de las aguas superficiales y subterráneas y su interrelación.

Algunos operadores mineros suelen pasar por alto la documentación de las decisiones corporativas y los resultados del agua de su proyecto. La base de las decisiones, compras, interpretaciones y errores proporciona un registro valioso, que sirve como un **repositorio de conocimiento corporativo** a medida que el personal rota y su información se pierde. Por ejemplo, la base y función de una tubería de descarga y la configuración de válvula específica instalada y operada por un corto período hace cinco años pueden presentar una oportunidad para administrar un evento de riesgo de agua recurrente o cumplir una función hidráulica vital en el funcionamiento de la infraestructura existente.

5.2. Contabilización del agua

Estimar e informar sobre los componentes importantes de los balances de agua del sitio son partes fundamentales en una práctica líder de agua.

Los sitios con mejores prácticas pueden demostrar que conocen la cantidad y calidad del agua en sus proyectos, y también los flujos y las tasas de entrada y salida de agua hacia y desde el sitio. Esta información es fundamental para diseñar el sistema de agua, tomar decisiones apropiadas con respecto a su uso, evaluar e informar sobre su desempeño, y planificar estratégicamente los cambios necesarios en el sistema en respuesta a los cambios previstos en las condiciones operacionales.

.....
En resumen, los sitios de práctica líder pueden explicar su agua
y su condición.
.....

La práctica líder también requiere que las cuentas del agua y las métricas de rendimiento hídrico se desarrollen de forma transparente, utilizando la contabilización del agua con definiciones claras y consistentes de los términos y con suficiente información que permita entender el contexto del desempeño. Esto facilita la auditoría eficiente y las comparaciones del rendimiento del agua en diferentes períodos de informes, sitios de minas y otros usuarios de agua, y permite *predecir y gestionar los riesgos* de rendimiento derivados de los cambios en las condiciones de funcionamiento.

5.3. Modelo de balance hídrico

Un modelo de balance hídrico es una herramienta importante para la *evaluación del excedente de agua y el riesgo de déficit* en todos los plazos de gestión, y proporciona datos para la producción de las cuentas del agua.

El diagrama del circuito de agua del sitio especifica los componentes del sistema de agua de la mina. Se utilizan diversas formas de diagramas de circuitos de agua, dependiendo de la escala y la resolución requeridas. En muchos casos, algunos diagramas básicos o conceptuales de transporte y capacidad volumétrica son suficientes para delinear los amplios procesos hidráulicos entre la fuente, el uso, el almacenamiento y los puntos de descarga. Es probable que se desarrollen diagramas de circuitos más detallados para la infraestructura o controles específicos del sitio, tales como los planes de agua potable y la planta de procesamiento y las redes de desagüe.

Idealmente, el diagrama contiene información sobre *la infraestructura, las propiedades hidráulicas y de capacidad de los componentes y los flujos entre ellos*. También incluye interacciones entre la infraestructura física y los componentes hidrológicos del paisaje. Asimismo, se indican los puntos de entrada y salida de agua del sitio. Estos diagramas pueden volverse rápidamente obsoletos y redundantes debido a la naturaleza dinámica de la infraestructura, y su complejidad y aplicación deben basarse en su uso.

Se necesita un control estricto de los documentos (y sus versiones) para todos los niveles y escalas de los diagramas de circuitos de agua. En el desarrollo de los diagramas se debe tener en cuenta la planificación adecuada para el propósito.

.....
La práctica líder es inalcanzable si las operaciones no mantienen un sistema de información actualizado y bien administrado para almacenar, mantener, analizar e informar los datos del sitio.
.....

Algunos datos cambian raramente, como la evaporación de potencial mensual promedio, en tanto que otros lo hacen casi en forma constante, como los niveles de agua en estanques de proceso. Los conjuntos de datos precisos y bien administrados proporcionan la base para una presentación de informes sólida y correcta, y también garantizan una interpretación oportuna, lo cual permite la mejora y la identificación de tendencias y riesgos en evolución.

También es importante administrar y almacenar los conjuntos de datos que ya no están activos (como los pozos de exploración).

El modelo de balance hídrico del proyecto puede ser respaldado por datos de flujo y almacenamiento de una gama de otros modelos, como los del sistema local de agua subterránea, filtración, escorrentía de lluvia, instalaciones de almacenamiento de relaves y otras tareas del sitio.

El modelo se puede usar para simular el sistema existente o para predecir el balance hídrico bajo escenarios futuros (por ejemplo, bajo diversas condiciones climáticas). Además, el modelo de balance hídrico puede usarse para múltiples propósitos y puede existir más de un modelo con diversos grados de complejidad para una operación.

Para proporcionar datos que respalden la contabilización del agua, la operación minera puede necesitar un modelo relativamente simple que agrupe los componentes del balance hídrico en las definiciones ya establecidas. Por otro lado, para apoyar el diseño y la operación de la infraestructura, se necesita una representación explícita de los componentes relevantes. El propósito del modelo también dicta el nivel requerido de precisión y la frecuencia con la que se debe actualizar el balance hídrico.

.....

La buena práctica es, por lo tanto, desarrollar un modelo de balance de agua que sea adecuado para el propósito y que sea representativo de las condiciones actuales y predichas.

.....

II. MONITOREO, AUDITORÍA Y REVISIÓN

Ideas clave

- El monitoreo efectivo del desempeño y los procesos regulares de auditoría y revisión en todas las etapas del ciclo de vida de la mina cumplirán los objetivos establecidos, gestionarán los riesgos e informarán las oportunidades de mejora.
- La documentación formal es una parte esencial de la mejora, cumple los requisitos legislativos y puede proporcionar transparencia a los grupos comunitarios de interés.
- Un proceso de auditoría interna y externa asegura que los estándares de control de calidad sean introducidos y logrados, y permite a las compañías mineras mantener una línea de visión sobre riesgos significativos, particularmente a nivel corporativo.

El monitoreo, la auditoría y la revisión son las mediciones y los procesos necesarios para *evaluar si la gestión de los principales riesgos operacionales y estratégicos es efectiva*.

La efectividad se debe evaluar según los requisitos establecidos por las tres áreas de gobernanza: corporativo, gubernamental y comunitario.

Los requisitos de cada una de estas áreas deben integrarse en las herramientas y procesos de gestión operacional que se analizan en detalle en la parte 4 de esta guía. Es decir, el monitoreo (que incluye la generación de informes), la auditoría y la revisión deben poder *garantizar el rendimiento hídrico* de la operación con referencia a las herramientas y procedimientos de planificación descriptos.

El sustento fundamental para tal seguridad es proporcionado por el monitoreo físico del sistema de agua en el sitio y fuera de él. Esta sección se enfoca en este aspecto.

5.4. Monitoreo del sistema físico

Los objetivos principales del monitoreo del agua son informar y optimizar el desempeño operativo, minimizar los impactos sobre el ambiente, los recursos hídricos o la comunidad y, lo que es más importante, *abordar los requisitos regulatorios*.

