



# programa tranque

Monitoreo de avanzada para  
una minería responsable

# AVANCES Y RETOS

PARA LA GESTIÓN DE LOS DEPÓSITOS  
DE RELAVES EN CHILE







Esta publicación fue elaborada por Fundación Chile  
Santiago, 2018  
ISBN: 978-956-8200-46-6

#### **Autores**

Equipo Programa Tranque, Fundación Chile

Desde el Programa Tranque queremos agradecer la  
valiosa contribución a las siguientes personas:

Jaime Urquidi, Arcadis, Chile

Jorge Troncoso, BGC Engineering, Chile

Camila Montes, Comisión Chilena del Cobre

Constanza Kutscher, Comisión Chilena del Cobre

Jorge I. Cantallopts, Comisión Chilena del Cobre

Leandro Herrera, Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile

Alejandro Vásquez, Sociedad Nacional de Minería, Chile

Y a todos aquellos que han participado en las distintas instancias de discusión,  
ya que con sus aportes han enriquecido el contenido de esta publicación.

#### **Edición**

Equipo Programa Tranque Fundación Chile

Equipo Marketing Fundación Chile

#### **Diseño y Diagramación**

Verónica Zurita

La presente publicación ha sido elaborada por Fundación Chile.  
Reservados todos los derechos. Queda autorizada la reproducción  
y distribución con previa autorización y citando fuente.



# programa tranque

Monitoreo de avanzada para una minería responsable

Lidera:



Socios estratégicos:



Gracias al aporte de:



Apoyan:



135  
AÑOS



Co-desarrollado con:



# ÍNDICE

<b>PRÓLOGO</b>	<b>9</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>10</b>
<b>ACRÓNIMOS</b>	<b>12</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>14</b>
<b>2 ANTECEDENTES</b>	<b>18</b>
2.1 Los depósitos de relaves en Chile	19
2.1.1 Información general	19
2.1.2 Normativa nacional	22
2.2 Tendencias internacionales en la gestión de los depósitos de relaves	28
2.2.1 Aspectos fundamentales en la gestión de depósitos de relaves a nivel internacional	28
2.2.2 Aspectos fundamentales en la gestión de la estabilidad física y química de los depósitos de relaves	29
<b>3 AVANCES EN LA GESTIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES EN CHILE RESPECTO A LAS TENDENCIAS INTERNACIONALES</b>	<b>34</b>
3.1 Análisis de la gestión de la estabilidad física y química	40
<b>4 RETOS EN LA GESTIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES EN CHILE</b>	<b>42</b>
<b>5 ANEXOS</b>	<b>47</b>
Anexo 1: Organismos relacionados con los depósitos de relaves	48
Anexo 2: Listado de guías internacionales de depósitos de relaves	49
Anexo 3: Estabilidad de los depósitos de relaves	50
Anexo 4: Resultados de talleres de trabajo mediana minería	54
Anexo 5: Remediación de depósitos de relaves abandonados	58
Anexo 6: Programa de gestión integral de los depósitos de relaves	62
Anexo 7: Tecnología al servicio de la gestión de los depósitos de relaves	68
<b>REFERENCIAS</b>	<b>69</b>

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.	Porcentaje de depósitos activos, inactivos y abandonados	19
Figura 2.	Exigencias normativas para un proyecto de depósito de relaves	23
Figura 3.	Elementos fundamentales de la gestión de los depósitos de relaves a nivel internacional	35
Figura 4.	Resultados de la encuesta de la mediana minería sobre el enfoque de sus políticas de gestión	38
Figura 5.	Diagnóstico cualitativo de los avances en la gestión de los depósitos de relaves	39
Figura 6.	Representación de mecanismos de falla: (1) Falla por rebalse (2) Falla por erosión interna (3) Falla por inestabilidad de taludes	51
Figura 7.	Esquema simplificado de la afectación a componentes ambientales	52
Figura 8.	Resultados encuesta mediana minería: caracterización del depósito o sitio del emplazamiento	54
Figura 9.	Resultados encuesta mediana minería: monitoreo de variables y medios	55
Figura 10.	Resultados encuesta mediana minería: gestión de los depósitos de relaves (Parte 1)	56
Figura 11.	Resultados encuesta mediana minería: gestión de los depósitos de relaves (Parte 2)	57
Figura 12.	Ubicación sector de remediación Convenio <i>Dayton</i> en Andacollo	58
Figura 13.	Pasivos mineros en Santa Fe	60
Figura 14.	La Higuera antes y después del retiro de relaves	61
Figura 15.	Componentes básicos de un programa de gestión de los depósitos de relaves	62
Figura 16.	Etapas del programa de gestión de los depósitos de relaves	64

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 1.	Tipos de depósitos de relaves	19
Tabla 2.	Distribución de los depósitos de relaves por región	20
Tabla 3.	Depósitos de relaves con mayores dimensiones	21

## ÍNDICE CUADROS

Cuadro 1.	Aspectos monitoreados a través del Formulario E – 700	26
Cuadro 2.	ICMM - <i>International Council for Mining and Metals</i>	30
Cuadro 3.	Retos destacables para la gestión integral de los depósitos de relaves	46



# PRÓLOGO

La presente publicación se enmarca en el trabajo desarrollado por el "Programa Tranque: Monitoreo en línea de depósitos de relaves", iniciativa público-privada liderada y desarrollada por Fundación Chile, en conjunto con DICTUC, AMTC, Valor Compartido, BGC *Engineering*, ARCADIS, CONTAC ingenieros e INRIA Chile. Este Programa cuenta con el aporte financiero de CORFO, del Fondo de Inversión Estratégica (FIE) y de las compañías mineras AMSA, CODELCO y BHP, además de la valiosa participación en su ejecución del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), la Dirección General de Aguas (DGA), la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), el Ministerio de Minería y diversas organizaciones relacionadas al sector minero, tales como ENAMI, SONAMI, ALTA LEY y CEPAL.

El principal objetivo del Programa Tranque es contribuir a la gestión de los depósitos de relaves a través de herramientas que permitan monitorear aspectos clave relacionados con la estabilidad física del depósito y con el monitoreo y evaluación de las aguas circundantes a estas instalaciones en el país. El programa busca proporcionar información de calidad, confiable y oportuna a las autoridades, compañías mineras y comunidades, para fortalecer la gestión operacional, promover una cultura de convivencia con estas instalaciones y mejorar la comunicación entre las partes y la respuesta ante situaciones de eventuales emergencias a través de una plataforma que gestione la información sobre su desempeño.

La visión del programa es contribuir a la operación segura de los depósitos de relaves del país, mejorando la coordinación y las relaciones de confianza entre los diferentes actores involucrados, mediante un sistema de monitoreo de avanzada que perdure en el tiempo.

Durante el primer año de ejecución, los esfuerzos se han focalizado en desarrollar los modelos conceptuales de las herramientas propuestas y en investigar el estado del arte en la gestión de los depósitos de relaves tanto en Chile como en el mundo. Hoy, en su segundo año, se están desarrollando cada una de las herramientas necesarias, buscando la excelencia desde el diseño, para posteriormente pasar a la puesta en marcha de un piloto en depósito de relaves El Mauro de Minera Los Pelambres.

El presente documento busca dar a conocer los principales hallazgos encontrados en materia de avances y retos de la gestión de los depósitos de relaves en Chile y su comparación con las prácticas internacionales, visualizando, de esta manera, los aspectos que se pueden abordar como oportunidades de desarrollo y mejora para la industria minera chilena en la gestión de sus depósitos.

**Ángela Oblasser**  
Directora Programa Tranque

## GLOSARIO

### **Colapso**

Falla estructural del depósito que involucre la liberación de un volumen importante de masa de relave y que produzca un impacto ambiental significativo (D.S. 248).

### **Depósito de relaves**

Toda obra estructurada en forma segura para contener los relaves provenientes de una Planta de concentración húmeda de especies de minerales. Además, contempla sus obras anexas. Su función principal es la de servir como depósito, generalmente definitivo de los materiales sólidos proveniente del relave transportado desde la Planta, permitiendo así la recuperación, en gran medida, del agua que transporta dichos sólidos (D.S. 248).

### **Dreim**

Depósito de relaves espesados en interior mina.

### **Embalse de relaves**

Aquel depósito de relaves donde el muro de contención está construido con material de empréstito y se encuentra impermeabilizado en el coronamiento y en su talud interno. La impermeabilización puede estar realizada con un material natural de baja permeabilidad o de material sintético como geomembrana de alta densidad. También se llama Embalses de relaves a aquellos depósitos ubicados en alguna depresión del terreno en que no se requiere la construcción de un muro de contención (D.S. 248).

### **Estabilidad física**

Situación de seguridad estructural, que mejora la resistencia y disminuye las fuerzas desestabilizadoras que pueden afectar obras o depósitos de una faena minera, para la cual se utilizan medidas con el fin de evitar

fenómenos de falla, colapso o remoción (Ley 20.551 - Ley de Cierre de Faenas, Decreto 41).

### **Estabilidad química**

Situación de control en agua, en aire y en suelo de las características químicas que presentan los materiales contenidos en las obras o depósitos de una faena minera, cuyo fin es evitar, prevenir o eliminar, si fuere necesario, la reacción química que causa acidez, evitando el contacto del agua con los residuos generadores de ácidos que se encuentren en obras y depósitos masivos mineros, tales como depósitos de relaves, botaderos, depósitos de estériles y rípios de lixiviación (Ley 20.551 - Ley de Cierre de Faenas, Decreto 41).

Una instalación minera se encuentra estable químicamente cuando, en su interacción con los factores ambientales, no genera impactos que impliquen un riesgo significativo para la salud de las personas y/o para el medio ambiente (SERNAGEOMIN & Fundación Chile, 2015).

### **Programa de gestión**

Los programas de gestión son prácticas fundamentales que forman parte de las estrategias de mejora continua que las empresas desarrollan, que aplicados de forma apropiada se hacen imprescindibles en la operación de las organizaciones. En sentido práctico, se entiende por un programa de gestión al "conjunto de actividades y prácticas coordinadas y sistemáticas por medio de las cuales una organización maneja de manera óptima y sustentable sus activos y sistemas de activos, su desempeño, riesgo y gastos a lo largo de sus ciclos de vida, con el fin de lograr su plan estratégico organizacional" (PAS 55:2008). Una vez en aplicación, los resultados típicos incluyen

un aumento significativo en la capacidad utilizada, acompañada de una optimización en los costos de operación y una reducción responsable de los riesgos asociados.

### **Proyecto de depósito de relaves**

Conjunto de estudios técnicos requeridos para la definición de un sistema de disposición de relaves, incluyendo etapas de investigación, prospección, diseño, evaluación y construcción, cuyos resultados se encuentran en una serie de documentos. Estos documentos deben ser claros, de manera de permitir su cabal comprensión de la ingeniería que conllevan, incluyendo sus procedimientos de operación y los métodos y obras consideradas para garantizar la estabilidad física y química del depósito y su entorno, con el fin de proteger a las personas, bienes y medio ambiente (D.S. 248).

### **Relave**

Suspensión de sólidos en líquidos, formando una pulpa, que se generan y desechan en las plantas de concentración húmeda de especies minerales que han experimentado una o varias etapas en circuito de molienda fina. El vocablo se aplicará, también a la fracción sólida de la pulpa que se ha descrito precedentemente (D.S. 248).

### **Relaves en pasta**

Depósito de relaves que presentan una situación intermedia entre el relave espesado y el relave filtrado, corresponde a una mezcla de relaves sólidos y agua, entre 10 y 25% de agua, que contiene partículas finas menores de 20  $\mu$  en una concentración en peso superior al 15%, muy similar a una pulpa de alta densidad.

Su depositación se efectúa en forma similar al relave filtrado, sin necesidad de compactación, poseyendo consistencia coloidal (D.S. 248).

### **Relaves espesados**

Depósito de relave que, antes de ser depositados, son sometidos a un proceso de sedimentación mediante espesadores, eliminándole una parte importante del agua contenida. El depósito de relaves espesados deberá ser construido de tal forma que se impida que el relave fluya a otras áreas distintas a las del emplazamiento determinado y contar con un sistema de piscinas de recuperación del agua remanente (D.S. 248).

### **Relaves filtrados**

Depósito de relaves que, antes de ser depositados, son sometidos a un proceso de filtración, mediante equipos especiales de filtros donde se asegure que la humedad sea menor a un 20%. Deberá asegurarse que el relave así depositado no fluya a otras áreas distintas a las del emplazamiento determinado (D.S. 248).

### **Residuos mineros masivos**

Corresponden a materiales provenientes de las operaciones de extracción, beneficio o procesamiento de minerales, que son generados en grandes volúmenes. Los residuos mineros masivos en la industria minera son los estériles, los minerales de baja ley, residuos de minerales tratados por lixiviación, relaves y escorias (D.S. 148).

### **Tranque de relaves**

Aquel depósito de relaves donde el muro de contención es construido con la fracción más gruesa del relave (arenas) (D.S. 248).

## ACRÓNIMOS

<b>ANZECC</b>	<i>Australian and New Zealand Environment and Conservation Council</i>
<b>ANCOLD</b>	<i>Australian National Committee on Large Dams</i>
<b>BBPP</b>	Buenas Prácticas
<b>BBTT</b>	<i>Best Technologies</i>
<b>CDA</b>	<i>Canadian Dam Association</i>
<b>CODELCO</b>	Corporación Nacional del Cobre
<b>DGA</b>	Dirección General de Aguas
<b>ICMM</b>	<i>International Council for Mining and Metals</i>
<b>ICOLD</b>	<i>International Commission on Large Dam</i>
<b>MAC</b>	<i>Mining Association of Canada</i>
<b>PAS</b>	Permiso Ambiental Sectorial
<b>RCA</b>	Resolución de Calificación Ambiental
<b>SEA</b>	Servicio Evaluación Ambiental
<b>SEIA</b>	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
<b>SERNAGEOMIN</b>	Servicio Nacional de Geología y Minería
<b>SMA</b>	Superintendencia del Medio Ambiente
<b>t</b>	Toneladas
<b>UNECE</b>	<i>United Nations Economic Commission for Europe</i>



# programa tranque

Monitoreo de avanzada para  
una minería responsable

# INTRODUCCIÓN



El desarrollo económico y social de Chile está directamente relacionado con la minería, siendo ésta una de las principales actividades productivas del país. Según cifras del Consejo Minero, en el año 2017 la minería contribuyó en un 10,1% al Producto Interno Bruto (PIB) de Chile. En este contexto, no se puede dejar de considerar el hecho de que esta actividad lleva asociada un legado intrínseco: la generación de desechos o residuos mineros, entre los cuales se encuentran los depósitos de relaves.

Según el último catastro publicado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), en Chile hay un total de 740 depósitos, entre tranques (600), embalses (118), filtrados (9), espesados (7), en pasta (4), dreim (1) y pretiles (1), repartidos en 10 de las 16 regiones del país. Estas cifras sitúan al país como el tercero con más depósitos de relaves en el mundo, después de China<sup>1</sup> y Estados Unidos<sup>2</sup>.

Los depósitos de relaves en operación son instalaciones dinámicas, ya que crecen en extensión, volumen y/o altura a lo largo del tiempo<sup>3</sup>; remanentes, ya que permanecen tras el cese de la actividad; y, además, se encuentran expuestos continuamente a diversas situaciones operacionales y/o

naturales que pueden llegar a comprometer su estabilidad. Todos estos aspectos deben ser considerados desde la etapa de diseño, durante la operación y, por supuesto, en las etapas de cierre y post-cierre del depósito. Asimismo, se enfrentan frecuentemente a la controversia social, debido a la preocupación por la cercanía de los depósitos de relaves a los centros poblados, los potenciales impactos sobre el agua del entorno, el uso de territorios con significancia patrimonial y cultural o las emisiones de material particulado, entre otros.

A nivel internacional, el registro de incidentes con resultados catastróficos ocurridos en los últimos años en países como Canadá, Estados Unidos, Brasil, China, México<sup>4</sup> y Chile (donde tras el terremoto registrado en el año 2010 se produjo el colapso del tranque de relaves Las Palmas, en la Región del Maule), han gatillado una revisión exhaustiva en torno a los depósitos de relaves y su gestión, tanto a nivel gubernamental como empresarial, que busca asegurar la estabilidad de estas construcciones a través de, por ejemplo, cambios en los diseños, en las regulaciones y en las gobernanzas internas de las compañías.

1. <http://www.minesandcommunities.org/article.php?a=10676>

2. [http://nid.usace.army.mil/cm\\_apex/ff?p=838;4:0::NO](http://nid.usace.army.mil/cm_apex/ff?p=838;4:0::NO)

3. "Se estima que la producción de relaves podría casi duplicarse al año 2035: si hoy cada 36 horas se depositan en Chile relaves equivalentes a un cerro Santa Lucía, dentro de 20 años lo haremos sólo en 21 horas". Desde el cobre a la innovación. Roadmap Tecnológico 2015 – 2035.

4. Entre los años 2014 y 2018, los 15 incidentes más recientes en el mundo, costaron la vida de más de 140 personas, afectaron directamente a más de 800.000 personas y liberaron más de 40 millones de m<sup>3</sup> de relaves al medio ambiente. De acuerdo a datos en <http://www.wise-uranium.org/mdaf.html>

En Chile se han desarrollado varias iniciativas relacionadas con la temática en los últimos años. Por ejemplo, en el año 2014, SERNAGEOMIN creó el Departamento de Depósitos de Relaves, para responder a la necesidad de mejora en el control de la normativa, así como optimizar el control de los proyectos desde su diseño, construcción, operación y cierre. Asimismo, se cuenta con distintos documentos relacionados con la temática, como el reciente documento "Estudios de normativas internacionales de diseño, construcción, operación, cierre y post cierre de depósitos de relaves" (SERNAGEOMIN, 2018), que presenta una revisión comparativa de normas nacionales e internacionales que regulan distintos aspectos y etapas relacionadas con la puesta en marcha, operación, cierre y post-cierre de los depósitos de relaves, del cual se desprende que solo México y Chile cuentan con una Ley que regula específicamente las distintas fases de los depósitos de relaves.

Recientemente (septiembre de 2018) el Ministerio de Minería dio a conocer la Política Nacional de Relaves que busca abordar, de manera integral, a todos los depósitos de relaves, tanto activos, inactivos como abandonados. En específico, la política considera para los 101 relaves activos el monitoreo permanente, con acceso en

tiempo real para las comunidades y acceso detallado y técnico para fiscalización remota por parte del SERNAGEOMIN, para lo cual se considera utilizar el sistema de monitoreo actualmente en desarrollo por el Programa Tranque, iniciativa público-privada. A su vez, para los depósitos de relaves inactivos y abandonados, se consideran medidas enfocadas a determinar adecuadamente su situación actual (monitoreo remoto y monitoreo participativo comunitario), legal (estudios de títulos) y de riesgo (actualización de las metodologías para la priorización basado en riesgos), así como medidas que busquen su cierre, reprocesamiento o nuevos usos.

Por su parte, organismos internacionales como el *Mining Association of Canada* (MAC) o el *Internacional Council for Mining and Metals* (ICMM) cuentan con declaraciones de posiciones e intenciones precisas en la gestión de los depósitos de relaves que las compañías mineras a nivel internacional y nacional ratifican. Estos y otros organismos publican y actualizan diferentes guías y documentos que se han constituido en herramientas robustas y son comúnmente utilizadas como referencia en la gestión de los depósitos de relaves. Por otro lado, esta mayor preocupación también se refleja en un aumento exponencial de las noticias y publicaciones asociadas a la temática en los últimos años<sup>5</sup>.

16

---

5. De 17.980 generadas en el periodo entre 1998 y 2009, aumentó a 28.500 publicaciones entre los años 2010 y 2017; y sólo en los últimos tres años, es decir posterior al incidente de la Minera Mount Polley (Canadá) en el año 2014, se han publicado más de 14.900 artículos. Estimación realizada por Fundación Chile en base a publicaciones en la red.

Todos los aspectos anteriormente mencionados demuestran que, en la actualidad, la gestión de los depósitos de relaves es una preocupación de gran relevancia para la sociedad en general. Las compañías mineras deben hacer frente no sólo a los retos de carácter técnico relacionados con el diseño, construcción, operación, cierre y post-cierre de sus depósitos, sino también a aquellos manifestados desde el entorno, para lo cual es necesario instaurar, como práctica habitual, el desarrollo de modelos de gestión integral que consideren todos los aspectos necesarios para asegurar el buen desempeño de estas instalaciones, minimizando su riesgo de falla y favoreciendo una operación óptima y acorde con el desarrollo económico, social y ambiental de nuestra sociedad.

El presente documento aborda, en primera instancia, antecedentes generales respecto a los depósitos de relaves en Chile, las herramientas gubernamentales que los regulan y cuáles son las tendencias internacionales referentes a su gestión (Capítulo 2). Posteriormente, se realiza un análisis de los avances en Chile respecto a la gestión de sus depósitos (Capítulo 3), y finalmente, se exponen cuáles son los principales retos detectados que se vislumbran como oportunidades de mejora tanto para las autoridades como para las compañías mineras (Capítulo 4). En los anexos incluidos se permite al lector contar con información complementaria sobre aspectos específicos relacionados con los depósitos de relaves.

La Política Nacional de Relaves considera para los 101 relaves activos el monitoreo permanente, con acceso en tiempo real para las comunidades y acceso detallado y técnico para fiscalización remota por parte del SERNAGEOMIN, para lo cual se considera utilizar el sistema de monitoreo actualmente en desarrollo por el Programa Tranque, iniciativa público-privada.

# 2 ANTECEDENTES



## 2.1. LOS DEPÓSITOS DE RELAVES EN CHILE

### 2.1.1 INFORMACIÓN GENERAL

Según los datos del catastro de depósitos de relaves, publicados en marzo de 2018 por el SERNAGEOMIN, actualmente el número de depósitos en Chile es de 740. Tal como se observa en la Figura 1, un 14% corresponden a depósitos activos (101), un 63% a inactivos (469) y un 23% se clasifican como abandonados (170).

En la Tabla 1 se presenta la clasificación de los 740 depósitos catastrados según su estado actual (activo, inactivo o abandonado).

Si bien los depósitos del tipo tranque y embalse son los más numerosos en Chile (con 600 y 118

**FIGURA 1.** PORCENTAJE DE DEPÓSITOS ABANDONADOS, ACTIVOS E INACTIVOS.



Fuente: <http://www.sernageomin.cl/datos-publicos-deposito-de-relaves/>

depósitos catastrados, respectivamente), el alto número de tranques inactivos y abandonados (556 depósitos) dan cuenta que este tipo de instalación fue la mayoritaria en años pasados,

**TABLA 1.** TIPOS DE DEPÓSITOS DE RELAVES

Estado Actual	Depósitos convencionales			Depósitos no convencionales			
	Embalses	Tranques	Pretiles	Pasta	Espesados	Filtrados	Dreim
Activos	41	44	0	4	6	6	0
Inactivos	71	392	1	0	1	3	1
Abandonados	6	164	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>118</b>	<b>600</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>1</b>

Fuente: <http://www.sernageomin.cl/datos-publicos-deposito-de-relaves/>

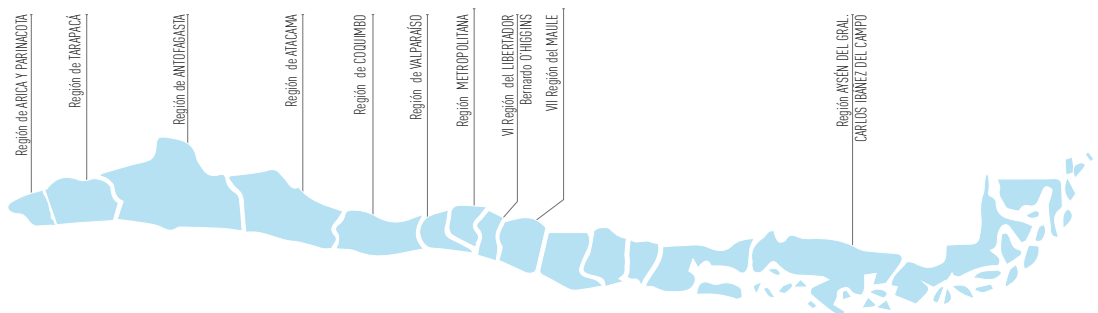
mientras que en la actualidad (depósitos activos), tranques y embalses cuentan con un número muy cercano y coexisten, a su vez, con un número relativamente creciente de tecnologías emergentes del tipo espesados, filtrados y en pasta.

En cuanto a su ubicación geográfica, estos se encuentran presentes en 10 de las 16 regiones del país, siendo importante destacar que la mayor parte están localizados en las regiones de Atacama, Coquimbo y Valparaíso, donde se concentra un 85% del número total de depósitos. El gran número de depósitos inactivos y abandonados en la región de Coquimbo (250 y 106, respectivamente) dan cuenta de que en tiempos pasados el número de estas instalaciones en operación estaban muy por sobre el resto del país, mientras que

en la actualidad la región de Atacama iguala el número de depósitos activos existentes en la región de Coquimbo (30 depósitos en cada una de ellas).

La Tabla 2 resume la distribución regional de acuerdo al último catastro de SERNAGEOMIN.

En general, el tamaño de los depósitos de relaves en Chile es muy variable, existiendo 408 depósitos con tonelaje aprobado de más de 50.000 toneladas. Dentro de ese porcentaje destacan algunos depósitos que, por sus dimensiones, figuran entre las obras civiles más grandes en comparación con otras obras de infraestructura. En la Tabla 3 se identifican los depósitos con los muros más altos (A), los de mayor tonelaje aprobado (B) y los depósitos activos e inactivos con mayor tonelaje acumulado (C y D, respectivamente).



**TABLA 2.**  
DISTRIBUCIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES POR REGIÓN

Estado Actual	Región de Arica y Parinacota	Región de Tarapacá	Región de Antofagasta	Región de Atacama	Región de Coquimbo	Región de Valparaíso	Región del Lib. B. O'Higgins	Región del Maule	Región de Aysén	Región Metropolitana
Activos	1	1	13	30	30	13	3	2	2	6
Inactivos	0	0	20	108	250	57	15	2	3	14
Abandonados	0	6	14	23	106	11	0	0	4	6
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>47</b>	<b>161</b>	<b>386</b>	<b>81</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>26</b>

Fuente: <http://www.sernageomin.cl/datos-publicos-deposito-de-relaves/>

**TABLA 3.**  
DEPÓSITOS DE RELAVES CON MAYORES DIMENSIONES

<b>A. Depósitos con muros más altos (en metros)</b>		
Los Quillayes, Minera Los Pelambres	Tranque inactivo	191
Candelaria, Minera Candelaria	Tranque activo	164
Los Leones, División Andina, CODELCO	Embalse activo	160
<b>B. Depósitos de relaves con mayor tonelaje aprobado (en millones de toneladas)</b>		
Laguna Seca, Minera Escondida	Embalse activo	4500
Carén, D. El Teniente, CODELCO	Embalse activo	3288
Talabre, D. Chuquicamata, CODELCO	Tranque activo	2060
<b>C. Depósitos de relaves activos con mayor tonelaje acumulado (en millones de toneladas)</b>		
Laguna Seca, Minera Escondida	Embalse activo	1180
Carén, D. El Teniente, CODELCO	Embalse activo	1843
Talabre, D. Chuquicamata, CODELCO	Tranque activo	1711
<b>D. Depósitos de relaves inactivos con mayor tonelaje acumulado (en millones de toneladas)</b>		
Hamburgo, Minera Escondida	Tranque inactivo	452
Los Quillayes, Minera Los Pelambres	Tranque inactivo	390
Rahco, Cía. Minera Mantos de Oro	Depósito filtrado activo	120

Fuente: <http://www.sernageomin.cl/datos-publicos-deposito-de-relaves/>

## 2.1.2 NORMATIVA NACIONAL

En la actualidad, son varias las normativas que se deben cumplir para poder desarrollar un proyecto de construcción, operación y cierre de depósitos de relaves. Estas normativas se constituyen como el marco legal para operadores y, en general, para todos los involucrados en la gestión de los depósitos de relaves. Se destacan las siguientes normativas:

- **D.S. 86.** Reglamento de construcción y operación de tranques de relaves. Ministerio de Minería 1970.
- **Ley 19.300.** Aprueba Ley sobre bases Generales del Medio Ambiente. Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 1994.
- **D.S. 132.** Aprueba Reglamento de seguridad minera. Ministerio de Minería, 2004.
- **D.S. 248** Modifica el D.S. 86 Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves, Ministerio de Minería, 2007.
- **Ley 20.417.** Modifica la Ley 19.300 y crea el Ministerio del Medio Ambiente, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente. Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2010.
- **Ley 20.551.** Ley que Regula el Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras. Ministerio de Minería, 2011.
- **D.S. 41.** Aprueba Reglamento de la Ley de Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras. Ministerio de Minería, 2012.
- **Ley 20.819.** Modifica la Ley 20.551 que

Regula el Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras e introduce otras modificaciones legales. Ministerio de Minería, 2015.

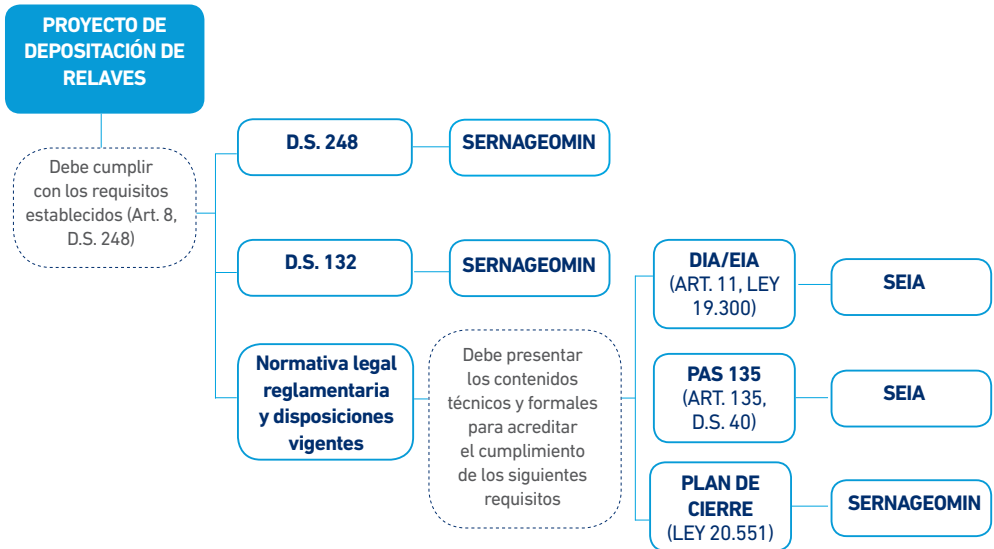
- **D.S. 50.** Aprueba el reglamento a que se refiere el Artículo 295 Inciso 2°, del Código de Aguas, estableciendo las condiciones técnicas que deberán cumplirse en el proyecto, construcción y operación de las obras hidráulicas identificadas en el Artículo 294 del referido texto legal. Ministerio de Obras Públicas, 2015.
- **D.S. 40.** Aprueba Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Última modificación Ley 20.920, Ministerio del Medio Ambiente, 2016.
- **Código de Aguas.** Decreto con Fuerza de Ley 1122. Fija el texto del Código de Aguas. Ministerios de Justicia, 1981. Última modificación Ley 21.064, Ministerio de Obras Públicas, 2018.