Esto se logra al monitorear un rango de condiciones hidrológicas, como la calidad del agua en el sitio, el nivel y la cantidad de agua superficial y subterránea, y las condiciones indirectas como polvo, presión de poro en laderas y condiciones ecológicas y de salud. Las redes e

instalaciones de monitoreo apropiadas para abordar estos requisitos básicos varían de un sitio a otro y, potencialmente, entre diferentes estados. Para lograr el mejor resultado del monitoreo, los procesos de mantenimiento y mejora deben revisarse y actualizarse periódicamente de modo de pueda garantizarse una aplicación adecuada y eliminarse la redundancia. El grado de monitoreo necesario para apoyar el desarrollo y la operación de la mina varía según la regulación estatal.

5.4.1. Características esenciales de la práctica líder

Para realizar el monitoreo del sistema físico, una práctica líder debe considerar los aspectos que se enumeran a continuación.

- Definir un alcance del monitoreo del agua para el proyecto o la operación minera que refleje el rango de parámetros de riesgo y condiciones e informe efectivamente la decisión empresarial y los procesos de mejora.
- Informar el desempeño ambiental y social a través de metas y umbrales establecidos en el monitoreo continuo.
- Abordar la incertidumbre técnica, apoyar los controles preventivos y de mitigación, y facilitar la aplicación de técnicas de manejo adaptativo.
- Invertir en sistemas factibles y prácticos con capacidad de alerta temprana que incluyan cargas de datos en línea en tiempo real y sistemas de muestreo integrados en el tiempo.
- Ampliar la captura y el monitoreo de datos para incluir el rendimiento de la infraestructura, las fallas y las frecuencias de mantenimiento.
- Administrar metadatos (como cambios en los parámetros a medida que la mina se desarrolla) y almacenar conjuntos de datos que ya no están activos (como perforaciones de exploración o perforaciones que han sido enterradas bajo muros de diques).
- Aplicar control de calidad adecuado y auditar todos los procedimientos.
- Desarrollar valores de activación de la calidad del agua de la guía específica del sitio.

5.4.2. Monitoreo del agua en el sitio y en la cuenca

Los objetivos del programa de monitoreo deben ser conscientes de la escala, como las actividades *in situ* y externas, necesarias para administrar los riesgos directos e indirectos. Los programas de monitoreo pueden cumplir múltiples objetivos para la gestión de la producción y el cumplimiento ambiental (calidad del agua corriente, calidad del agua subterránea), y cualquier modificación de uno debe tener en cuenta el objetivo del otro.

La *coordinación de los objetivos de monitoreo* a través de un comité central de gestión del agua minimiza la duplicación y optimiza el resultado. Los problemas *in situ* se relacionan en gran medida con las actividades relacionadas con el agua, como flujos de entrada y salida y flujos de salida de la operación.

El plan de gestión del agua debe ser el punto de referencia para delinear y especificar los requisitos para el monitoreo *in situ* y demostrar los vínculos con el monitoreo regional o de escala de cuenca.

Las prioridades para medir deben considerar ubicaciones donde:

- haya grandes flujos de agua;
- la calidad del agua se altere significativamente;
- una tarea operacional sea sensible a los cambios en calidad, flujo y nivel;

- exista un riesgo para la seguridad o la salud humana o del ecosistema;
- exista un riesgo de movimiento de contaminantes fuera del sitio (como un pozo de agua subterránea con pendiente descendente).

Los requisitos generales son garantizar que haya suficiente agua para las operaciones y eliminar las restricciones operativas (como desagüe o entrada de agua), al tiempo que se minimiza la probabilidad de descarga no regulada o de extracción excesiva. Una evaluación minuciosa del riesgo del sitio sobre esta base destacará las **áreas prioritarias para el monitoreo** e indicará *qué se debe medir y con qué frecuencia*.

El monitoreo en el sitio debe proporcionar retroalimentación, en algunos casos en tiempo real, para ayudar a los operadores a tomar decisiones oportunas y efectivas sobre la gestión del agua. Esto puede requerir que se establezcan **umbrales** para indicadores fisicoquímicos clave para cada área en el sitio, en función de las tareas probables a las que se destinará el agua (en otras palabras, sus categorías de uso). Por ejemplo, deben determinarse los umbrales para las concentraciones aceptables en el agua para la liberación y los usos operacionales, y las respuestas apropiadas (como la reducción o la terminación del flujo de descarga) deben vincularse a esos umbrales. El monitoreo en tiempo real del rendimiento de las bombas y de las condiciones de la tubería asegura que los problemas emergentes y los requisitos de mantenimiento se puedan identificar y rectificar sin interrupción para el suministro operacional de agua de la mina.

Allí donde es probable que las actividades mineras afecten las aguas subterráneas, como rocas cercanas y embalses de relaves, son deseables los pozos de monitoreo para detectar contaminación potencial que podría comprometer su uso posterior (por ejemplo, para el *stock*), si esas aguas alimentaran las superficiales. Estos se conocen como **instalaciones de monitoreo de alerta temprana**. La gestión para minimizar dichos impactos podría ser necesaria, incluido el uso de perforaciones de recuperación o inyección para el tratamiento o la reutilización del agua. Por lo tanto, se necesita un monitoreo de mitigación para medir este desempeño y cumplimiento de la administración.

Los datos de monitoreo son un insumo para el desarrollo y la mejora de modelos numéricos, que pueden predecir el rango probable de cambios asociados con la actividad *in situ* o con la acción correctiva. También pueden usarse como un producto operacional para el desarrollo de un modelo conceptual mucho antes de que haya suficientes datos para uno numérico.

El uso de las instalaciones de monitoreo –con una ubicación optimizada– puede determinar, a partir de la ejecución de escenarios predictivos con modelos numéricos, la identificación de las incertidumbres clave.

Donde corresponda, el monitoreo compartido puede reducir costos. Además, le permite a la empresa minera obtener beneficios con el compromiso de la comunidad. Cuando existen múltiples operadores de minería dentro de una cuenca, un sistema de monitoreo que aborde los posibles efectos acumulativos e impactos es ideal, aunque no siempre viable.

La recopilación, el almacenamiento, el uso y el intercambio de datos pueden necesitar ser gestionados a través de marcos de trabajo y acuerdos sólidos de gobernanza, para proporcionar transparencia y/o proteger la información sensible desde el punto de vista comercial.

5.4.3. Calidad del agua y monitoreo ambiental

Las pautas más estrictas de calidad del agua que normalmente se aplican son las que se refieren a la protección de los ecosistemas acuáticos, a diferencia de las de otros ámbitos, como el agua recreativa o la de uso agrícola.

Los valores de referencia que se aplican en una situación determinada dependen de si las aguas receptoras tienen un alto valor de conservación (99% de protección del ecosistema), si están leve o moderadamente perturbadas (95% de protección del ecosistema) o si están altamente perturbadas (80% o menos de protección del ecosistema). El nivel de protección se determina en consulta con el regulador y otras partes interesadas.

Los valores de activación de la guía *no son límites de concentración*, más bien son valores que, de excederse, desencadenan una investigación más profunda para determinar cualquier posible impacto. Por lo general, esto implica mirar otras líneas de evidencia (**pruebas de toxicidad**), en lugar de mediciones químicas. Los principales operadores monitorean rutinariamente la calidad del agua en el sitio y de las que reciben sus descargas o escorrentías, tanto aguas arriba como aguas abajo de sus operaciones, así como en aguas cercanas a las cuencas de referencia o sitios de fondo para asegurar que cualquier cambio en la salud del ecosistema puede interpretarse en términos de eventos naturales (tormentas, sequías, cambio climático), en lugar de suponer que solo la calidad del agua de descarga es importante.