De todas, el **D.S. 248** fija los criterios para el diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves de la gran, mediana y pequeña minería chilena. Todos los nuevos proyectos, independientemente del tipo<sup>6</sup>, del ritmo de crecimiento, de las dimensiones o de su ubicación, requieren de la aprobación previa a su construcción y operación. Este decreto también rige a todas las modificaciones que se consideren realizar en proyectos ya aprobados. En la Figura 2 se especifican los requisitos establecidos en el D.S. 248.

6. Tipos de depósitos según D.S. 248: embalse de relaves, relaves en pasta, relaves espesados, relaves filtrados y tranque de relaves (Véase Glosario).

## FIGURA 2 EXIGENCIAS NORMATIVAS PARA UN PROYECTO DE DEPÓSITO DE RELAVES

Fuente: Elaboración propia



**En base al proyecto presentado y a los indicadores de cumplimiento de los requisitos establecidos por norma el SERNAGEOMIN aprueba, solicita modificaciones o rechaza el proyecto de depositación de relaves. (Art. 7, D.S. 248)**

Tal como se indica en la figura, estos proyectos, además de registrarse por el D.S. 248, deben cumplir los requisitos relacionados con la seguridad minera que quedan estipulados en el **D.S. 132**, con el objetivo de proteger la vida e integridad física de las personas, y de las instalaciones e infraestructuras, asegurando la continuidad de su proceso. Del mismo modo, se deben tener en consideración otras disposiciones vigentes, las cuales incluyen:

- **Contar con la aprobación del Servicio de Evaluación Ambiental** (SEA) de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o del Estudio de Impacto Ambiental (EIA). En este

sentido, la normativa ambiental aplicable es la Ley 19.300 sobre Bases del Medio Ambiente y el D.S. 40, donde se especifica que tanto los proyectos de desarrollo minero como los de disposición de residuos, entre los cuales se incluyen los depósitos de relaves, se clasifican como actividades susceptibles de causar impacto ambiental y, por ende, deben someterse al SEIA. Sin embargo, este marco regulatorio sólo es de carácter obligatorio para proyectos mineros cuya capacidad de extracción sea superior a las 5.000 t/mes mediante la presentación de DIA o EIA según lo establecido en el Artículo 11 de la citada ley. Una vez terminado el

proceso de evaluación por parte del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) en conjunto con los servicios públicos competentes, éste generará un Informe Consolidado de Evaluación (ICE) para posteriormente emitir las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), donde se establecen las condiciones bajo las que se aprueba el proyecto, las que deben ser cumplidas durante todo su ciclo de vida. Es la Superintendencia del Medio Ambiente quien se encargará de velar por el cumplimiento de la RCA.

Los proyectos que quedan fuera, es decir, aquellos que procesan menos de 5.000 t/mes, cuentan con muros menores a 5 metros o tienen una capacidad inferior a los 50.000 m<sup>3</sup>, no están obligados a someterse al SEIA, pero sí pueden realizar una DIA voluntaria. De no hacerlo, se deben solicitar permisos sectoriales en forma independiente a cada uno de los organismos del Estado que tienen competencia ambiental en la zona donde se realizará el proyecto minero.

Las formulaciones tanto de la DIA como del EIA llevan asociadas otras normativas vigentes relacionadas con los distintos componentes ambientales como: aire, ruido, aguas, aguas servidas y residuos industriales líquidos, residuos sólidos, flora y fauna, recursos naturales, áreas protegidas o patrimonio cultural, entre otros.

- **Contar con el Permiso Ambiental Sectorial Mixto PAS 135** que aprueba el SERNAGEOMIN para la construcción y operación de los depósitos de relaves (Artículo 135, D.S. 40), donde se especifican los contenidos técnicos y formales que deben presentarse para acreditar su cumplimiento.

- **Contar con el Plan de Cierre aprobado por el SERNAGEOMIN.** En este caso, la Ley 20.551 a través del D.S. 41, regula el cierre de faenas e instalaciones mineras, obligando a las compañías mineras a mitigar los efectos de su desarrollo, asegurando la estabilidad física y química mediante un conjunto de medidas y acciones comprometidas en los planes de cierre, los que se actualizan cada cinco años. Los tipos de planes de cierre a presentar difieren según el tamaño de operación minera, de modo que los proyectos con un beneficio superior a 10.000 t/mes deberán ejecutar el procedimiento de aplicación general, el cual incluye la existencia de una garantía financiera, mientras que aquellos con un beneficio bajo las 10.000 t/m tienen un procedimiento simplificado, que no contempla garantía. En su actualización (Ley 20.819), se presentan especificaciones para aquellas faenas con capacidad de extracción de mineral inferior a 5.000 t/mes. Los planes de cierre también requieren de un PAS emitido por el organismo ambiental, en este caso, el Permiso Ambiental Sectorial Mixto PAS 137 para la aprobación del plan de cierre de una faena minera (Artículo 137, D.S. 40).

Por otro lado, los tranques y embalses de relaves (quedando excluidos los depósitos de relaves en pasta, filtrados y espesados siempre y cuando no estén localizados en un cauce), se encuentran también regulados bajo el **D.S. 50** del Ministerio de Obras Públicas (MOP), que fija las condiciones técnicas que deberán cumplir estos depósitos en fase proyecto, así como en su construcción y operación, vinculándolos directamente con el Código de Aguas de Chile (Artículo 295). A este respecto, la Dirección General de Aguas (DGA) otorgará la aprobación del proyecto de construcción, previamente aprobado por el SERNAGEOMIN.

El SERNAGEOMIN es el organismo con competencia para aprobar, solicitar modificaciones o rechazar los proyectos en base a los documentos presentados y a los indicadores de cumplimiento de los requisitos establecidos. Aquellas faenas con una producción menor a 5.000 t/mes requieren aprobación de la dirección regional del Servicio, mientras que es el subdirector nacional de minería quien aprueba aquellos proyectos presentados por faenas con una producción superior a las 5.000 t/mes. Este organismo, además de recibir las solicitudes de los proyectos, revisarlos, aprobarlos si corresponde, proponer modificaciones o rechazarlos, tiene entre sus funciones el dictar, aplicar y controlar normas específicas de seguridad minera a cumplir por los usuarios de los depósitos de relaves; fiscalizar la operación de los depósitos y velar por el cumplimiento de las obligaciones ambientales. Asimismo, participa activamente en la evaluación de impacto ambiental de los proyectos mineros, ya que el SEA deriva la evaluación de la documentación presentada como especialistas en la temática con competencia para su revisión. Finalmente, la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), suscribe al SERNAGEOMIN como organismo subprogramado, otorgándole capacidad para fiscalizar compromisos establecidos en las RCA, donde quedan incluidos los compromisos relacionados directamente con los depósitos de relaves, así como con las denuncias asociadas, si las hubiere.

Una vez en operación, el control de los depósitos se debe reportar a las autoridades a través del formulario E-700. Desde el año 2010, todas las compañías mineras que poseen depósitos de relaves activos (14% de los 740 depósitos catastrados actualmente) deben enviar esta información a la Oficina de Depósitos de Relaves del SERNAGEOMIN. Se trata de un informe trimestral sobre el monitoreo

Los tranques y embalses de relaves, se encuentran también regulados bajo el D.S. 50 del Ministerio de Obras Públicas (MOP), que fija las condiciones técnicas que deberán cumplir estos depósitos en fase proyecto, así como en su construcción y operación, vinculándolos directamente con el Código de Aguas de Chile (Artículo 295).

de algunos parámetros, que incluye las mediciones de parámetros específicos, así como informes acompañantes que detallan trabajos de mantenimiento, controles de instrumentos existentes o la instalación de nuevos instrumentos o trabajos de operación, entre otros. Se debe considerar que el reporte incompleto del formulario E-700 puede finalmente derivar en un proceso de fiscalización por parte del SERNAGEOMIN, de modo de poder verificar en terreno el estado de los depósitos. Para más información, véase Cuadro 1.

## **CUADRO 1. ASPECTOS MONITOREADOS A TRAVÉS DEL FORMULARIO E – 700**

Fuente: <http://sitiohistorico.sernageomin.cl/sminera-formularios.php>

### **Formulario E - 700**

Informe Trimestral de Depósitos de Relaves, aprobado mediante la Resolución N°680, que fija el contenido del formulario referente a la operación y mantención de los depósitos de relaves.

Por ejemplo, actualmente, se debe informar:

- Cantidad de relaves autorizado y actual (totales);
- Cantidad de arenas en muro y de relaves (lamas) en la cubeta;
- Altura del muro o depósito;
- Largo y ancho de la berma de coronamiento;
- Distancia de la laguna al borde del muro;
- Ancho del sector "playa" en la cubeta;
- Revancha operacional mínima;
- Área ocupada (aprox.);
- Ángulo del talud externo e interno del muro;
- Razón arenas/lamas;
- % de sólido en peso del relave total;
- % de humedad en los relaves filtrados y/o espesados;
- Método de compactación del muro (equipo);
- Densidades y granulometría de las arenas del muro;
- Granulometría de las arenas del relave total y piezometría.

Se deben indicar también detalles de los trabajos de mantención y operación realizados, así como informar sobre los controles y estadísticas sobre monitoreos especiales (acelerógrafos, celdas de asentamientos, placas de corrimiento y nivelación, inclinómetros u otros) realizados.

Por otro lado, la pequeña minería cuenta con varias publicaciones de apoyo con el objetivo de facilitar el cumplimiento del D.S. 248, como son la "Guía de buenas prácticas ambientales para la construcción y operación de tranques de relaves" (SERNAGEOMIN, SONAMI y BGR, 2003) con el objetivo de propiciar una adecuada gestión ambiental, con énfasis en la responsabilidad de las faenas con la sustentabilidad del sector; y la "Guía para el cumplimiento del D.S. 248" (SERNAGEOMIN, 2016), publicada después de la entrada en vigor del decreto para facilitar el entendimiento de los requerimientos exigidos, buscando minimizar los tiempos de revisión de los proyectos presentados, así como promover las buenas prácticas en el diseño de los depósitos de relaves.

Finalmente, respecto de las faenas o instalaciones abandonadas, que tal como se ha señalado suponen el 23% de los 740 depósitos catastrados actualmente, si bien existe una propuesta de anteproyecto de Ley de Pasivos Ambientales Mineros desde el año 2005 a la fecha esta normativa no ha sido aprobada. El levantamiento de faenas

mineras abandonadas del país corre a cargo del Departamento de Gestión Ambiental y Cierre de Faenas del SERNAGEOMIN, que a través del formulario E-400 lleva el registro sistemático de este tipo de instalaciones, cumpliendo de ese modo con los objetivos del SERNAGEOMIN en esta materia: conocer donde se ubican las faenas abandonadas presentes en el territorio nacional, qué características tienen y cuál es el nivel de riesgo que presentan. Cabe mencionar que, a falta de una legislación específica para estas instalaciones, actualmente la única vía con capacidad para atribuir responsabilidades es la Ley 19.300 sobre Bases del Medio Ambiente, que en su Artículo 51 establece que "Todo el que culposa o dolosamente cause daño ambiental responderá del mismo en conformidad a la presente ley", siempre y cuando se acredite relación causa - efecto entre la infracción y el daño producido.

**En Anexo 1: Organismos relacionados con los depósitos de relaves**, se incluye una lista de las principales instituciones que tienen relación con los depósitos de relaves en Chile y sus respectivas páginas web, para consulta y acceso a más información.

## 2.2 TENDENCIAS INTERNACIONALES EN LA GESTIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES

La forma en la que se gestionan los depósitos de relaves a nivel internacional ha ido cambiando en el tiempo. Fuertemente influenciados e impulsados por los desastres acontecidos en distintos países en los depósitos de relaves, los esfuerzos actualmente se enfocan en re-evaluar y optimizar la gestión hasta ahora desarrollada, enfatizando en aspectos relacionados con el monitoreo geotécnico y contención de potenciales contaminantes a través de la gestión del riesgo, la gestión a lo largo de todo el ciclo de vida del depósito o la utilización de las mejores prácticas, entre otros.

Según el reciente documento “Estudio de normativas internacionales de diseño, construcción, operación, cierre y post cierre de depósitos de relaves” (SERNAGEOMIN, 2018), donde se hace un estudio comparativo de la normativa asociada a los depósitos de relaves en Chile, Perú, México, Bolivia, Brasil, Argentina, Australia, Canadá, Reino Unido, Sudáfrica, Rusia y Estados Unidos, sólo en México y Chile existe una Ley que regula específicamente las distintas fases de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves, siendo ambos casos excepcionales respecto de la claridad en la determinación de los cuerpos legales aplicables en materia de relaves minero. El resto de las naciones incluidas en el estudio, en cambio, operan mediante guías o manuales de buenas prácticas de carácter no obligatorio, mientras no se establezca jurisprudencia.

Agrupaciones gremiales relacionadas con la gestión de grandes represas como ANCOLD (Australia), ICOLD (Europa) o CDA (Canadá), y aquellas agrupaciones mineras como el ICMM

(Internacional, véase Cuadro 2) o MAC (Canadá), publican regularmente documentos de buenas prácticas, guías o manuales, donde se establecen lineamientos y prácticas sobre la gestión de los depósitos de relaves (**Véase Anexo 2: Listado de guías internacionales de depósitos de relaves**).

Estas instituciones y otras iniciativas específicas acaban siendo referentes para la gestión de las compañías mineras y autoridades involucradas y, finalmente, se instauran como herramientas a seguir, llegando incluso a ser estándares o buenas prácticas corporativas, acatadas internamente en forma voluntaria por las propias compañías mineras, o, como en el caso de Chile, estos avances son incorporados en su propia legislación.

### 2.2.1 ASPECTOS FUNDAMENTALES EN LA GESTIÓN DE DEPÓSITOS DE RELAVES A NIVEL INTERNACIONAL

De la revisión y análisis de documentos e iniciativas que se desarrollan a nivel internacional, se destacan una serie de aspectos que son transversales a la mayoría. Estos aspectos toman como base los siguientes principios básicos para la gestión de los depósitos de relaves:

- **Enfoque basado en la gestión del riesgo**

Tanto la evaluación como la gestión de los riesgos son esenciales para el manejo efectivo de los depósitos de relaves, debiendo ser integral en todo el marco de gestión y a lo largo de todo el ciclo de vida. Se deben identificar no sólo aquellos riesgos potenciales asociados a la estabilidad de los depósitos, es decir, riesgos físicos y químicos, sino también los riesgos operacionales, financieros, de gestión y organizacionales. Las medidas de gestión deben ser actualizadas a medida que los riesgos se modifican (MAC, 2017). Asimismo, es necesario tener en consideración las diferentes normativas respecto a este tema, en el caso que las hubiera.

- **Enfoque basado en la gestión a lo largo de todo el ciclo de vida del depósito**

Las compañías mineras enfrentan el desafío de administrar de manera efectiva y eficiente sus depósitos de relaves a lo largo de todo el ciclo de vida, partiendo desde la concepción, planificación y diseño del proyecto, siguiendo por la construcción y operación y finalizando con el cierre y post-cierre del depósito (MAC, 2017). Todos los cambios que un depósito experimenta a lo largo de su ciclo de vida debe ser considerado, garantizando su seguridad e integridad estructural (ICMM, 2016).