Las mejores operaciones cooperan con los vecinos para recopilar datos regionales de referencia sobre la calidad del agua. Esto puede ser particularmente útil en áreas semiáridas o áreas donde los flujos de agua ocurren con poca frecuencia en los sitios de referencia.

El monitoreo va más allá del cumplimiento de las condiciones y pautas de las regulaciones. Implica comprender la naturaleza y sensibilidad relevantes de los sistemas receptores, así como los procesos mediante los cuales se puede adecuar la calidad del agua, de modo que se puedan seleccionar los parámetros y valores de activación apropiados y sensibles para permitir la detección de tendencias subyacentes antes de que ocurran los impactos.

.....
El monitoreo que es capaz de detectar cambios solo después de que
ha ocurrido un impacto no se puede usar en la administración de siste-
mas para prevenir impactos y minimizar responsabilidades.
.....

Una idea errónea común es que el monitoreo del cumplimiento es suficiente para administrar las descargas. El monitoreo de contaminantes químicos y parámetros fisicoquímicos es típico, pero a menudo es insuficiente. Los valores de activación de la guía para los contaminantes dependen de la biodisponibilidad de estos, la cual generalmente no se mide de forma explícita.

Las mediciones de concentraciones de contaminantes totales o totales disueltos pueden sobreestimar de manera sustancial la fracción biodisponible. Si bien el monitoreo químico es comúnmente la mejor herramienta de alerta temprana, debe integrarse con el **monitoreo biológico**, probando tanto los impactos en los organismos indicadores sensibles (pruebas de toxicidad) como los efectos sobre las comunidades biológicas (**monitoreo ecológico**).

El uso de los datos para informar adecuadamente a la gerencia de los cambios inesperados en la calidad requiere sistemas apropiados para su análisis, tanto para revelar tendencias

como para desencadenar acciones si se excede el umbral acordado o las concentraciones límite permitidas.

La práctica líder requiere un programa de monitoreo con una capacidad de detección temprana que desencadene una acción de gestión en respuesta a una tendencia identificada fuera de la línea de base, o bien cuando se alcance un umbral acordado o un nivel de investigación desencadenante.

Los factores desencadenantes deben ser **conservadores o preventivos**, de modo que se encuentren dentro de los rangos de referencia naturales o por debajo de los valores a los que se producirán daños ecológicos inaceptables. La garantía de calidad y el control de calidad (QA / QC) apropiados son esenciales tanto en el muestreo como en el análisis.

Idealmente, los análisis químicos para contaminantes clave deben ser realizados por un laboratorio acreditado. Aunque es probable que esto exceda las capacidades del personal de la mayoría de las operaciones mineras, algunos laboratorios comerciales de pruebas de ecotoxicología pueden medir la toxicidad de los efluentes de las minas utilizando un conjunto de organismos de prueba, y algunos consultores biológicos pueden proporcionar evaluaciones locales con las herramientas apropiadas.

El programa de monitoreo debe ser adaptativo e incluir procesos de **revisión y mejora continua** a medida que aumenta el conocimiento y la comprensión. Debe considerarse tanto una evaluación de riesgos ecológicos de los impactos de la operación como una evaluación del desempeño ambiental interno.

5.5. Evaluación de rendimiento e informes

El rendimiento se evalúa comparando los datos del sitio –de monitoreo, de modelado o ambos–, con los objetivos de agua del sitio incluidos en el plan de gestión del agua.

Al informar los objetivos, es importante que los motivos para cumplirlos, o no, se consideren como parte integral de la presentación de informes. Los objetivos debieran escribirse de forma tal que los informes sean claros y simples. Por ejemplo, el objetivo podría incluir cómo se medirá y qué valores se deben alcanzar en qué fechas.

El análisis e informe de datos es un proceso continuo e incluye indicaciones para cumplir con las obligaciones internas y externas.

Los **informes internos** evalúan el rendimiento de los sistemas de gestión y la necesidad de modificaciones. Los **informes externos**, en cambio, evalúan a las partes interesadas –incluidos los reguladores–, demuestran el impacto de la operación en el entorno receptor o el cumplimiento de las condiciones de la licencia social y la regulatoria.

Al menos una vez al año, el sistema de monitoreo e informe de la gestión del agua debe revisarse a través del análisis de datos, incidentes o problemas para determinar si está funcionando efectivamente y si los procedimientos y los programas de control son adecuados.

5.6. Revisión de cuentas - auditorías

La auditoría interna y externa se realizan para diferentes propósitos.

- La **auditoría interna** es esencial para determinar si los riesgos están controlados, si los sistemas de monitoreo e información funcionan según el diseño y si se logran los objetivos comerciales.
- La **auditoría externa** es para demostrar que se cumplen las condiciones de la licencia regulatoria o las expectativas de las comunidades de interés.

Tanto la auditoría interna como la externa deben evaluar el cumplimiento apropiado del sistema de gestión, la regulación, los procedimientos, etc.; la capacitación y la capacidad del personal de monitoreo y operativo, y la utilidad y confiabilidad de cualquier conclusión extraída de los datos en relación con la identificación de tendencias, causas e impactos.

La auditoría también debe evaluar la seguridad de todas las operaciones de campo y laboratorio.

Las auditorías internas suelen ser más frecuentes que las externas, pero su alcance depende de la magnitud y la gravedad de los riesgos, los objetivos de monitoreo y la estructura general del gerenciamiento de la compañía minera.

Los riesgos hídricos significativos pueden estar sujetos a un proceso de auditoría más formal que evalúe el progreso efectivo de las acciones para enfrentarlos, más allá de las acciones que ya hayan sido ejecutadas y controladas por los dueños de la operación.

El monitoreo de la calidad del agua debe ser parte de un sistema general de gestión ambiental que cuente con un control y una auditoría adecuados, consistentes con **ISO 14000**, la familia de estándares de la Organización Internacional de Estándares para la gestión ambiental. Para ISO 14000 se requiere un sistema interno que asegure que se realice la auditoría externa.

Una herramienta fundamental es un *registro de riesgos del sitio actualizado*, junto con un plan de acción o plan de implementación complementario, que incluye responsabilidades, costos, tiempos y detalles de la capacitación del personal. Esta herramienta está diseñada para minimizar los riesgos y ser un plan para la mejora continua.

GLOSARIO TÉCNICO

ACUÍFERO. Cuerpo formado por una roca saturada de agua y lo suficientemente permeable como para conducir agua subterránea y proporcionar caudales económicamente significativos.

ACUÍFERO ARTESIANO. Acuífero confinado que contiene agua subterránea sometida a una presión lo suficientemente alta como para provocar la descarga por pozos o manantiales (es un término que tiende a quedar obsoleto; se recomienda usar *surgente*).

ACUÍFERO CONFINADO. Acuífero que se encuentra limitado superior e inferiormente por capas impermeables, o por capas con una permeabilidad mucho menor que la del acuífero; contiene agua que está sometida a una presión mayor que la atmosférica.