- **Enfoque basado en el involucramiento de todos los actores claves en la gestión**

El ICMM define como clave el involucramiento proactivo, abierto y transparente de todas las partes interesadas en los desafíos y oportunidades de desarrollo sustentable; así como la información oportuna y efectiva y un proceso de revisión independiente (ICMM, 2016).

- **Enfoque basado en el desarrollo de gobernanzas sobre la gestión de los depósitos de relaves, integradas en la gestión operacional de la empresa**

Uno de los primeros requisitos que se debe exigir desde los estándares de las compañías mineras, es la definición de una gobernanza que desarrolle un marco de gestión corporativo que, a través de una serie de objetivos y principios, proporcione la base para la gestión efectiva de los depósitos (ICMM & Golder, 2016).

- **Enfoque basado en las mejores tecnologías y prácticas disponibles**

La finalidad es combinar las mejores tecnologías y prácticas económicamente viables, que reduzcan los riesgos desde el punto de vista físico, geoquímico, ecológico, social, financiero e incluso reputacional, asociados al manejo de los depósitos de relaves a lo

largo de todo el ciclo de vida (MAC, 2016).

- **Enfoque basado en la gestión territorial (visión de cuenca)**

Que la gestión de los depósitos de relaves se realice en un contexto territorial implica una mirada sistémica desde una escala de cuenca para el uso de los recursos que sea desarrollada a través de un trabajo colaborativo entre distintos niveles, involucrando tanto al sector público como al privado. La adopción de un enfoque de gestión de cuencas es direccionado desde el ICMM, que a través de la "Guía práctica para la gestión del agua de captación para la industria minera y metalúrgica" del ICMM (ICMM, 2013) plantea la necesidad de establecer el compromiso de llevar a cabo una gestión responsable de los recursos hídricos en general, en concordancia con los principios de gestión del agua de este organismo.

## 2.2.2 ASPECTOS FUNDAMENTALES EN LA GESTIÓN DE LA ESTABILIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES

Los relaves, dada su reactividad química, requieren ser confinados en depósitos para evitar posibles afectaciones al entorno. Una vez depositados, la magnitud de estas obras introduce una nueva preocupación: su estabilidad física.

A continuación, se presentan las tendencias internacionales en cuanto a cómo se están gestionando los depósitos de relaves en la actualidad, respecto a la estabilidad física y química, destacando una serie de aspectos fundamentales. Los conceptos y mecanismos generales de estabilidad física y química de un depósito son desarrollados en mayor detalle en el **Anexo 3: Estabilidad de los depósitos de relaves**.

## CUADRO 2. ICMM - INTERNATIONAL COUNCIL FOR MINING AND METALS

Fuente: [www.icmm.com/en-gb](http://www.icmm.com/en-gb), [www.icmm.com/tailings-ps](http://www.icmm.com/tailings-ps)

### ICMM - International Council for Mining and Metals

Organismo internacional que cuenta con un destacado reconocimiento dentro de la industria minera. Como pilares fundamentales se definen los 10 principios que marcan el compromiso, en términos de desarrollo sustentable, del sector minero. Los principios fundamentales son:

1. Implementar y mantener **prácticas éticas** de negocios y sistemas sólidos de gobierno corporativo.
2. Integrar temas de **desarrollo sustentable** a procesos de toma de decisiones.
3. Apoyar los **derechos humanos** y respetar las culturas, costumbres y valores de los empleados y otros grupos.
4. Implementar estrategias de **gestión del riesgo** basadas en una información con base científica.
5. Buscar la mejora continua en el desempeño dirigido a la **salud y seguridad**.
6. Buscar la mejora continua en el **desempeño ambiental**.
7. Contribuir a la **conservación de la biodiversidad** con enfoque integrado de planificación territorial.
8. Facilitar y estimular el **diseño, uso, reutilización, reciclaje y disposición responsables de los desechos**.
9. Contribuir al **desarrollo social, económico e institucional** de las comunidades en áreas de operación.
10. Implementar, con las partes interesadas, mecanismos de **información, comunicación y participación efectivas**, transparentes, verificables e independientes.

El ICMM, también establece una visión de conjunto sobre la gestión de los depósitos de relaves, a través de su Position Statement on preventing catastrophic failure of tailings storage facilities (ICMM, 2016), que las compañías mineras hacen parte de sus políticas corporativas, incluyéndola en los marcos de gobernanza. Esta declaración está dirigida a minimizar el riesgo de fallas catastróficas en este tipo de instalación y significa un firme compromiso al dar un paso más allá en la gestión que las compañías hacen de sus depósitos de relaves. Los principios de acción se vinculan a:

- Responsabilidades, rendición de cuentas y competencia sobre la gestión de los depósitos de relaves.
- Planificación y asignación de recursos financieros y humanos adecuados para asegurar la continuidad en la gestión a lo largo de todo el ciclo de vida de una instalación.
- Gestión de los riesgos: identificación, control y seguimiento.
- Gestión del cambio: los riesgos asociados con los potenciales cambios deben ser evaluados, controlados y comunicados.
- Preparación de procedimientos para reconocer y responder a la amenaza de una falla o fracaso en la gestión y generación de respuestas frente a las emergencias.
- Desarrollar procesos de revisión internos y externos que aseguren el buen funcionamiento del control de los riesgos, así como evaluar potenciales mejoras continuamente.

## a. Respeto a la estabilidad física

De manera específica, las prácticas internacionales sobre la gestión de los aspectos relacionados con la estabilidad física de los depósitos de relaves apuntan a que ésta debe estar determinada según consideraciones de diseño y formulación del proyecto de construcción del depósito, pero además contempla requerimientos adicionales, instaurando ciertas prácticas de gestión enfocadas en:

- Llevar a cabo un **control periódico, sistemático y exhaustivo** de los parámetros críticos y eventos gatilladores<sup>7</sup> que pudieran afectar la estabilidad física del depósito, con la finalidad de detectar potenciales cambios oportunamente, disminuyendo el riesgo de falla del depósito al mínimo (carácter preventivo).
- Instaurar las figuras de **“persona competente o responsable” y de “ingeniero de registro”** como parte del equipo de gestión, con responsabilidades asignadas a lo largo de todo el ciclo de vida del depósito. La persona competente o responsable, es un empleado directo de la compañía minera cuya responsabilidad es asegurar que el depósito se construya, opere y cierre de acuerdo a diseño, estándares y leyes, así como que se dispongan de medios y recursos para una adecuada gestión. El ingeniero de registro, en tanto, es el firmante del diseño, que además de las atribuciones sobre la preparación, firma y entrega de los documentos de diseño del depósito, también es responsable de que se cumpla con los estándares, normativa y permisos

obligatorios. Además, debe verificar que el depósito se construye y opera de acuerdo al diseño, asegurar que tanto la construcción como la operación cumplen con el estándar de calidad definido en el diseño, definir niveles de alertas para situaciones de peligro, así como revisar y monitorear regularmente el depósito en operación. Estas funciones pueden ser desarrolladas por un equipo de profesionales externos dirigidos por un único responsable, siendo imprescindible que toda la información sea reportada y apoyada mediante informes, cuyo contenido y periodicidad quedarán previamente establecidos, dependiendo de la envergadura de las obras, de la etapa del proyecto o de los cambios en el tiempo.

- Realizar **auditorías** tanto internas como externas, como sistemas de control. Estas auditorías suponen controles sistemáticos y documentados en relación a criterios, regulaciones, condiciones de operación, implementación y cumplimiento de prácticas de gestión, entre otros.

Es importante que todos estos aspectos deben estar instaurados y dirigidos desde la alta dirección de la compañía minera, como parte de su gobernanza interna para la gestión de sus instalaciones.

Países como Canadá (British Columbia, 2016) y Australia (ANCOLD, 2012), sugieren evaluar la estabilidad del depósito en cada fase del proyecto y a lo largo de todo el ciclo de vida, determinando los posibles tipos y probabilidades de falla, dándole un rol fundamental a los programas y actividades de monitoreo para determinar el desempeño de los depósitos en torno a la estabilidad física.

---

7. Los parámetros críticos son propiedades cuantificables del depósito, como por ejemplo, la granulometría del material del muro, la presión de poros del muro y cubeta o la pendiente de la playa, entre otros. Los eventos gatilladores son los agentes, fenómenos o intervenciones de tipo natural (lluvia, viento, sismo o un deslizamiento de tierra que alcance el depósito, entre otros) o de tipo antrópico (modificaciones en los canales de contorno, obras de desvíos de cauces, falla de vertedero de emergencia o en el sistema de recuperación de aguas claras, entre otros).

Es importante que todos estos aspectos deben estar instaurados y dirigidos desde la alta dirección de la compañía minera, como parte de su gobernanza interna para la gestión de sus instalaciones.

## b. Respeto a la estabilidad química

En cuanto a los lineamientos internacionales relacionados con la gestión de la estabilidad química, no sólo de los depósitos de relaves, sino de las instalaciones mineras en general, éstos están relacionados, principalmente, con el manejo de las infiltraciones (drenajes), con la finalidad de evitar la introducción de tóxicos en los ecosistemas que puedan ser acumulados en los eslabones de las cadenas tróficas.

La industria minera lleva desarrollando estudios asociados a la comprensión de este fenómeno desde hace más de 50 años, destacando, entre otros, los documentos publicados por el Programa MEND (Canadá) o la Guía GARD (INAP, 2018), que han contribuido no sólo a conocer el origen y las características de los distintos drenajes, sino a desarrollar acciones y avanzar en el conocimiento para su prevención, control y tratamiento. De modo resumido, la gestión de la estabilidad química en los depósitos de relaves se enfoca en desarrollar:

- Acciones concretas de **carácter preventivo** para limitar la formación de drenajes, como por ejemplo, la adición de material alcalino.
- Acciones destinadas a evitar su **migración** fuera del depósito, como por ejemplo, la impermeabilización del muro o de la cubeta.
- **Medidas de control** una vez probada la existencia de infiltraciones, como por ejemplo, mediante la construcción de barreras hidráulicas (sistema de pozos tras el muro del depósito) que recuperan el agua subterránea para recircularla al sistema.
- **Programas de monitoreo** enfocados en los cuerpos de aguas superficiales y subterráneos con la finalidad de determinar alteraciones en su composición que afectan su composición y estudio de los riesgos asociados.

De igual forma, es frecuente que muchos países sigan lineamientos establecidos en manuales y guías de buenas prácticas, los cuales están enfocados a alentar a la industria minera hacia una gestión segura y ambientalmente responsable de los depósitos de relaves. De estos lineamientos se destacan dos aspectos fundamentales:

- La incorporación de la **evaluación de los riesgos ambientales asociados**, como parte de la gestión integral en el manejo de la estabilidad química de manera de implementar medidas de control cuando dichos riesgos sean significativos. Esta herramienta ya se encuentra incorporada en países como Canadá, Estados Unidos, Europa o México, entre otros.
- La interacción del depósito con los recursos hídricos a **nivel de cuenca**, a través de la creación de modelos de gestión que entiendan el territorio como un todo, considerando las interconexiones entre los distintos elementos y, por ende, incorporando a los depósitos de relaves en este escenario. Esta visión permite la planificación de sistemas de monitoreo a gran escala, contribuyendo a la toma de decisiones precisas y al desarrollo de planes de acción a través de políticas locales y/o estatales (Directiva 60/2000 (Europa)).

Finalmente, es importante tener en consideración que la normativa internacional, en general, prioriza el control de las descargas puntuales por sobre contaminaciones difusas o infiltraciones desde los depósitos. Países como Canadá (Water Licence), Australia-Nueva Zelanda (ANZECC) o Europa (Directiva 60/2000) se enfocan en los cuerpos de agua impactados, con el fin de lograr el uso sustentable de sus recursos hídricos, su protección y/o recuperación. La ANZECC, adicionalmente, permite a sus estados o territorios establecer niveles de contaminantes en cada cuenca y desarrollar planes de gestión estratégicos (de manejo o mejora) para lograr la calidad del agua deseada.

# AVANCES EN LA GESTIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES EN CHILE RESPECTO A LAS TENDENCIAS INTERNACIONALES



Si se analiza desde la perspectiva de los referentes internacionales, se visualizan avances importantes a nivel nacional en relación a la gestión de los depósitos de relaves, especialmente en aquellos que se encuentran en operación. Este capítulo expone los principales hallazgos referente a la situación actual de la gestión de depósitos en la industria minera nacional, permitiendo identificar oportunidades de mejora para robustecer dicha gestión.

El análisis se ha centrado principalmente en identificar aspectos relacionados con los elementos fundamentales de las prácticas internacionales habituales de gestión (Véase Figura 3) en cuanto a:

- La gestión desde la mirada del riesgo.
- La planificación y desarrollo de la gestión a lo largo de todo el ciclo de vida del depósito.
- El involucramiento de los distintos actores en el proceso y su grado de participación.
- La integración de la gestión de los depósitos de relaves en las gobernanzas corporativas.
- El grado de incorporación de las mejores prácticas y tecnologías disponibles.
- El desarrollo de acciones que considere la mirada territorial a nivel de cuenca como aspecto fundamental de su gestión.

**FIGURA 3.**  
**ELEMENTOS FUNDAMENTALES DE LA GESTIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES A NIVEL INTERNACIONAL**

*Fuente: Elaboración propia*



Además, se incluye el análisis de otros aspectos más específicos. Todos ellos han sido analizados en referencia a la normativa existente, a cuáles son las prácticas de la gran, mediana y pequeña minería al respecto, y finalmente, cuáles son los avances en referencia a los depósitos de relaves abandonados.

En este proceso se han revisado las normativas aplicables a este tipo de proyectos en Chile, y se ha llevado a cabo un levantamiento de información directa con las compañías mineras y organismos públicos. Buena parte de esta información ha sido levantada a través de encuestas específicas, con la finalidad de tener información fehaciente sobre cuáles son las prácticas habituales. Asimismo, para facilitar el levantamiento de información se realizaron talleres de trabajo con representantes de la mediana minería del país, cuyos principales resultados se pueden consultar en el **Anexo 4: Resultados de talleres de trabajo mediana minería.**

### a. Normativa

Al revisar la trayectoria de la normativa asociada a los depósitos de relaves en Chile, se observa que son varios los hitos destacables. Ya en el año 1970 se promulga la primera normativa específica para este tipo de instalación, el Decreto para la operación y construcción de los tranques de relaves (D.S. 86), en el cual, entre otros puntos de interés, se prohibió la construcción de muros aguas arriba, situando al país como pionero en el mundo en implementar esta medida. En el año 2007 se promulga el D.S. 248 (Véase Capítulo 2), actualmente vigente, que mantiene las mismas exigencias de su predecesor e incorpora nuevas. Éstos y otros hitos, como la Ley de Cierre del año 2011, han permitido que la normativa nacional haya incorporado tempranamente dos de los aspectos en análisis: por un lado, el concepto de la gestión bajo la mirada del riesgo forma

parte de las definiciones que marcan los lineamientos en la gestión, lo que ha supuesto que, en general, éste sea un concepto cada vez más asimilado en esencia, no sólo en la gestión de los depósitos de relaves, sino en general del resto de instalaciones mineras; y por otro lado, quedan reguladas por completo todas las etapas del ciclo de vida de las faenas e instalaciones mineras, siendo un requisito obligatorio contar con un plan de cierre para las instalaciones con dueño conocido, siendo éste el responsable hasta el cierre del depósito.

Otros aspectos de la gestión de los depósitos de relaves que son abordados actualmente a nivel normativo están relacionados con el involucramiento de los distintos actores y con la gestión a nivel territorial. El primero queda regulado en aquellas exigencias ambientales que cuentan con procesos de participación ciudadana, como requisito obligatorio para la tramitación y obtención de permisos para operar. Respecto del segundo aspecto, se debe considerar que de un total de 68 cuencas relacionadas con zonas mineras, sólo 7 cuentan con normas de calidad secundaria, del mismo modo tampoco se cuenta con normativa asociada a la calidad de suelos, por lo que existe un vacío en cuanto a la gestión territorial se refiere.

En referencia a cómo la gran y la mediana minería gestionan sus depósitos, es importante conocer que muchas de estas compañías mineras, además de tener que cumplir con la normativa estatal y regional, subscriben estándares internacionales, lo que facilita la incorporación de estos aspectos en sus políticas, estableciendo un rumbo marcado en su gestión. Por ejemplo, grandes compañías como CODELCO, Antofagasta Minerales, BHP, Anglo American o Teck, entre otras, son miembros del ICMM (Véase Cuadro 2), por lo que reconocen la importancia de una gestión más allá de las exigencias legales, comprometiéndose con los principios que este organismo ha marcado en relación a los depósitos de relaves hacia el desarrollo sustentable.

## b. Gran minería

En general, la gran minería desarrolla distintas acciones en la gestión de sus depósitos. La caracterización, incluyendo el desarrollo de modelos conceptuales; el desarrollo de estudios hidrológicos e hidrogeológicos del entorno o la caracterización mineralógica y geoquímica del relave y del muro del depósito, entre otros, son prácticas habituales. Las políticas de gestión son revisadas a nivel corporativo por las altas directivas, que definen gobernanzas para abordar los desafíos en la gestión de los depósitos. Por otro lado, son frecuentes los equipos técnicos independientes que revisan y reportan sobre el desempeño de la gestión operacional de los depósitos. Asimismo, se conocen iniciativas de manejo de la información que buscan implementar sistemas de gestión documental eficiente y transparente.

Finalmente, si bien existe instrumentación para el control de los depósitos, éste todavía es un aspecto que las compañías mineras pueden robustecer, por ejemplo, aumentando el número de las variables que se monitorean en línea. Además, se detectan otros aspectos a fortalecer relacionados principalmente con temas de difusión interna o externa de sus políticas y programas de gestión; el fortalecimiento de las relaciones con las comunidades a través del desarrollo de planes, programas y/o actividades dirigidas; el registro constante de las decisiones sobre la gestión de los depósitos; y finalmente con aquellas prácticas relacionadas con la evaluación y el control de la gestión, que incluya por ejemplo *checklist* de implementación, monitoreo continuo de resultados, evaluación del logro de objetivos o de la efectividad del proceso de gestión, enfocados en la mejora continua.

Las políticas de gestión son revisadas a nivel corporativo por las altas directivas, que definen gobernanzas para abordar los desafíos en la gestión de los depósitos.

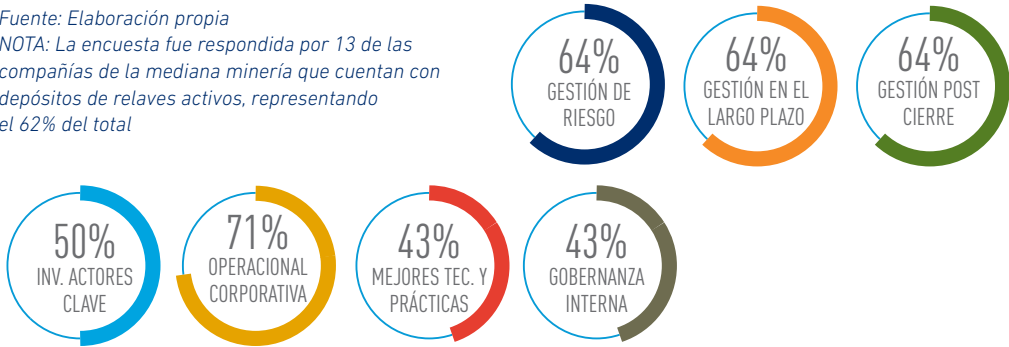
## c. Mediana minería

Por su parte, la mediana minería, también presenta avances en la gestión de sus depósitos. Tal como se observa en la Figura 4, del total de las compañías consultadas, más de la mitad afirma que sus políticas consideran la gestión del riesgo y la gestión en el largo plazo, incluyendo el post-cierre, situando estos aspectos como parte de la estructura corporativa. Sin embargo, se observa que existen otros aspectos en los que se detectan oportunidades de mejora, como el involucramiento de actores claves; el uso de las mejores tecnologías y prácticas disponibles o la definición de una gobernanza interna en relación a la gestión de los depósitos de relaves. Cabe destacar, que la mediana minería cuenta con una variabilidad muy marcada en el tamaño de sus depósitos, producto de sus distintas capacidades productivas, lo que refleja la existencia de subgrupos en este sector.

**FIGURA 4.**  
**RESULTADOS DE LA ENCUESTA DE LA MEDIANA MINERÍA SOBRE EL ENFOQUE DE SUS POLÍTICAS DE GESTIÓN**

Fuente: Elaboración propia

NOTA: La encuesta fue respondida por 13 de las compañías de la mediana minería que cuentan con depósitos de relaves activos, representando el 62% del total



Al analizar de manera más específica las acciones que la mediana minería desarrolla **(Véase Anexo 4: Resultados de talleres de trabajo mediana minería)**, se observa que varias mineras caracterizan tanto el depósito como el sitio donde éste se emplaza, ya que conocen la composición mineralógica y química del relave y del muro de los depósitos, y cuentan con estudios hidrogeológicos o hidrológicos del entorno. Sin embargo, es menos frecuente la realización de pruebas para determinar la capacidad para generar ácido del relave o del muro, el desarrollo de modelos conceptuales, el registro hidrometeorológico local o el levantamiento de la línea base de las aguas superficiales.

En general, como parte del control de los depósitos, se realizan inspecciones visuales y monitoreo de las variables exigidas en el Formulario E-700 (Véase Cuadro 1), de las variables comprometidas con los distintos organismos gubernamentales (RCA, fiscalizaciones, etc.), así como del agua subterránea. Sin embargo, no es frecuente el control de las aguas superficiales, de las posibles infiltraciones desde el depósito o de las aguas claras. Casi ninguna de

las compañías encuestadas declara tener automatizado o en línea cualquiera de los monitoreos que realiza, pero sí, más de la mitad de las compañías consultadas cuentan con revisores independientes en alguna de sus actividades. Finalmente, en la actualidad, no es una práctica extendida realizar actividades relacionadas con la difusión, capacitación, evaluación o control del proceso de gestión de los depósitos de relaves.

**d. Pequeña minería**

En el caso de la pequeña minería el levantamiento de información se realizó consultando a SERNAGEOMIN, organismo al que estas faenas reportan el estado de sus depósitos activos. De esta fuente se desprende que, en general, en la pequeña minería se monitorean exclusivamente aquellos aspectos comprometidos en el diseño de sus depósitos y, por ende, básicamente solo se cuenta con información relacionada con los flujos de carga de estas pequeñas instalaciones. Otro punto importante es que, en estos casos, los monitoreos y mediciones son exclusivamente manuales, ya que los recursos y las tecnologías con que cuenta este sector son limitados.

### e. Abandonados

Finalmente, en lo referente a los depósitos abandonados, se debe considerar que tanto la falta de regulación como de capacidades para abordar la gestión de las instalaciones mineras abandonadas en el país, hacen que aun sean escasos los avances, no sólo a nivel normativo, sino también desde un punto de vista administrativo y financiero. En los últimos años, los principales esfuerzos y lineamientos que se vienen desarrollando han estado enfocados en el catastro y caracterización de las instalaciones abandonadas y/o paralizadas, en la clasificación de algunos depósitos como pasivos ambientales mineros (PAM) basado en los riesgos asociados, y

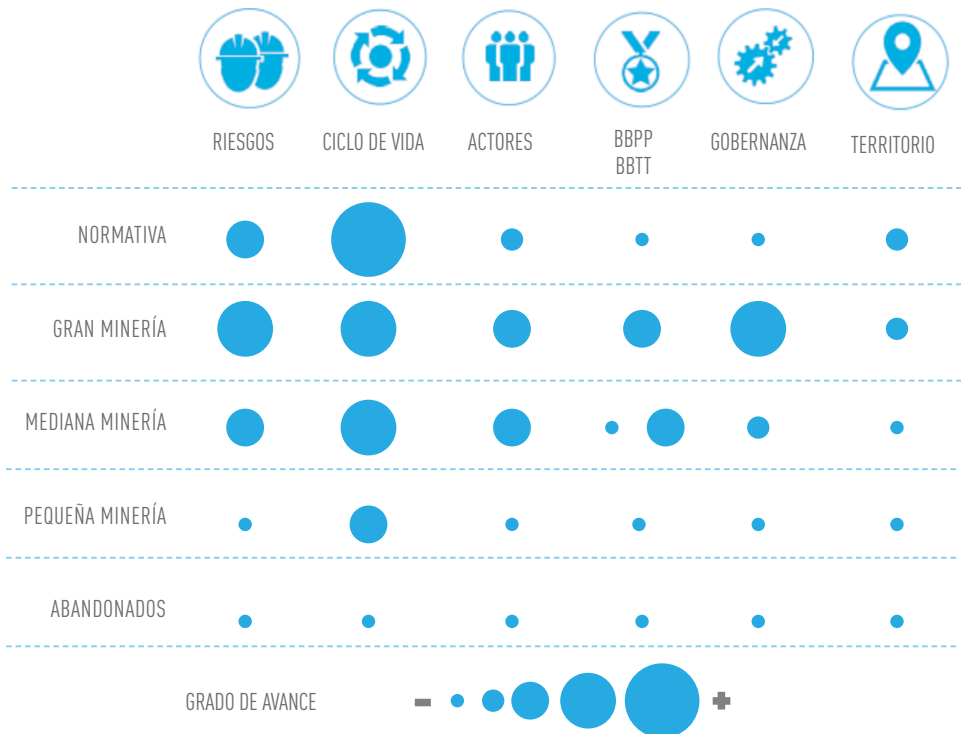
finalmente, en la priorización y propuestas de proyectos de remediación concretos, algunos de los cuales se presentan en el **Anexo 5: Remediación de depósitos de relaves abandonados**. En general, el control sobre este tipo de instalaciones es mínimo.

### f. Síntesis

A modo de resumen, la Figura 5 presenta un diagnóstico cualitativo del grado de avance de los elementos fundamentales considerados en el análisis, contribuyendo al entendimiento de cómo son gestionados actualmente los depósitos de relaves en Chile respecto a las tendencias internacionales.

**FIGURA 5.**  
**DIAGNÓSTICO CUALITATIVO DE LOS AVANCES EN LA GESTIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES**

Fuente: Elaboración propia



Como se puede observar en la figura anterior, la situación a nivel nacional es dispar, reflejando las distintas realidades del sector minero. Si nos enfocamos en la situación con respecto a la normativa, el mayor avance se ve reflejado en el elemento ciclo de vida, asociado principalmente a la promulgación de la Ley de Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras. La gran minería, por su parte, presenta esfuerzos a distintos niveles en abordar todos los elementos fundamentales analizados. Tanto la pequeña minería como los depósitos abandonados en el país, muestran un menor grado de avance para cualquiera de los elementos analizados. Es importante destacar que si bien Chile, a diferencia de otros países, cuenta con una herramienta legal específica (D.S. 248), en ésta no quedan reflejadas todas las tendencias internacionales en relación a las mejores prácticas en la gestión de los depósitos de relaves.

En el capítulo 4 de esta publicación se abordan las oportunidades de mejora sobre la gestión de los depósitos de relaves, de acuerdo al análisis presentado.

### **3.1 ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE LA ESTABILIDAD FÍSICA Y QUÍMICA**

Al analizar directamente la gestión de la estabilidad física y química de los depósitos, Chile se caracteriza por exigir y adoptar principalmente los requerimientos técnicos que se especifican en el D.S. 248 en referencia al diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves, destacando los avances en relación a las exigencias en el diseño de los depósitos, como por ejemplo, la definición del sismo de diseño a considerar o que en el método constructivo de los tranques quede prohibido la modalidad aguas arriba.

El Estado lleva un control de los depósitos activos mediante el registro directo de algunos

parámetros comprometidos en el diseño a través del Formulario E-700 que, desde el año 2010, las compañías mineras con depósitos activos deben reportar trimestralmente. La información que se adquiere mediante este formulario, básicamente, aborda aspectos relacionados directamente con la estabilidad física del depósito (Cuadro 1).

Durante la operación, las acciones se encaminan a controlar la cantidad y calidad de las arenas para mantener una altura y ángulos de talud del muro; mantener la laguna de aguas claras alejada del muro; mantener el desnivel entre el coronamiento del muro y la altura de la laguna de aguas claras sobre una altura mínima de 2 metros; o realizar un control rutinario para detectar posibles deformaciones o asentamientos, filtraciones anormales en el muro o presencia de grietas, entre otros.

En cuanto a los aspectos que pueden estar relacionados con la estabilidad química, en la actualidad, las principales medidas que las compañías mineras adoptan están focalizadas, por un lado, en el monitoreo de las aguas circundantes al depósito y, por otro lado, con medidas de mitigación sitio-específicas. En general, muchas de estas acciones están relacionadas con los compromisos adquiridos con la autoridad, descritos en sus Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA).

Durante la operación y con una mirada al cierre, muchas de las medidas están focalizadas en hacer del depósito un sistema cerrado, controlando que la entrada de agua sea únicamente del proceso. Para evitar otras entradas se construyen canales de contorno para manejo del agua de lluvia, e incluso se desarrollan proyectos específicos como el confinamiento de causes en quebradas cercanas, evitando el contacto con el relave. En referencia al control sobre las salidas, algunos depósitos cuentan con membranas geotextiles que impermeabilizan el muro de confinamiento, pero principalmente se

construyen sistemas de drenes y, en algunos casos, sumideros y zanjas corta-fugas a pie de muro, pozos de captación (barrera hidráulica), piscinas colectoras y vertederos de emergencia aguas abajo, entre otros. Una vez que el agua es interceptada, ésta se bombea y recircula de nuevo al proceso. Finalmente, es frecuente que como parte de la rutina se establezcan planes de monitoreo preventivo y planes de monitoreo de seguimiento y control del agua superficial y subterránea en los pozos aguas abajo del muro del depósito, comprometidos en los acuerdos de sus RCA. Estos planes se realizan con distintas periodicidades y en algunos casos, se completan con análisis de tendencias históricas.

Como medidas adicionales, las compañías mineras proponen acciones reactivas, como la construcción de plantas de proceso para el tratamiento de agua, o acciones concretas de mitigación dirigidas al control de infiltraciones y dispersión de plumas contaminantes, como la construcción de pozos de inyección de agua al acuífero o el tratamiento de aguas mediante humedales, entre otros.