ACUÍFERO DETRÍTICO. Acuífero en el que el agua circula a través de los poros (huecos) que existen entre los granos de un volumen de arena y grava. Este tipo de acuífero es característico en zonas cercanas a montañas compuestas por granitos y rocas similares.

ACUÍFERO NO CONFINADO. Acuífero que contiene agua subterránea no confinada (*agua freática*). Se denomina también *acuífero freático* o *acuífero libre*. En ellos existe una superficie libre del agua que está en contacto directo con el aire y, por lo tanto, se encuentra a presión atmosférica.

ACUÍFERO SEMICAUTIVO. Acuífero que tiene por encima y/o por debajo una capa semipermeable (*acuitardo*) a través de la cual sale o entra agua de forma difusa. También se lo llama *acuífero semiconfinado*.

ACUÍFERO SURGENTE. Designación más reciente para *acuífero artesiano*.

ACUÍFUGO. Formación geológica que se caracteriza por ser impermeable y, por lo tanto, es incapaz de absorber o transmitir agua.

ACUITARDO. Formación geológica semipermeable que, conteniendo apreciables cantidades de agua, la transmiten muy lentamente, por lo que no es apta para el emplazamiento de captaciones de aguas subterráneas. Sin embargo, bajo condiciones especiales, permite una recarga vertical de otros acuíferos. Retarda, pero no impide el flujo (goteo) de agua desde acuíferos verticalmente adyacentes.

No proporciona caudales de agua subterránea significativos directamente a los pozos o manantiales, pero puede servir como una unidad de almacenamiento del agua subterránea. También se llama *nivel semipermeable* y produce un semi confinamiento.

AFLUENTE O TRIBUTARIO. Curso de agua que fluye hacia un río de mayor magnitud o hacia un lago o embalse.

ARI. Intervalos de recurrencia promedio. De sus siglas en inglés *Average Recurrence Interval*.

AGUA ARTESIANA. En el sentido tradicional, es el agua subterránea con un nivel piezométrico lo suficientemente grande como para que fluya naturalmente por los pozos o manantiales. Es más recomendable hablar de *agua surgente*.

AGUA CAPILAR. Fracción del agua que ocupa los microporos en el suelo. Se mantiene en el suelo gracias a las fuerzas derivadas de la tensión superficial del agua. Esta fracción es utilizable por las plantas, y constituye la reserva hídrica del suelo.

AGUA CONGÉNITA. Agua que queda atrapada entre los intersticios de una roca sedimentaria durante su formación y que ha permanecido aislada de la atmósfera desde entonces.

AGUA DULCE. Agua natural que contiene una concentración de sal < 1g/L.

AGUA FREÁTICA. Término que originalmente se aplicaba solo al agua superior de la zona de saturación bajo condiciones freáticas, pero ha pasado a aplicarse a toda el agua que se halla en la zona de saturación no confinada. En su límite superior se encuentra a presión atmosférica.

AGUA GRAVITACIONAL. Agua de la zona no saturada que se mueve bajo la influencia de la gravedad. También se llama *agua drenable por gravedad*. Ocupa los macro poros del suelo, saturándolos o no. Puede temporalmente ser utilizada por las plantas mientras se encuentre en el estrato reticular de estas.

AGUA HIGROSCÓPICA. Fracción de agua absorbida directamente de la humedad del aire. El poder de succión de las raíces no tiene la fuerza suficiente para extraer esta película de agua del terreno. En otras palabras, esta porción del agua en el suelo no es utilizable por las plantas.

AGUA MAGMÁTICA. Agua que se extrae desde grandes profundidades hasta la superficie del terreno e incorporada al movimiento vertical de las rocas ígneas.

AGUA MODERNA. Agua subterránea que se ha recargado mayoritariamente después de 1960, y que se caracteriza por tener actividades altas de tritio y radiocarbono producidos por las bombas nucleares.

AGUA SALADA. Agua con una concentración de sal superior a los 10 g/L.

AGUA SALOBRE. Agua subterránea que contiene una concentración total de sal de 1 a 10 g/L.

AGUA SURGENTE. Agua subterránea con un nivel piezométrico lo suficientemente alto como para que fluya naturalmente por pozos o manantiales.

AGUA VADOSA. Agua que se encuentra en la zona no saturada.

AGUAS ABAJO. Con relación a una sección de un curso de agua, se dice que un punto está aguas abajo si se sitúa después de la sección considerada, avanzando en el sentido de la corriente. También se utiliza la expresión *río abajo* o el término *ayuso* con el mismo significado.

AGUAS ARRIBA. Con relación a una sección de un curso de agua, se dice que un punto está aguas arriba si se sitúa antes de la sección considerada, avanzando en sentido contrario al de la corriente. También se utiliza la expresión *río arriba* o el término *asuso* con el mismo significado.

AGUAS SUPERFICIALES. Suma de los recursos de aguas superficiales renovables internas, de un país o región, y el total de los recursos de aguas subterráneas renovables externas naturales, que entran al área considerada. Agua que se halla en la litosfera en estado sólido, líquido o gaseoso. Incluye el agua que se encuentra por debajo de la superficie y de los reservorios de agua superficial.

AGUAS SUBTERRÁNEAS. Suma de los recursos de aguas subterráneas renovables internas y el total de los recursos de aguas subterráneas renovables externas naturales. El agua subsuperficial que se encuentra en la zona de saturación incluye cursos de agua subterráneos. El agua subsuperficial (excluyendo el agua de constitución) es distinta del agua superficial.

AGUAS SUBTERRÁNEAS CONFINADAS. Aguas subterráneas sometidas en un límite superior a una presión mayor que la atmosférica. Si se excava un pozo en el acuífero, el nivel del agua asciende por encima del límite superior hasta

igualar la presión atmosférica. Esta diferencia de altura corresponde a la diferencia de presión entre el punto en el que se ha excavado el pozo y la presión atmosférica.

AGUAS SUBTERRÁNEAS NO CONFINADAS. Véase AGUA FREÁTICA.

AGUAS SUBTERRÁNEAS FÓSILES. Acuíferos profundos con una tasa muy baja de renovación (menos del 1 % anual), por lo que se consideran no renovables o fósiles. Se expresan en volumen (o existencias). Son aguas recargadas durante un período geológico antiguo y que ya no intervienen en el ciclo hidrológico activo actual.

ALÓCTONO. Que no es originario del lugar donde se encuentra. En geología, se denomina *material alóctono* a aquel originado en un lugar distinto al de su yacimiento primitivo y transportado por algún agente geológico, particularmente minerales disueltos o en suspensión y materia orgánica transportada en aguas corrientes, lagos y embalses.

ÁREA DE CAPTACIÓN. Área que se encuentra entre la zona donde se produce la recarga de un acuífero y el lugar de descarga.

ASR. Del inglés *Aquifer Storage Recovery*, “almacenamiento en acuífero con recuperación”. Procedimiento por el cual se inyecta un determinado volumen de agua en el acuífero a través de un sondeo, con la intención de recuperarlo en el futuro, utilizando el mismo sondeo.

ASTR. Del inglés *Aquifer Storage Transfer and Recovery*, “almacenamiento en acuífero, transferencia y recuperación”. El agua inyectada se recupera a través de otro sondeo distinto situado a varios kilómetros.

AUTÓCTONO. Que es originario del lugar donde se encuentra. En geología, un *material autóctono* es aquel que se origina dentro del propio sistema.

CAUDAL. Volumen de agua que pasa por una determinada sección transversal en la unidad de tiempo; generalmente se expresan en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

CAUDAL MÁXIMO INSTANTÁNEO. Para la determinación del caudal máximo instantáneo (q_{max}) ocurrido en una sección de control, en un lapso determinado, generalmente durante el transcurso del pasaje de una onda de avenida, debe disponerse de un instrumento registrador. Se expresan en m^3/s y se le asocia la fecha en que se ha registrado. Es un parámetro importante para determinar la capacidad de escurrimiento en obras hidráulicas que no deben ser sobrepasadas, dado que acarrearía daños impor-

tantes. Cuando se cuenta con registros plurianuales de caudales, se suele definir una serie de caudales máximos instantáneos para cada año; de esta forma se pueden desarrollar estudios estadísticos y asociar dichos caudales a tiempos de retorno.

CAUDAL HORARIO. Caudal medio en el lapso de una hora (Qh). Para su determinación se debe contar, en la sección de control, con un instrumento registrador.

CAUDAL FIRME. Caudal que se puede disponer en un curso de agua incluso al término de la estación seca más crítica, en un período de observación largo. Si existe un embalse aguas arriba de la sección del curso de agua que se está analizando, el caudal firme, en proximidad de la presa, es equivalente al caudal regularizado por el embalse menos la suma de los caudales que se derivan del embalse para los diversos usos. También llamado *caudal seguro*.

CICLO HIDROLÓGICO. Sucesión de pasos durante los cuales el agua pasa de la atmósfera al terreno y vuelve a la atmósfera. Incluye la evaporación desde el suelo o del mar o del agua continental, la condensación para formar las nubes, la precipitación, a acumulación en el terreno o en los embalses de agua y la re-evaporación.

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO. Volumen de agua que libera o toma un acuífero por unidad de superficie y por unidad de variación del nivel piezométrico. Este coeficiente (S) puede definirse como la cantidad de agua que cede un prisma de acuífero de base cuadrada unitaria cuando se le deprime la unidad. Este valor puede ser representado en porcentaje y coincide con la porosidad eficaz.

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD. Véase CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (K).

CONDICIONES DE CONTORNO. Conjunto de condiciones que debe satisfacer la solución de una ecuación diferencial en los límites o contornos (incluyendo el contorno del fluido) en la región de interés.

CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (K). Coeficiente de proporcionalidad que describe la velocidad a la que el agua se mueve a través del medio permeable. Depende de la densidad y de la viscosidad del fluido. Posee dimensiones de velocidad. Con frecuencia se denomina *permeabilidad*.

CONO DE BOMBEO. Depresión, en forma de cono invertido de la superficie piezométrica, en el que el nivel piezométrico en el acuífero desciende a causa de la extracción por bombeo. Define el área de influencia del pozo. Se llama también *cono de depresión*.

CONTENIDO DE AGUA. Se expresa mediante el cociente de la masa de agua respecto de la masa total o de la masa del sólido, o como el cociente del volumen de agua respecto el volumen total de la muestra. También se llama *humedad del terreno*.

COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO. Relación entre el volumen de agua que se precipita sobre una superficie determinada y el volumen de agua que escurre de la misma superficie. En una superficie totalmente impermeable, como un estacionamiento asfaltado, el coeficiente es casi igual a 1,0 ya que solo dejará de escurrir el agua que se evapora. La tasa de escurrimiento no es constante en el tiempo.

CUENCA ALTA. Parte de la cuenca hidrográfica en la cual predomina el fenómeno de la socavación, es decir que hay aporte de material sólido hacia las partes bajas de la cuenca. Se evidencian claramente trazas de erosión.

CUENCA MEDIA. Parte de la cuenca hidrográfica en la cual hay un equilibrio entre el material sólido que llega traído por la corriente y el material que sale. No hay erosión visible.

CUENCA BAJA. Parte de la cuenca hidrográfica en la cual se deposita el material socavado de la parte alta.

CUENCA EXORREICA. Cuenca que drena sus aguas al mar o al océano. Un ejemplo es la cuenca del Plata, en Sudamérica.

CUENCA ENDORREICA. Cuenca que desemboca en lagos, lagunas o salares que no tienen salida al mar. Por ejemplo, la cuenca del río Desaguadero, en Bolivia.

CUENCA ARREICA. Las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje. Los arroyos, aguadas y cañadones de la meseta central patagónica pertenecen a este tipo, ya que no desaguan en ningún río u otro cuerpo hidrográfico de importancia.

CURVA COTA-CAUDAL. En una sección de aforo, o sección de control de caudales, es la curva que establece la relación entre el tirante de agua o cota (del agua) con el caudal líquido en la misma sección. La determinación de la curva se efectúa midiendo velocidades del flujo, en forma directa, para diversos tirantes de agua.

CURVA COTA-SUPERFICIE. En la curva cota-superficie de una cuenca hidrográfica, en el eje de las abscisas (x) se representa la cota, y en las ordenadas (y), la superficie de la cuenca, generalmente en kilómetros cuadrados (km²). Esta curva, asociada con la precipitación media en la cuenca, da indicios de la producción hídrica para ser potencialmente

utilizada. En la curva cota-superficie de un lago, en el eje de las abscisas (x) se representa la cota, y en las ordenadas (y), la superficie del lago, generalmente en km². Esta curva tiene múltiples usos tanto en la fase de planificación de un proyecto de embalse (al permitir estimar, para cada cota de coronamiento de la presa el área a ser expropiada), como para la fase de operación (poder estimar las pérdidas del embalse por evaporación).

CURVA COTA-VOLUMEN. En la curva cota-volumen de un embalse, en el eje de las abscisas (x) se representa la cota, y en las ordenadas (y), el volumen del embalse hasta dicha cota.

DESCENSO. Disminución del nivel del agua que tiene lugar en un pozo debido a la extracción de agua.

DIFUSIÓN. Proceso de dispersión de un soluto como resultado de la agitación térmica de sus moléculas.

DIVISORIA DEL AGUA SUBTERRÁNEA. Línea del nivel freático o de la superficie piezométrica a partir de la cual el flujo de agua subterránea diverge.

DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE LA CUENCA. Volumen total de agua ya precipitada sobre la cuenca hidrográfica que, en un futuro más o menos próximo, estará disponible en un punto determinado de aquella para ser utilizado.

EDAD APARENTE. Edad del agua subterránea que se determina mediante cualquier método, sin considerar todas las correcciones e hipótesis necesarias.

EDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA. Tiempo medio que transcurre entre su infiltración o recarga y su muestreo o descarga al exterior.

ENSAYO DE BOMBEO. Ensayo realizado por medio de un pozo de bombeo durante un período de tiempo, a lo largo del cual se observa el cambio del nivel piezométrico en el acuífero. Se utiliza para determinar la productividad del pozo y las propiedades hidráulicas del acuífero.