En relación a la instrumentación de los depósitos de relaves, los instrumentos comúnmente usados en la gran minería son: piezómetros (de fibra óptica, eléctricos de cuerda vibrante, hidráulicos) para controlar niveles freáticos y presión de poros; acelerógrafos para detectar aceleración sísmica; densímetros; inclinómetros, placas de corrimiento, monolitos y sensores que controlan las deformaciones, desplazamientos o asentamientos. Otros instrumentos menos comunes son ecosondas para medir la profundidad de las aguas claras; red de prismas para el control topográfico; sensores ultrasónicos para medir la profundidad del relave o extensómetros de fibra óptica para detectar deformaciones en el coronamiento, entre otros. Asimismo cuentan con estaciones meteorológicas para llevar un control de los parámetros

**Durante la operación y con una mirada al cierre, muchas de las medidas están focalizadas en hacer del depósito un sistema cerrado, controlando que la entrada de agua sea únicamente del proceso.**

meteorológicos e hidrometeorológicos del sitio donde se emplazan.

De los instrumentos catastrados en la mediana minería, los más comunes son: piezómetros para el control del nivel freático en el muro, para detectar la presencia de agua en el interior de la masa de relaves espesados o el control de eventuales infiltraciones desde el depósito como control del sistema de impermeabilización del depósito si lo hubiere; piezómetros eléctricos tipo cuerda vibrante para determinar la presión del relave; piezómetros hidráulicos que además del nivel freático, permiten calcular la presión de poros en el muro y monolitos que controlan desplazamientos, asentamientos y deformaciones. Si bien hay otros tipos de instrumentos, éstos son utilizados de manera puntual como es el caso de las placas topográficas para medir asentamientos; regletas que miden los desplazamientos relativos; cámaras de inspección para monitorear el funcionamiento de los drenes; celdas de presión electrónica tipo cuerda vibrante; densímetros para conocer la densidad *in situ*; detectores de fugas; flujómetros que miden caudales; inclinómetros para detectar deformación o limnímetros para controlar el nivel de aguas claras, entre otros.

# 4

## RETOS EN LA GESTIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES EN CHILE



El análisis presentado en el capítulo anterior permite tener una visión general de las principales oportunidades de mejora que enfrenta actualmente la industria minera chilena y que pueden ser abordadas a través de distintas iniciativas provenientes tanto del sector privado como del público.

Si bien la gestión de los depósitos de relaves es compleja, es deseable ir más allá de lo convencional, implementando diferentes directrices de carácter estructural que marquen las acciones necesarias para mejorar el planteamiento y rendimiento, en todos los sentidos, de la gestión de los depósitos de relaves. En definitiva, el objetivo debe ser el desarrollo de una gestión integral, consolidando una nueva cultura que, en línea con las iniciativas internacionales al respecto, marquen un nuevo paradigma en la gestión de los depósitos de relaves en Chile, incorporando mejoras en el día a día, a lo largo de todo el ciclo de vida de los depósitos, aun cuando la envergadura y las características de gestión de los distintos tipos de depósitos son muy diferentes.

La comprensión de cómo son gestionados actualmente los depósitos de relaves chilenos permite detectar cuáles son los aspectos a priorizar en la planificación de, por ejemplo, la política, los recursos financieros o del capital humano, a través del desarrollo de mejoras específicas. En este sentido, a continuación se destacan los principales retos identificados para la gestión de los depósitos de relaves en Chile.

#### a. Mejoras a nivel normativo

Si bien hay avances considerables en algunos aspectos, son varias las oportunidades que apuntan a la necesidad de actualizar las distintas regulaciones, incorporando no sólo los avances en torno a la gestión, sino que respondiendo a las necesidades sitio-específicas de los depósitos e inculcando la estructura de un modelo de gestión integral de los depósitos de relaves a nivel país, difundido y compartido con todos los actores interesados. Asimismo, es necesario promulgar otras normativas específicas, como por ejemplo, las relativas a los pasivos ambientales mineros o al control de las infiltraciones desde los depósitos, regulando las fuentes difusas de contaminación, como tareas históricamente pendientes en el país. De manera más específica se indican los siguientes retos:

- Considerar incorporar una **definición de riesgo ambiental** asociado a estabilidad química.
- Ajustar las exigencias al **tamaño y tipo** de depósito de relaves.
- Considerar lineamientos a nivel de **gestión/gobernanza** (Ej. Ingeniero de registro).
- Incorporar la gestión de los depósitos de relaves como parte de la **gestión territorial**.
- Insistir en la mejora continua en la gestión a través de la incorporación

de **buenas prácticas de gestión** y **avances tecnológicos**.

- Fortalecer el **diálogo** territorial y comunitario.
- Considerar la incorporación de **otros conceptos**, tales como el cambio climático.

### **b. Mirada desde la gestión del riesgo**

La gestión actual de los depósitos de relaves y, en general, de las afectaciones de la industria minera, siguen estando basadas principalmente en los impactos que las distintas actividades generan sobre el medio ambiente y las personas. Sin embargo, es necesario reforzar e interiorizar la mirada de una gestión desde el punto de vista del riesgo ambiental asociado, respondiendo al cambio cultural esperado en la gestión de los depósitos de relaves. Estos avances deben ir de la mano de normativas contundentes que definan claramente este concepto y marquen las acciones que faciliten su desarrollo, a través de la cultura del riesgo.

### **c. Mirada territorial, gestión de cuencas**

La industria minera tiene la necesidad de mitigar los impactos directos e indirectos sobre los cuerpos de agua que interactúan con sus instalaciones, y por otro lado, entender la interacción entre los depósitos de relaves y su entorno como un todo. En este sentido, es importante apostar por políticas concretas, con un enfoque de gestión a escala de cuenca, acompañado del trabajo colaborativo a todos los niveles que involucre tanto al sector público como privado, y asegure el diálogo con la comunidad sobre el uso de este recurso.

### **d. Control de todas las variables que aseguren la estabilidad**

El formulario E-700 es la herramienta que el Estado tiene para el control de los depósitos activos. Sin embargo, este formulario está principalmente enfocado en el control de parámetros exclusivamente relacionados con la estabilidad física del depósito, quedando fuera aquellas variables relacionadas con la estabilidad química, por lo que es necesario ampliar el control sobre todos los aspectos relacionados con la estabilidad de los depósitos, tanto física como química, contribuyendo de este modo a disminuir los riesgos asociados a la salud de las personas y el medio ambiente. Además, es importante continuar con el objetivo de lograr el control de todos los depósitos, incluyendo los inactivos y abandonados, asegurando las facultades del Estado para tal desempeño.

### **e. Programa de gestión para los depósitos de relaves**

La definición y el desarrollo de un programa de gestión de los depósitos de relaves puede ser una herramienta robusta de gestión, permitiendo tomar decisiones informadas, desarrollando la gestión segura y costo-eficiente de los depósitos de relaves, transformándose en un estándar corporativo cuyo uso venga promovido e incluso exigido desde el Estado (**Véase Anexo 6: Programa de gestión integral de los depósitos de relaves**).

### **f. Inversión en tecnologías eficaces de monitoreo**

En Chile se han implementado sistemas de monitoreo parciales, principalmente ligados a la estabilidad física de los depósitos de relaves, la captura automatizada de información desde sensores, el uso de tecnologías remotas, la transmisión en línea de la información y el procesamiento básico de la data generada, pero estos aún no han sido desarrollados

eficazmente como un todo, tampoco desde un punto de vista costo-eficiente. Se necesitan desarrollos de monitoreo innovadores, que aseguren la estabilidad física y química del depósito como parte de una gestión integral (**Véase Anexo 7: Tecnologías al servicio de la gestión de los depósitos de relaves**).

#### **g. Enfoque hacia prácticas de carácter preventivo**

Actualmente la gran mayoría de las prácticas relacionadas con el sector minero y especialmente aquellas relativas a la fiscalización del desempeño de los depósitos, tienen un enfoque de carácter reactivo, es decir, se actúa frente a una situación ya dada. Es necesario trabajar en un cambio cultural que apunte a instaurar o a afianzar aquellas prácticas que permitan anticiparse, es decir, con un firme sentido preventivo.

#### **h. Mejora continua**

Se detecta la necesidad de enfatizar la mejora continua de aspectos tales como las competencias técnicas y capacitaciones que reciben los operadores; también en el nivel de comunicación interna en las compañías mineras; en la generación de gobernanzas robustas que dirijan una gestión eficaz; y en asegurar la comunicación e implementación de los protocolos de emergencia ante posibles fallas o frente a eventos naturales que puedan afectar la estabilidad de los depósitos.

#### **i. Reducción de asimetrías**

Uno de los desafíos que enfrenta la gestión de los depósitos de relaves es hacerse cargo de las asimetrías que existen entre la gran, mediana y pequeña minería, de manera de asegurar estándares de gestión de los depósitos de relaves, aplicables a todos los tipos de depósitos, acordes con la realidad que presentan cada uno de ellos, independientemente del sector que sea. Del mismo modo, es importante fortalecer

Uno de los desafíos que enfrenta la gestión de los depósitos de relaves es hacerse cargo de las asimetrías que existen entre la gran, mediana y pequeña minería, de manera de asegurar estándares de gestión de los depósitos de relaves, aplicables a todos los tipos de depósitos.

la comprensión de aspectos tales como los riesgos financieros y reputacionales a los que se enfrentan las compañías mineras frente a la falla de un depósito, responsabilidades jurídicas asociadas o conocimiento de qué se entiende por cultura del riesgo, entre otros.

En el Cuadro 3 a continuación se resumen los principales retos identificados para la gestión integral de los depósitos de relaves.

### CUADRO 3. RETOS DESTACABLES PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES

Fuente: Elaboración propia

#### RETOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES

1. **Disponer de un estándar corporativo de gestión**, mediante la definición y desarrollo de un programa de gestión de los depósitos de relaves. Este programa debe ser específico para cada instalación, y establece las estrategias de compromiso de las compañías mineras, como parte de la responsabilidad sobre sus depósitos.
2. **Incorporar personal responsable y capacitado**, como las figuras técnicas del ingeniero de registro y de la persona competente, como parte fundamental del equipo de trabajo, que coordinen y desarrollen el control de todos los aspectos desarrollados en la gestión de los depósitos, a lo largo de todo el ciclo de vida.
3. **Incorporar la gestión del riesgo en cada una de las fases del proyecto**, así como determinar los posibles modos o probabilidad de falla. Las medidas que se tomen deben estar enfocadas a reducir los riesgos asociados y en establecer planes de contingencia en caso de falla.
4. **Incorporar programas y actividades de monitoreo en cada una de las fases del proyecto** mediante inspecciones periódicas, contemplando la construcción y operación del depósito; de la estabilidad física y química del depósito y del manejo y calidad de los efluentes.
5. **Fomentar la utilización de las mejores prácticas y tecnologías** en la gestión de los depósitos de relaves, así como el desarrollo de estándares de gestión y buenas prácticas en la industria minera.
6. **Fomentar el desarrollo de acciones de carácter preventivo** mediante la implementación de buenas prácticas que busquen minimizar el riesgo hacia la salud de las personas y el medio ambiente en relación a los depósitos de relaves.
7. **Establecer sistemas de control externos** a distintos niveles, realizados por profesionales independientes adecuadamente acreditados.
8. **Incorporar la mirada de la gestión de cuencas** como una herramienta más en la gestión de los depósitos de relaves, que implique una mirada sistémica en escala y que desarrolle un trabajo colaborativo tanto del sector público como privado.

# 5

ANEXOS



FOTOGRAFIA: DÉBORA GOMBEROFF

## **Anexo 1:**

### **Organismos relacionados con los depósitos de relaves**

Ministerio de Minería  
<http://www.minmineria.gob.cl/>

Ministerio del Medio Ambiente  
<http://portal.mma.gob.cl/>

Ministerio de Obras Públicas  
<http://www.mop.cl/Paginas/default.aspx>

Ministerio de Salud  
<http://www.minsal.cl/>

Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN)  
<http://www.sernageomin.cl/>

Oficina de Depósitos de Relaves (SERNAGEOMIN)  
<http://www.sernageomin.cl/deposito-de-relaves/>

Departamento de Gestión Ambiental y Cierre de Faenas (SERNAGEOMIN)  
<http://www.sernageomin.cl/mineria/>

Servicio de Evaluación Ambiental  
<http://www.sea.gob.cl/>

Superintendencia del Medio Ambiente  
<http://www.sma.gob.cl/>

Dirección General de Aguas  
<http://www.dga.cl/Paginas/default.aspx>

Consejo Minero  
<http://dev.consejominero.cl/>

Sociedad Nacional de Minería  
<http://www.sonami.cl/site/>

Comisión Chilena del Cobre  
<https://www.cochilco.cl>



## **Anexo 2:**

### **Listado de guías internacionales de depósitos de relaves**

- 2004. TSM Tailings Management Protocol (MAC).
- 2011. Sustainable Design and Post-Closure Performance of Tailings Dams (ICOLD)
- 2011. Bulletin 139 - Improving tailings dam safety: critical aspects of management, design, operation and closure (ICOLD).
- 2011. A Guide to the Management of Tailings Facilities (MAC).
- 2011. A Guide to the Audit and Assessment of Tailings Facility Management (MAC).
- 2011. Developing an Operation, Maintenance and Surveillance Manual for Tailings and Water Management Facilities (MAC).
- 2012. Guidelines on tailings dam design construction and operation (ANCOLD).
- 2013. Dam safety guidelines (CDA).
- 2013. Bulletin 153 - Sustainable design and post-closure performance of tailings dams (ICOLD).
- 2014. Mining Dams Technical Bulletin (CDA).
- 2014. Safety guidelines and good practices for tailings management facilities (UNECE).
- 2015. Critical Control Management Implementation (ICMM).
- 2016. Position statement on preventing catastrophic failure of tailings storage facilities (ICMM).
- 2017. A Guide to the Management of Tailings Facilities, Third Edition (MAC).

## Anexo 3:

### Estabilidad de los depósitos de relaves

El diseño, construcción, operación, cierre y post-cierre de los depósitos de relaves están enfocados en contener, de manera segura, este desecho minero, lo que queda explicitado a través de las normativas que cada país desarrolla al respecto, requiriendo, además, ser considerado en los programas de gestión de cada compañía, para alcanzar así el mejor rendimiento de los depósitos sin comprometer su seguridad.

Son numerosos los aspectos relacionados con la seguridad y estabilidad de este tipo de instalaciones cuya gestión inapropiada puede significar la potencial ocurrencia de una falla de los mismos. Si bien estos aspectos son de diversa índole, se pueden agrupar de manera simplificada en aquellos relacionados con:

- 1) El emplazamiento del depósito, del que dependen aspectos como los riesgos geológicos que afectan al depósito o las características climatológicas y sísmicas, entre otros.
- 2) El diseño del depósito, que debe considerar propiedades geotécnicas del terreno, el método constructivo o las características geométricas del depósito (drenaje basal, altura, ángulo de talud aguas abajo o volumen), entre otros.
- 3) La operación y control del depósito, ya que la falta de procedimientos claros de monitoreo pueden contribuir a la falla del depósito.

Todos estos aspectos están relacionados directamente con la estabilidad física y química de los depósitos, que inciden en su desempeño y que, por tanto, deben ser consideradas como parte de su gestión.

La gestión debe tener un carácter preventivo y apuntar a minimizar potenciales riesgos por cambios que afecten variables críticas de estabilidad física y química del depósito. Su planificación deberá ser exhaustiva, considerando la totalidad de los aspectos durante su vida útil y posterior a su cierre.

#### Estabilidad física de un depósito de relaves

De manera simplificada, la estabilidad física es aquella condición que asegura la contención del relave evitando su liberación fuera del depósito. Los factores que condicionan directamente esta estabilidad y que pueden, en última instancia, causar una falla, se pueden clasificar en: parámetros críticos y eventos gatilladores.