ESCORRENTÍA. Volumen o caudal total de agua que fluye a los ríos. Incluye los flujos o escorrentías superficial, de retorno, subsuperficial y de base.

ESCORRENTÍA DIRECTA O SUPERFICIAL. Caudal de agua por la superficie del terreno y que puntualmente forma arroyos. Cuando no se puede separar el flujo superficial para hacer el análisis hidrológico, se incluyen los flujos subsuperficiales. La escorrentía superficial directa alcanza la salida de la cuenca poco después de que la lluvia comience.

Su volumen es igual al exceso de lluvia. Algunos de los métodos que se utilizan para su obtención incluyen la escorrentía subsuperficial puntual pero no el flujo de base.

EVAPORACIÓN POTENCIAL. Tasa de agua que podría ser emitida por una superficie de agua libre en las condiciones existentes.

FLUJO. Movimiento del agua. Con frecuencia es sinónimo de caudal y de escorrentía.

FLUJO DE BASE. Caudal que se observa en un curso de agua al final de un período de estiaje. Está constituido por el aporte de las aguas subterráneas a la red de drenaje natural. Es la diferencia entre el caudal total y la escorrentía directa, la parte del caudal que entra en el cauce de un curso de agua desde los acuíferos. Esta es la escorrentía que se observa durante largos períodos en los que ni llueve ni tiene lugar fusión de hielo.

FLUJO DE RETORNO. Flujo de agua que vuelve al cauce fluvial o al agua subterránea después de ser utilizada.

FLUJO SUBSUPERFICIAL. Parte de la precipitación que no pasa al nivel freático y que se descarga desde la zona no saturada por medio de un drenaje lateral, durante e inmediatamente después de la lluvia. El agua subsuperficial se descarga directamente a los cauces fluviales o a los lagos.

FRANJA CAPILAR. Zona que se halla inmediatamente por encima del nivel freático, donde está el agua que se eleva por tensión capilar.

HIDROLOGÍA APLICADA. Rama de la hidrología que trata de la aplicación, el desarrollo y la gestión de los recursos hídricos.

HIDROSFERA. Parte de la esfera terrestre constituida por toda el agua del planeta, en cualquiera de sus tres estados.

HIETOGRAMA. Del griego *hietos*, lluvia. Gráfico que expresa la variación de la precipitación en función del tiempo. En ordenadas puede aparecer tanto la precipitación caída en milímetros (mm), o bien la intensidad de precipitación en milímetros por hora (mm/h).

HISTOGRAMA. Polígono que recibe una clase de gráfico creado a partir de una frecuencia determinada. Emplea columnas verticales para reflejar frecuencias. El polígono de frecuencia es realizado uniendo los puntos de mayor altura de estas columnas. Proporciona un panorama general de la distribución de la muestra respecto de la variable que se estudia, que es cuantitativa y continua

ÍNDICE DE BIENESTAR HÍDRICO (IBH). El IBH resulta de la relación entre la transpiración vegetal real (estimada por el modelo de balance hídrico nacional) y la demanda potencial diaria (ETR/ETP). Valores cercanos al 100% indican que la vegetación se encuentra en valores de transpiración cercanos a la demanda potencial. Por el contrario, valores de IBH cercanos al 0% indican que la vegetación tiene valores de transpiración muy por debajo de la demanda potencial, lo cual es síntoma de que, climatológicamente, se encuentra bajo estrés hídrico.

ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA (IVDN). También conocido como NDVI por sus siglas en inglés, es una variable que permite estimar el desarrollo de la vegetación sobre la base de la medición, con sensores remotos satelitales, de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que aquella emite o refleja. Este es el resultado de la interpretación de las imágenes producidas a partir de información captada por el satélite NOAA-AVHRR. Los valores de IVDN oscilan entre -1 y 1.

El índice permite identificar la presencia de vegetación verde en la superficie y caracterizar su distribución espacial, así como la evolución de su estado a lo largo del tiempo. Como referencia: el agua presenta valores negativos de IVDN. El suelo descubierto y con vegetación rala, seca, o bajo estrés, presenta valores positivos, aunque no muy elevados (0,2 a 0,45). La vegetación densa, húmeda, sana o bien desarrollada presenta los mayores valores de IVDN (mayores a 0,5).

INTENSIDAD DE LA PRECIPITACIÓN. Cantidad de agua caída por unidad de tiempo. Generalmente se expresa en milímetros por hora (mm/h).

LECHO FLUVIAL. Parte de un valle por donde discurren las aguas en su curso: es el confín físico normal de un flujo de agua.

LECHO MAYOR. Llanura de inundación que contiene el lecho menor o permanente. Solo es invadido por el curso de las crecidas y, en general, durante la estación anual, cuando el caudal aumenta. Su periodo depende—por su duración y por la época del año en que se sitúa— del régimen propio de cada río.

MANANTIAL. Fuente natural de agua que brota del subsuelo, concentrada en un punto o a lo largo de una línea.

MANANTIAL INTERMITENTE. Manantial que descarga durante determinados periodos y queda seco en otros.

MARGEN DERECHA. Si nos imaginamos parados en el medio del río, mirando aguas abajo, es la orilla que se encuentra a nuestra derecha.

MARGEN IZQUIERDA. Si nos imaginamos parados en el medio del río, mirando aguas abajo, es la orilla que se encuentra a nuestra izquierda.

MÁXIMO PELO DE AGUA. Nivel más alto alcanzado por un cuerpo de agua que se mantiene por un período de tiempo suficiente como para dejar evidencia en el paisaje.

MINERÍA DEL AGUA SUBTERRÁNEA. Extracción de agua de un acuífero que contiene agua subterránea fósil, o que se realiza a un caudal claramente superior al de recarga.

MODELO CONCEPTUAL HIDROLÓGICO. Representación matemática simplificada de algunos o de todos los procesos del ciclo hidrológico, a partir de una serie de conceptos relacionados con una secuencia espaciotemporal que se corresponde con la que se da en la naturaleza. Se utiliza para simular el comportamiento de una cuenca o de un acuífero.

NIVEL DE CONFINAMIENTO. Superficie superior del agua subterránea sometida a una presión mayor que la atmosférica. Coincide con la superficie superior de un acuífero confinado. Si se excava un pozo, el nivel del agua asciende hasta alcanzar la superficie piezométrica.

NIVEL DEL AGUA SUBTERRÁNEA. Altura, en un determinado punto y para un tiempo en concreto, del nivel freático o de la superficie piezométrica de un acuífero. Puede variar con la profundidad.

NIVEL FREÁTICO O LIBRE. Nivel de agua subterránea de un acuífero no confinado, donde la presión es igual a la atmosférica.

NIVEL PIEZOMÉTRICO. Nivel al que asciende el agua de un determinado acuífero cuando se mide con un piezómetro. Es la suma de los términos de energía potencial y de presión, expresados en unidades de longitud.

PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA. Promedio de todas las pendientes de la cuenca acorde a su superficie.

PERÍODO DE AGUAS ALTAS. Período del año en que los caudales de un río o arroyo son más altos que la media, también conocido como *período de llena*.