Los **parámetros críticos** son propiedades cuantificables del depósito que individual o conjuntamente con otros parámetros podrían afectar a su estabilidad

física. Entre ellos se cuentan la granulometría del material del muro, la presión de poros del muro y cubeta, la pendiente de la playa, la altura de la revancha, el caudal de recolección del sistema de drenaje, entre otros. Por otro lado, los **eventos gatilladores** son los agentes, fenómenos o intervenciones de tipo natural (lluvia, viento, sismo o un deslizamiento de tierra que alcance el depósito, entre otros) o de tipo antrópico (modificaciones en los canales de contorno, obras de desvíos de cauces, falla de vertedero de emergencia o en el sistema de recuperación de aguas claras, entre otros), que también pueden afectar la estabilidad del depósito. Se debe tener en consideración que la falla física del depósito no necesariamente es debida a la ocurrencia de un solo factor, sino que pueden ser resultado de la combinación de varios.

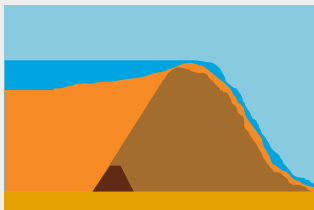
La estabilidad física en un depósito se puede ver comprometida a través de varios mecanismos de falla, los que en términos generales pueden ser representados por los mecanismos de rebalse, erosión interna e inestabilidad de taludes.

- **Rebalse** (*overtopping*): se produce cuando el nivel del relave o del agua de la cubeta excede la altura del muro de contención o cuando se produce una erosión progresiva generando una brecha en el muro, que supone, finalmente, el derrame de material desde el depósito.
- **Erosión interna** (*piping*): se genera por un arrastre progresivo de las partículas más finas que conforman el material empleado para la construcción del muro o aquel que constituye el suelo de fundación del depósito, permitiendo el flujo de agua o de relave favoreciendo entonces la erosión progresiva hacia la fuente de filtración (aguas arriba), llegando a generar una falla local del depósito o del suelo de fundación.
- **Inestabilidad de taludes**: caracterizado por un desprendimiento importante del volumen del muro de contención debido a que, en términos generales, el muro pierde equilibrio, pudiendo producir desplazamientos y deformaciones importantes en el mismo, comprometiendo la contención de los relaves.

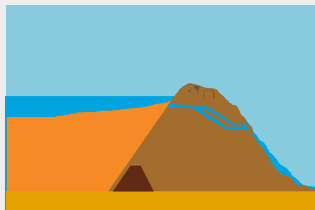
**FIGURA 6**  
REPRESENTACIÓN DE MECANISMOS DE FALLA

Fuente: SERNAGEOMIN, 2003

**1. Falla por rebalse**



**2. Falla por erosión interna**



**3. Falla por inestabilidad de taludes**



Las consecuencias de una falla de carácter físico dependen no sólo del tipo de falla sino de otros aspectos tales como la envergadura del depósito, la cantidad de relave liberado o la forma en que ésta se produzca.

### Estabilidad química de un depósito de relaves

La química de los materiales presentes en el depósito y su relación con el medio circundante son aspectos a considerar en el desempeño de la estabilidad química de un depósito de relaves y suponen, tanto para la industria minera como para las autoridades, un desafío importante en relación a su gestión.

Considerando que una vez depositado el relave, sus componentes pueden ser movilizados, son varios los medios ambientales que pueden interactuar con él y por ende, verse potencialmente afectados, tal como se muestra en la Figura 7. Por ejemplo, debido al tamaño de sus partículas, el relave puede ser dispersado directamente desde el depósito, por acción del viento, afectando la calidad del aire; o en su interacción con diferentes factores (principalmente agua, oxígeno y actividad microbiológica), se pueden desencadenar una serie de procesos geoquímicos cuyo principal resultado es la generación de fluidos, comúnmente conocidos como drenajes o aguas de contacto, que pueden infiltrar, alcanzando a las aguas subterráneas o superficiales circundantes al depósito. Esta situación significa una condición de inestabilidad química dentro del depósito.

**FIGURA 7**  
ESQUEMA SIMPLIFICADO DE LA AFECTACIÓN  
A COMPONENTES AMBIENTALES

Fuente: Elaboración propia



Las medidas de gestión de la estabilidad química deben estar encaminadas a prevenir y/o controlar la generación de drenajes, evitando y/o limitando la interacción entre los diferentes factores involucrados en el proceso generador (SERNAGEOMIN & Fundación Chile, 2015). Algunas de las medidas encaminadas a tal hecho son: manejo estratégico del material con capacidad de reacción (minería secundaria, planificación de la explotación, manejo selectivo o mezcla de materiales (enmiendas alcalinas); control microbiológico o la utilización de liners o cubiertas que minimizan, evitan y/o derivan el flujo de agua y la percolación de oxígeno en el depósito, entre otros.

Por otro lado, la impermeabilización de la cubeta, la construcción de depósitos de relaves no convencionales o la construcción de drenes en la base del depósito contribuyen a evitar la infiltración de los drenajes y la afectación a los cuerpos de agua circundantes.

La composición de las aguas circundantes al depósito dependerá de la del agua receptora (considerada como natural), de la composición del drenaje proveniente del depósito o de las características del suelo, entre otros. Se debe considerar que la modificación en la composición de las aguas puede limitar o poner en peligro su uso posterior, bien sea natural (ecológico) o antrópico (agua potable, de riego, uso recreacional, agrícola, industrial, comercial u otros).





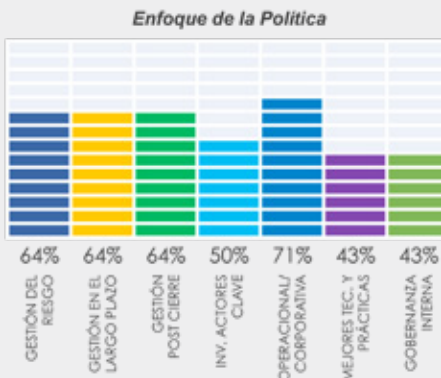
**FIGURA 10**

**RESULTADOS ENCUESTA MEDIANA MINERÍA: GESTIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES (PARTE 1)**

Fuente: Elaboración propia

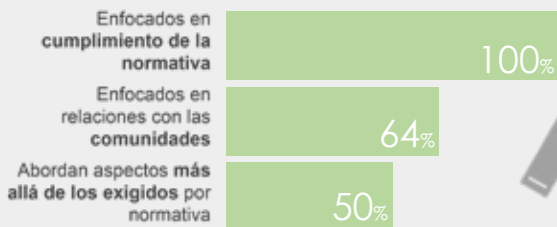
**Resumen de resultados encuesta Mediana Minería (\*)**

**1. PLANIFICACIÓN**

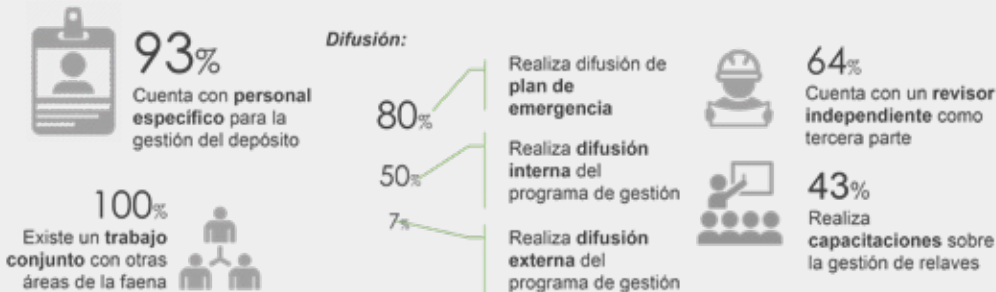


**2. PLANES, PROGRAMAS Y ACTIVIDADES DE CARÁCTER TÉCNICO**

Disponen de planes, programas o actividades:



**3. CAPITAL HUMANO, COMUNICACIÓN E INVOLUCRAMIENTO**



(\*) Información obtenida de encuestas a 13 compañías mineras, que representan el 62% de la mediana minería de Chile, con depósitos de relaves activos.

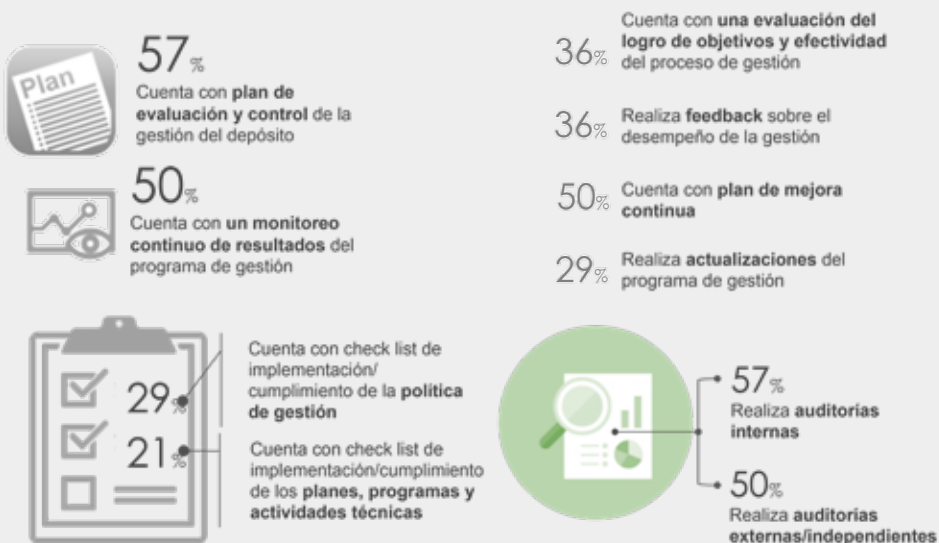
**FIGURA 11**  
**RESULTADOS ENCUESTA MEDIANA MINERÍA: GESTIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES (PARTE 2)**  
 Fuente: Elaboración propia

**Resumen de resultados encuesta Mediana Minería (\*)**

**4. GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN**



**5. EVALUACIÓN Y CONTROL\***



(\*) Información obtenida de encuestas a 13 compañías mineras, que representan el 62% de la mediana minería de Chile,

## Anexo 5:

### Remediación de depósitos de relaves abandonados

#### I. Remediación de depósitos de relaves abandonados en Andacollo (Región de Coquimbo)

La ciudad de Andacollo cuenta con numerosos depósitos de relaves, muchos en el radio urbano. Entre los años 2011 y 2013, se realizaron gestiones público-privadas para la remediación de dos de los depósitos. Mientras que en uno de ellos se optó por la extracción directa del relave y su traslado, en el otro se realizaron distintas acciones enfocadas en la mejora de la calidad paisajística del entorno, para lo cual se creó un cerco vegetal, se restituyó la cubierta del suelo y se construyó un mirador, además de plantar ejemplares de especies autóctonas definidas como vulnerables y, a petición de los vecinos del sector, fue instalada una cancha de pasto sintético para uso de la comunidad.

#### FIGURA 12 UBICACIÓN SECTOR DE REMEDIACIÓN CONVENIO DAYTON EN ANDACOLLO

Fuente: Modificado de [www.mma.gb.cl](http://www.mma.gb.cl) en CEPAL, 2016



Estos trabajos se realizaron bajo el Convenio entre la Subsecretaría del Medio Ambiente con la Compañía Minera Dayton (Fuente de financiamiento privada - US\$ 258.500). Debido al establecimiento del Plan de Descontaminación en Andacollo, tanto Minera Dayton como Minera Teck Carmen de Andacollo debieron establecer medidas de control de emisiones de material particulado generales en la zona (MMA, 2014).

#### **Más información en:**

- CENMA, 2011: Diagnóstico de calidad de aire y medidas de descontaminación, Andacollo. Disponible en: [http://metadatos.mma.gob.cl/sinia/articles-55362\\_EstudioAndacollo\\_CENMA.pdf](http://metadatos.mma.gob.cl/sinia/articles-55362_EstudioAndacollo_CENMA.pdf)
- Fundación Chile, 2015: Remediación en la minería en Chile- avances y desafíos. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/12/PRESENTACION-15-FUNDACION-CHILE.pdf>
- MMA, 2014: Establece plan de descontaminación atmosférica para la localidad de Andacollo y sectores aledaños. Disponible en: [http://www.mma.gob.cl/transparencia/mma/doc/DS\\_59\\_EstablecePDA\\_Andacollo.pdf](http://www.mma.gob.cl/transparencia/mma/doc/DS_59_EstablecePDA_Andacollo.pdf)
- Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente, 2013: Remoción ambiental sustentable de relaves urbanos en Andacollo. Disponible en: <http://docplayer.es/34637014-Mma-remediacion-andacollo-27-09-13-remocion-ambiental-sustentable-de-relaves-urbanos-en-andacollo.html>.

## **II. Remediación de depósitos de relaves abandonados en Andacollo II (Región de Coquimbo)**

Entre 2011 y 2013 se realizaron gestiones público-privadas para el saneamiento de relaves abandonados en Andacollo, las que derivaron en el Convenio entre la Subsecretaría del Medio Ambiente con Compañía Minera Teck – Carmen de Andacollo (Fuente de financiamiento privada - US\$ 410.000). En este proyecto se realizó la remoción voluntaria de relaves históricos, no relacionados con las operaciones de la Cía. Minera Teck Carmen de Andacollo, luego de adquirir el terreno en el cual se ubicaban estos pasivos ambientales que datan de 1950. Las acciones llevadas a cabo fueron las siguientes: I. Trabajo de manera conjunta con la comunidad, que consideró la limpieza de un área cercana a los 10.000 metros cuadrados, en la cual se ubicaban dos relaves abandonados; II. Remoción de más de 255 mil toneladas de material y liberación de una superficie superior a los diez mil metros cuadrados; III. Entrega de la mitad del terreno liberado al municipio y en el espacio restante, fue desarrollado un espacio para beneficio de la comunidad, relacionado con el deporte y la educación. Debido al establecimiento del Plan de Descontaminación en Andacollo, la Cía. Minera Teck Carmen de Andacollo debieron establecer medidas de control de emisiones de material particulado generales en la zona (MMA, 2014).

### FIGURA 13 PASIVOS MINEROS EN SANTA FE

Fuente: Modificado de Guillén & Rodríguez, 2011 en CEPAL, 2016



#### Más información en:

- CENMA, 2011: Diagnóstico de calidad de aire y medidas de descontaminación, Andacollo. Disponible en: [http://metadatos.mma.gob.cl/sinia/articulos-55362\\_EstudioAndacollo\\_CENMA.pdf](http://metadatos.mma.gob.cl/sinia/articulos-55362_EstudioAndacollo_CENMA.pdf)
- Fundación Chile, 2015: Remediación en la minería en Chile- avances y desafíos. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/12/PRESENTACION-15-FUNDACION-CHILE.pdf>
- MMA, 2014: Establece plan de descontaminación atmosférica para la localidad de Andacollo y sectores aledaños. Disponible en: [http://www.mma.gob.cl/transparencia/mma/doc/DS\\_59\\_EstablecePDA\\_Andacollo.pdf](http://www.mma.gob.cl/transparencia/mma/doc/DS_59_EstablecePDA_Andacollo.pdf)
- Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente, 2013: Remoción ambiental sustentable de relaves urbanos en Andacollo. Disponible en: <http://docplayer.es/34637014-Mma-remediacion-andacollo-27-09-13-remocion-ambiental-sustentable-de-relaves-urbanos-en-andacollo.html>

### III. Retiro de relaves en el municipio de La Higuera (Región de Coquimbo)

Depósito de relaves abandonado de más de 6.500 toneladas, en las cercanías del centro de la salud de la zona, inicialmente cubierto para evitar la dispersión del material producto del viento. La alcaldía, con el apoyo técnico y económico de la empresa CAP Minería, que mantiene operaciones de hierro en la comuna, desarrolló el proyecto de retiro de los residuos, los que fueron ubicados en depósitos activos de CAP. De acuerdo a lo indicado por la compañía minera lo más complicado que enfrentaron en la etapa previa al retiro de los desechos fue ubicar a los propietarios de las faenas abandonadas, ya que al ser tan antiguas, sus dueños ya no vivían en la zona y era necesario que autorizaran el traspaso de la propiedad al municipio. Fuente de financiamiento privado.