PERÍODO DE AGUAS BAJAS. Período del año en que los caudales de un río o arroyo son los mínimos, también conocido como *período de bajante*.

PERMEABILIDAD. Propiedad o capacidad de una roca porosa, sedimento o terreno para transmitir un fluido. Es una medida de la facilidad relativa del flujo bajo un gradiente piezométrico. Las expresiones "permeable" e "impermeable" tienen un significado relativo. Cuando se tiene una capa con una misma permeabilidad entre capas de permeabilidad menor, esta puede actuar como un acuífero, mientras que si las capas son más permeables puede actuar como acuitardo. El término permeabilidad se emplea coloquialmente como sinónimo de *conductividad hidráulica* y se representa generalmente con la letra "K" en las fórmulas.

PIEZÓMETRO. Tubo sellado longitudinalmente, abierto por su parte inferior de modo que pueda intercambiar agua con el acuífero, y abierto a la atmósfera por su parte superior. Se usa para medir el nivel piezométrico en un punto del acuífero.

PLANICIE DE INUNDACIÓN ACTIVA. Zona plana adyacente al río e inundada cada dos años, o menos.

PLAYA. En hidrogeología, llanura lacustre que se encuentra en las regiones áridas o desérticas en la parte más baja de un valle cerrado, cuyo drenaje es endorreico. El lago está normalmente seco, excepto después de las tormentas intensas, en las que se acumula una capa delgada de agua que rápidamente desaparece por evaporación y/o infiltración.

PORCENTAJE DE AGUA DISPONIBLE (PAD). El porcentaje de agua disponible en el suelo se define como $(ADI / CC) * 100$, donde ADI es la cantidad de agua en el suelo y CC, la capacidad de campo de ese suelo. En términos muy generales, se consideran umbrales críticos de porcentaje de agua en el suelo valores por debajo del 40-50% en cultivos extensivos, y valores por debajo del 30 - 40% en pasturas sembradas.

POROSIDAD. Cociente del volumen de poros y fisuras del suelo respecto del volumen total de una porción de terreno.

POROSIDAD EFECTIVA. Porcentaje de los poros que están conectados entre sí. Este parámetro se relaciona con el agua que drena gravitacionalmente o bajo la influencia de una fuerza centrífuga. Es la fracción del volumen total de una masa de un sólido o de una roca determinada que son intersticios interconectados, a través de los cuales se mueven el agua u otros fluidos. Se llama también *porosidad cinemática*.

POROSIDAD PRIMARIA. Porosidad que tiene una roca como consecuencia de los procesos que dan lugar a su formación.

POROSIDAD SECUNDARIA. Porosidad que se desarrolla en una roca después de que se produce su deposición o emplazamiento por medio de procesos tales como la disolución o la fracturación.

POROSIDAD TOTAL. Porosidad que considera el total de huecos existentes, estén estos rellenos de líquido o de gas. Este parámetro puede variar en caso de retracción o expansión de la matriz sólida (arcillas, yeso).

PRECIPITACIÓN MÁXIMA PROBABLE (PMP). La mayor cantidad de precipitación meteorológicamente posible, para una determinada duración, en un área afectada por un temporal y en una época del año determinada, sin tener en cuenta las tendencias climáticas a largo plazo.

POZO. Excavación o perforación en el terreno que alcanza a las aguas subterráneas. Las perforaciones se designan comúnmente como *sondeo*.

POZO ARTESIANO. Pozo que intercepta un acuífero confinado en el que el nivel estático del agua se encuentra por encima de la superficie del terreno.

POZO DE OBSERVACIÓN. Pozo que se utiliza para medir el nivel estático del agua subterránea, y especialmente para observar la frecuencia y la magnitud de los cambios en los niveles o de otros parámetros físicos o químicos.

RECARGA. Entrada neta de agua en el terreno (infiltración menos evaporación menos escorrentía subsuperficial) que se transmite hasta los acuíferos. Se mide como una tasa (altura/tiempo o un caudal).

RECARGA ARTIFICIAL. Recarga de agua subterránea con un caudal superior al natural, como resultado de las actividades del hombre por medio de perforaciones, pozos excavados o la infiltración de agua a través de la superficie del terreno.

RECARGA DIRECTA O DIFUSA. Recarga que produce el agua de lluvia caída sobre la superficie del terreno. Esta recarga debe transferirse desde el suelo al nivel freático (recarga en tránsito).

RECARGA INDIRECTA O CONCENTRADA. Agua que se recarga a través de los ríos, los lagos y otros depósitos de agua superficial, o bien la que penetra por discontinuidades del terreno.

RECARGA INDUCIDA. Infiltración del agua de los ríos a causa de la extracción de agua subterránea.

RECURSOS HÍDRICOS NATURALES. Valor teórico que representa los recursos hídricos previstos en condiciones naturales, es decir, sin influencia del hombre.

RECURSOS HÍDRICOS NO RENOVABLES. Masas de aguas subterráneas (acuíferos profundos) cuya tasa de reposición es insignificante desde el punto de vista temporal de los seres humanos y que, por lo tanto, se consideran no renovables. Los recursos hídricos renovables se expresan en *caudales*, mientras que los recursos hídricos no renovables se expresan en *cantidad* (existencias). La escorrentía de los glaciares en los que el balance es negativo se considera no renovable.

RECURSOS HÍDRICOS REALES. Recursos hídricos observados en la realidad, tomando en consideración la influencia del hombre.

RECURSOS HÍDRICOS TOTALES RENOVABLES (REALES). Suma de los recursos hídricos renovables internos y los externos reales. Corresponde a la cantidad máxima teórica de agua disponible realmente cada año para un país en un momento determinado.

RÉGIMEN HIDROLÓGICO. Variaciones del estado y de las propiedades de un cuerpo de agua que se repiten con regularidad en el tiempo y en el espacio, y que consta de fases. Suele ser estacional.

RELACIÓN DE ENCAJONAMIENTO. Relaciona el ancho en la zona propensa a inundaciones (*flood prone area*) y el ancho de la sección a banca llena.

SECCIÓN DE AFORO. También denominada *sección de control* de un río, arroyo o canal, ya sea natural o preparado para tal efecto, en el cual se ha determinado la curva, cota o caudal.

SERIES TEMPORALES. Conjunto de observaciones que se realizan en tiempos sucesivos, generalmente con intervalos de tiempos constantes.

SISTEMA ACUÍFERO. Conjunto de acuíferos y acuitardos que intercambian agua entre ellos, y a los que se puede separar del resto de unidades territoriales por límites bien definidos.

SOBREEXPLOTACIÓN DE ACUÍFEROS. Extracción del agua de un acuífero en una cantidad superior a la correspondiente a su alimentación, todo ello referido a un período de tiempo suficientemente largo como para diferenciar las

consecuencias similares que tendrían períodos anómalamente secos. El efecto más inmediato de la sobreexplotación será el descenso continuado de los niveles piezométricos, que probablemente llevará al agotamiento del acuífero. Es un término con connotaciones negativas que se debiera substituir por *uso intensivo del agua subterránea*.

SONDEO. Perforación en el terreno realizada mecánicamente. Puede estar revestido para evitar el derrumbe de las paredes. También se lo designa como *pozo*.

SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA. Nivel que alcanza el agua en los piezómetros dentro del mismo acuífero. Generalmente, esta superficie no es horizontal ni plana sino curva, y refleja la distribución del potencial hidráulico.

SURGENCIA. Manantial alimentado por un acuífero confinado que descarga a través de una fisura u otra apertura.

TALWEG. Línea que une los puntos de mayor profundidad a lo largo de un curso o cauce de agua. También denominado *vaguada*.

TIEMPO DE RENOVACIÓN. Tiempo necesario para proporcionar un volumen de agua igual a la reserva total de agua en un reservorio superficial o subterráneo con el caudal medio natural de entrada o de llenado.

TIEMPO DE RESIDENCIA. Tiempo de permanencia del agua o de una sustancia en una parte del ciclo hidrológico.

TRANSMISIVIDAD. Producto de la conductividad hidráulica por el espesor del acuífero. Es función de las propiedades del líquido, el medio poroso y del espesor de dicho medio.

TRIBUTARIO O AFLUENTE. Curso de agua que fluye hacia un río de mayor magnitud o hacia un lago o embalse.

USO CONSUNTIVO DEL AGUA. Uso del agua que no se devuelve en forma inmediata al ciclo hidrológico, como se da en el caso del riego. En oposición, la generación de energía eléctrica mediante el turbinado del agua de un río, si la descarga es en el mismo río, no es un uso consuntivo. En agricultura, el uso consuntivo del agua está representado por el agua que se evapora del suelo, la que transpiran las plantas y la que constituye el tejido de las plantas. Es la cantidad de agua que debe aplicarse a un cultivo para que económicamente sea rentable, y se expresa en milímetros por día (mm/día).

USO INTENSIVO DEL AGUA SUBTERRÁNEA. Aquel uso que supone cambios sensibles o importantes en el funcionamiento hidrológico del acuífero o sistema acuífero.

VAGUADA. Véase TALWEG.

VEGA. Área en las márgenes de un río que se inunda en época de creciente y/o vegetación localizada en las márgenes de los ríos sujeta a inundaciones periódicas.

LLANURA ALUVIAL. Llanura de inundación o valle de inundación; terreno bajo y llano que puede ser inundado ante una eventual crecida de las aguas de una corriente fluvial cercana.

VELOCIDAD DE FILTRACIÓN. Valor promedio de la velocidad de las partículas de agua en el acuífero. Es igual a la velocidad de flujo dividida por la porosidad cinemática. La velocidad de filtración dependerá del diámetro efectivo del material filtrante y de la consistencia de los flóculos o sólidos. Mientras más consistente es un flóculo, para un mismo tamaño de poro del lecho, más alta puede ser la velocidad de filtración sin que el flóculo se rompa, y por lo tanto será necesaria una menor superficie de filtración.

VELOCIDAD DE RENOVACIÓN O TASA DE RENOVACIÓN. Cociente entre el volumen de almacenamiento subterráneo del acuífero y la tasa media de recarga de agua subterránea.

VOLUMEN MUERTO. Volumen dentro del embalse que no es utilizado para dar carga al sistema. Se utiliza para que los sedimentos que entran al embalse se depositen en él. La vida útil del embalse está asociada a este volumen.

ZONA EUFÓTICA. Capa superficial de las aguas de un lago, o represa, en la cual hay suficiente penetración de luz para permitir el crecimiento de plantas acuáticas.

ZONA DE SATURACIÓN O SATURADA. Zona del terreno en la que todos los intersticios están ocupados por agua a una presión igual o mayor que la atmosférica.

ZONA INTERMEDIA. Parte de la zona no saturada del suelo que se encuentra bajo la zona radicular y por encima de la zona capilar.

ZONA NO SATURADA. Zona que se encuentra entre la superficie del terreno y el nivel freático. Incluye la zona radicular, la intermedia y la capilar. Los poros de esta zona contienen agua que se encuentra a una presión menor que la atmosférica y también contienen aire y otros gases. En esta zona pueden encontrarse niveles saturados, tales como los acuíferos colgados. También se la denomina *zona de aireación* o *zona vadosa*.

ZONA PROPENSA A INUNDACIONES. Extensión de la planicie inundable hasta una altura de flujo igual al doble de la profundidad a banca llena.

ZONA RADICULAR O RADICAL. Zona que se extiende desde la superficie del terreno hasta el nivel que alcanzan las raíces de las plantas. Puede contener parte o toda la zona no saturada, dependiendo de la profundidad de las raíces y del nivel freático.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Basado fundamentalmente en los conceptos y organización del documento:

- Water Stewardship - LPSDPMI - *Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry*. Australian Government, September 2016.

Incluye además los conceptos de los siguientes organismos y publicaciones:

- ICMM (International Council Mining & Metals, Consejo Internacional de Minería y Metales). *Water Stewardship Framework*, 2014.
- ICMM (International Council Mining & Metals, Consejo Internacional de Minería y Metales). *Practical guide to catchment-based water management*, 2015.
- Documentación publica de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la República Argentina.
- Biblioteca de los Recursos Hídricos de la República Argentina.

Otras publicaciones:

- ABS - Australian Bureau of Statistics (2013). *Water account Australia 2012-13*, ABS catalogue N.º 4610.0. ABS, Canberra, 2013.
- BoM - Bureau of Meteorology (2012). *Groundwater Dependent Ecosystem Atlas*, 2012. <http://www.bom.gov.au/water/groundwater/gde/>
- Byrne, G. (2013). "Long-term water management: the forgotten legacy of mine closure", *Proceedings of AusIMM Water in Mining conference 2013* (pp. 163-168). Brisbane, november 2013.
- Environment Australia (2000). *Fresh water related environmental management principles and guidelines*, <https://www.environment.gov.au/system/files/resources/ecc57dce-6832-40df-a321-5a3857c69a72/files/principles.pdf>
- Evans, R., Moran, C. J., Brereton, D. (2006). "Beyond NPV: a review of valuation methodologies and their applicability to water in mining", *Proceedings of AusIMM Water in Mining Conference 2006* (pp.97-104). Brisbane, november 2006.
- Hoff, H. (2011). "Understanding the nexus", background paper for Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus, Stockholm Environment Institute, Stockholm. ICMM - International Council on Mining and Metals, 2014.

- ICMM - International Council on Mining and Metals (2015). Water Stewardship Framework, London, ICMM, 2015.
<https://www.icmm.com/water-stewardship-framework>
- ICMM - International Council on Mining and Metals (2015). A practical guide to catchment-based water management for the mining and metals industry. London, ICMM.
<https://www.icmm.com/guide-to-catchment-based-water-management>
- MCA - Minerals Council of Australia (1997). Mine site water management handbook. MCA, <https://www.industry.gov.au/data-and-publications/leading-practice-handbooks-for-sustainable-mining>
- MCA - Minerals Council of Australia (2014). Water accounting framework for the minerals industry, v. 1.3.
http://www.minerals.org.au/sites/default/files/WAF_UserGuide_v1.3_%28Jan_2014%29.pdf
- Wikipedia: *Definiciones usuales en hidrología*,
https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Definiciones_usuales_en_hidrolog%C3%ADa