**FIGURA 14**  
**LA HIGUERA ANTES Y DESPUÉS DEL RETIRO DE RELAVES**

*Fuente: Modificado de Qué Pasa Minería, 2012 en CEPAL, 2016*



## Anexo 6:

### Programa de gestión integral de los depósitos de relaves

La gestión de los depósitos de relaves, apoyada en programas de gestión integrales, básicamente debe reunir recursos, experiencia, habilidades y actividades con la finalidad de tomar decisiones informadas, apoyando su gestión segura y costo-eficiente. Es recomendable que en este proceso tomen parte todos los actores vinculados al depósito, a lo largo de todo el ciclo de vida, incluyendo el post-cierre. La esencia de un programa de gestión es definir el estándar que adoptará la compañía minera, o dicho de otro modo, el programa de gestión debe satisfacer el estándar declarado, el cual, con frecuencia, es más exigente que el estricto cumplimiento de la normativa. La siguiente figura resume los componentes fundamentales que constituyen la estructura de un programa de gestión completo.

**FIGURA 15**  
**COMPONENTES BÁSICOS DE UN PROGRAMA DE GESTIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES**

Fuente: Elaboración propia



El desarrollo en sentido práctico del programa, requiere de una planificación detallada previa, que contemple todos los aspectos de gestión, incluyendo los recursos necesarios, para posteriormente implementar su desarrollo. Asimismo, esta gestión debe ser parte de un proceso de mejora continua, a lo largo de todo el ciclo de vida de los depósitos, por lo que debe ser incluida como parte de la rutina la evaluación y el control, que den cuenta de la efectividad del programa de gestión establecido, permitiendo incorporar cambios durante su implementación. Además, son fundamentales tanto la comunicación con todo el equipo como su involucramiento a lo largo de todo el proceso. El programa de

gestión debe ser establecido y ratificado por medio de la política de la compañía.

De manera más detallada se definen a continuación cada uno de los componentes del programa de gestión.

### **a. Componentes básicos**

**Capital humano.** La gestión de los depósitos de relaves es una tarea corporativa que debe contar con capital humano especializado que desarrolle continuamente sus habilidades, capacidades y experiencias. Se requieren equipos de trabajo multidisciplinarios que comprendan la necesidad de gestionar los depósitos, apoyen la implementación del programa de gestión y participen de la toma de decisiones informada basadas en los principios establecidos en el cumplimiento de los estándares, normativa, permisos y diseño del depósito.

Se destaca la necesidad de instaurar las figuras de “persona competente o responsable” y del “ingeniero de registro”. El primero es un empleado directo de la compañía minera, con autoridad dentro de la organización, cuya responsabilidad es asegurar que el depósito se construya, opere y cierre de acuerdo a diseño, estándares y normativas, así como que se dispongan de los medios y recursos para una adecuada gestión. El “ingeniero de registro”, en tanto, es el firmante del diseño, que además de las atribuciones sobre la preparación, firma y entrega de los documentos de diseño del depósito, también es responsable de que se cumpla con los estándares, normativa y permisos obligatorios. Además, debe verificar que el depósito se construya y opere de acuerdo al diseño: asegurar que tanto la construcción como la operación cumplen con el estándar de calidad definido en el diseño; definir niveles de alertas para situaciones de peligro; y revisar y monitorear regularmente el depósito en operación. Estas funciones pueden ser desarrolladas por un equipo de profesionales dirigidos por un único responsable, siendo imprescindible que toda la información sea reportada y apoyada mediante informes, cuyo contenido y periodicidad, quedará previamente establecido, y dependerá de la envergadura de las obras, de la etapa del proyecto o de los cambios en el tiempo. El objetivo final es detectar a tiempo irregularidades, que requieran de acciones concretas dirigidas a minimizar al máximo los riesgos asociados a este tipo de instalaciones.

**Información.** La generación de información y su análisis es constante durante todo el proceso de gestión, de modo que la planificación en su manejo es clave para el proceso de toma de decisiones y su respaldo.

**Recursos financieros.** Los recursos financieros requeridos en el corto y largo plazo para todo el programa de gestión, así como su provisión, son críticos para la gestión costo-eficiente de los depósitos de relaves. Dirigir los recursos financieros hacia acciones proactivas, frente a aquellas asociadas a procesos de mitigación, contribuye por un lado a tener resultados más predecibles, y por otro, a generar menores costos totales a lo largo de todo el ciclo de vida del depósito.

**Recursos técnicos.** Al igual que los recursos financieros, la provisión de los recursos técnicos necesarios para la implementación del programa de gestión, es clave para su éxito. Por recursos técnicos se entienden aquellos planes, programas y/o actividades que permiten materializar los objetivos del programa de gestión, y los bienes tangibles necesarios para tales fines.

**b. Etapas del programa de gestión**

Todos los componentes básicos deben ser considerados en cada una de las etapas del programa de gestión, cuyos aspectos a considerar se resumen en la siguiente figura y se desarrollan a continuación.

**FIGURA 16**  
**ETAPAS DEL PROGRAMA DE GESTIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES**

*Fuente: Elaboración propia basado en Asset Management for Sustainable Service Delivery: A BC Framework*



**Planificación.** La planificación del programa de gestión, se materializa a través de dos aspectos fundamentales, por un lado la política como estándar corporativo, y por otro las prácticas de gestión de carácter técnico, financiero, y de control y comunicación.

- **Política (compromisos, estrategias, principios y objetivos).**

El proceso de gestión debe contar con un documento que fije y estructure la política de la compañía respecto de la gestión de los depósitos de relaves, donde se establezcan los compromisos adquiridos, la estrategia a seguir con el fin de tener un desempeño seguro y costo-eficiente del depósito, y los principios, objetivos y requisitos obligatorios que, de forma sistemática y coordinada, se apliquen a lo largo de todo el proceso de gestión y a lo largo de todo el ciclo de vida de la instalación. Igualmente, se debe definir la estructura organizacional, donde queden claramente establecidas las responsabilidades y los roles.

Todos los aspectos deben ser conocidos y ratificados por la alta dirección de la compañía y ser comunicados tanto a los empleados como a los subcontratistas, entendiendo que sus acciones pueden afectar al incumplimiento del programa, que puede por ejemplo, comprometer la seguridad de los depósitos. Del mismo modo, es responsabilidad de la compañía difundir su política con las comunidades u otros actores vinculados. Finalmente, es muy importante que la política establecida, tenga coherencia con la asignación presupuestaria fijada, enfocada a su fiel cumplimiento.

- **Prácticas de gestión de carácter técnico, financiero, y de control y comunicación.**

**Planes, programas y/o actividades de carácter técnico.** En función de lo comprometido en la política, deben definirse ampliamente todos los planes, programas y/o actividades de carácter técnico, necesarios para cumplir no sólo con los objetivos o la normativa existente, sino con una serie de indicadores de desempeño y de control previamente establecidos. En este proceso, es importante establecer las responsabilidades sobre las decisiones relacionadas con el manejo de relaves.

**Plan financiero.** Es necesario establecer y documentar un presupuesto para la gestión responsable y efectiva de los depósitos de relaves durante todo su ciclo de vida, considerando las necesidades establecidas tanto a corto como a largo plazo.

**Plan de evaluación y control.** Es necesario establecer revisiones regulares de todo el proceso de gestión, que incluya evaluaciones y controles, que permitan levantar alertas y mejoras en el proceso de gestión.

**Plan de comunicación e involucramiento.** Es necesario definir y estructurar los planes de comunicación tanto internos como externos a la compañía, que aseguren los conocimientos adecuados en sus funciones y su involucramiento en la gestión del depósito.

**Implementación.** Tras la planificación se deben implementar los compromisos, estrategias, principios y objetivos establecidos en la política, así como los planes, programas y actividades de carácter técnico, financieros, y de control y comunicación, asegurando la correcta gestión de los depósitos de relaves.

En este proceso es de suma importancia el reporte continuo del desarrollo de las actividades, que quede como registro del progreso cuantificable de la implementación del proceso, logro de resultados y grado de cumplimiento de todos los compromisos establecidos según la planificación del proceso de gestión.

**Evaluación y control.** La evaluación y control sobre el programa de gestión se enfoca en distintos aspectos.

- **Evaluación organizacional.** Determinar la capacidad organizacional mediante la evaluación de la efectividad del proceso de gestión, como una función corporativa permanente y crítica, para lo cual es necesaria la evaluación y revisión de alto nivel de todos los elementos centrales: recursos humanos, financieros e información. A su vez se deben considerar controles internos y externos, llevados a cabo por profesionales capacitados y con experiencia en la temática, para identificar y evaluar los riesgos, y diseñar y evaluar la efectividad de las medidas de gestión y control implementadas.
- **Evaluación de las prácticas de gestión.** El desempeño de las prácticas de gestión debe ser monitoreado a través de controles y evaluaciones constantes, que deben quedar claramente definidos en el plan de evaluación y control. Se deben identificar, desarrollar e implementar controles críticos, que implementados de manera efectiva deben evitar que ocurra un incidente grave o, en el caso de que ocurra, limitar las consecuencias del incidente.
- **Evaluación de controles críticos.** La gestión de los depósitos de relaves requiere de una evaluación integral y regular de los riesgos asociados a los depósitos de relaves, que evalúe los potenciales impactos para la seguridad y salud de los trabajadores y comunidades, así como los impactos socio-ambientales, económicos y regulatorios, con una mirada preventiva. En este sentido, se deben establecer objetivos de desempeño claros para el control y la gestión de los riesgos y los métodos de monitoreo, reportes y verificación.

Se deben diferenciar dos herramientas: (1) Auditorías, que tienen por objeto identificar brechas con respecto a un estándar o reglamento definido;

(2) Revisiones técnicas, que tienen por objeto identificar fallas graves, no necesariamente reguladas.

**Comunicación – Involucramiento.** En el proceso de gestión es necesario que exista una comunicación constante y efectiva hacia y entre los distintos actores interesados (profesionales, trabajadores, autoridades, comunidades, inversionistas, entre otros). El objetivo de esta comunicación es lograr el involucramiento en todos los niveles, tanto dentro como fuera de las faenas, generando un compromiso claro con la gestión, desarrollando conocimiento y creando conciencia para mejorar continuamente la capacidad sobre la gestión de los depósitos.

## Anexo 7:

### Tecnología al servicio de la gestión de los depósitos de relaves

La necesidad de tener que procesar y analizar grandes volúmenes de información oportuna, trazable y objetiva sobre la estabilidad de los depósitos de relaves, hace necesario para su gestión, el uso de medios tecnológicos y computacionales, de instrumentos de medición y de tecnologías de comunicación de accionamiento remoto.

Por otro lado, la automatización y estandarización de los procesos de monitoreo, a través de la captura, transmisión, procesamiento y análisis de la información, contribuye no sólo a incrementar y mejorar la eficiencia operativa de los depósitos de relaves, sino que también optimizan el tiempo y la calidad del proceso de toma de decisiones en su gestión, facilitando la operación preventiva, identificando tempranamente los riesgos asociados y reduciendo el tiempo de respuesta en caso de emergencias. Es por ello que, conceptos como *Smart Mining* o *Big Data* están siendo incorporados paulatinamente en la gestión de los depósitos de relaves, donde la automatización de la captura y transmisión de la información sobre los parámetros críticos relacionado con su estabilidad, ya se pueden considerar como parte del estado del arte, al menos, en la gran minería.

En este sentido, la industria ha avanzado en tener información oportuna y objetiva en línea, permitiendo su captura a distancia, en tiempo real e incluso utilizando tecnológicas no invasivas como imágenes satelitales o tecnologías de radar, entre otros. Ejemplo de ello son los sistemas de monitoreo dispuestos en los depósitos de relaves europeos, como el sistema *LS-G6 Wireless Monitoring System* (Aguas Teñidas, MATSA, España) o los sistemas desarrollados por el Grupo BOLIDEN (Suecia), que utilizan "instrumentación inteligente" para el monitoreo en tiempo real de aspectos geofísicos y otras aplicaciones geotécnicas.

El siguiente paso consiste en hacer un uso eficiente de la data generada, que, dado su elevado volumen, diversidad y complejidad, requiere de una manera distinta de almacenamiento, procesamiento y análisis. En este ámbito hay muy poca experiencia a nivel internacional, pero sin duda estas herramientas son una oportunidad importante en el análisis de la información en tiempo real (*Real time analytics*), con capacidad para monitorear parámetros críticos, identificar anomalías y responder prontamente a situaciones de alertas y alarmas. También, la reducción del tiempo de análisis facilita el proceso de toma de decisiones de los operadores o encargados de la gestión de los depósitos de relaves, reduciendo el tiempo de análisis y liberando tiempo para la búsqueda e implementación de soluciones. Por otro lado, las bases de datos con información histórica y actual del monitoreo de parámetros críticos (*Big Data off line database analytics*) se pueden analizar en conjunto, canalizando los resultados de ese análisis hacia una planificación e implementación de medidas de operación preventivas, calibrando modelos e introduciendo mejoras continuas en la gestión de los depósitos de relaves.

# REFERENCIAS

ANCOLD, 2012. *Guidelines on tailings dam design construction and operation. Australian National Committee on Large Dams (ANCOLD).*

British Columbia, 2016. Health, Safety and Reclamation Code for Mines in British Columbia. Guidance document, 2016.

CEPAL, 2016. Estudio sobre lineamientos, incentivos y regulación para el manejo de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), incluyendo cierre de faenas. Bolivia, Chile, Colombia y el Perú. Angela Oblasser. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2016.

ICMM, 2013. Guía práctica para la gestión del agua de captación para la industria minera y metalúrgica. *International Council on Mining & Metals (ICMM).*

ICMM, 2016. *Position statement on preventing catastrophic failure of tailings storage facilities. International Council for Mining and Metals. December 2016.*

ICMM & Golder, 2016. *Review of tailings management guidelines and recommendations for improvement. International Council on Mining and Metals (ICMM)/Golder Associates. December 2016.*

MAC, 2017. *A Guide to the Management of Tailings Facilities. Third Edition. The Mining Association of Canada. October 2017.*

PAS 55:2008 *Asset Management. British Standard Institute.*

SERNAGEOMIN, 2003. Construcción y operación de tranques de relaves, Guía de Buenas Prácticas Ambientales para la Pequeña Minería.

SERNAGEOMIN, SONAMI y BGR, 2003. Guía de Buenas Prácticas Ambientales para la Pequeña Minería. Construcción y operación de tranques de relaves. 2003.

SERNAGEOMIN & Fundación Chile, 2015. Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras.

SERNAGEOMIN, 2016. Guía para el cumplimiento de DS248. Depósitos de relaves bajo producción de 5000tpm. Diciembre 2016.

SERNAGEOMIN, 2018. Catastro de Relaves Servicio Nacional de Geología y Minería. <http://www.sernageomin.cl/datos-publicos-deposito-de-relaves/>

SERNAGEOMIN, 2018. Estudios de normativas internacionales de diseño, construcción, operación, cierre y post cierre de depósitos de relaves. Junio 2018.







# programa tranque

Monitoreo de avanzada para  
una minería responsable