



# Mejores prácticas de gobernanza en materia de relaves

---

DEPP 01/2019

Registro Propiedad Intelectual N° 303848



## **Resumen ejecutivo**

La minería es una actividad productiva de alto impacto capaz de generar recursos de valor económico donde se desarrolla. Si bien el desarrollo de esta actividad ha sido fundamental para el progreso de Chile, también ha tenido un efecto negativo en nuestro medio ambiente, siendo una de sus principales consecuencias “los relaves”, residuos que se obtienen luego del proceso de concentración del mineral sulfurado. Lo anterior, ha generado un foco de preocupación asociado al gran volumen de éstos, su potencial inestabilidad física y química.

Por lo anterior, el objetivo inmediato del presente informe es identificar las mejores prácticas relativas a gestión de relaves en países mineros, mientras que el objetivo a largo plazo es que Chile pueda conocer dichas prácticas, analizarlas, y ver cómo, aquellas que tienen un buen funcionamiento, se pueden adecuar a la realidad nacional, de manera tal de mejorar la situación país respecto de los relaves y su manejo.

Para ello, se consideró el análisis de las mejores prácticas en cuanto a la legislación de países referentes en minería como Perú, Brasil, México, Reino Unido, Estados Unidos, Canadá, Australia y Sudáfrica, así como también, las mejores prácticas sustentables desarrolladas en la industria minera. Además, se analizaron las lecciones aprendidas de catástrofes ocurridas recientemente por fallas en los depósitos de relaves.

Como resultado, los principales hallazgos en materia de gobernanza fueron que algunos de los países analizados incorporaban entidades especializadas o expertos en las distintas fases del ciclo de vida del proyecto. Además, en la fase de cierre algunas legislaciones abarcan temas asociados a la reparación del sitio minero, ya sea mediante rehabilitación, revegetación u otra medida, por consecuencia la garantía financiera también incluye estos costos. Por otra parte, relacionado a la fiscalización y monitoreo en las distintas etapas, en países como Canadá, Estados Unidos y Reino Unido el período entre cada una de ellas en ningún caso excede el año.

En cuanto a los depósitos de relaves abandonados, Perú ya cuenta con una legislación que responsabiliza al concesionario de su cierre, o bien en el caso de que el concesionario renuncie a este, la propiedad y responsabilidad pasa a ser del Estado (Ley N° 28271 2004).

Referente a las mejores prácticas sustentables en la industria minera, se identificaron medidas de prevención, compensación, mitigación y reparación, encontrando en ellas participación de figuras externas y la suscripción o adhesión a estándares internacionales proporcionados por organizaciones



gremiales mineras. Asimismo, destacan prácticas asociadas al concepto de economía circular, como la reutilización y reciclaje de roca estéril, aguas de mina y, finalmente, medidas asociadas a la reparación del sitio a través de la rehabilitación y revegetación.

En este sentido es relevante señalar que empresas mineras en Chile ya han realizado iniciativas que van más allá de lo exigido en la legislación, implementando, principalmente, medidas en los ámbitos de reutilización de aguas y revegetación en el cierre de faena. Por lo tanto, es posible percibir que algunas empresas mineras ya se encuentran interesadas en implementar medidas en pos de un desarrollo más sustentable.

En relación a las lecciones aprendidas de catástrofes ocurridas por fallas en los depósitos de relaves, además de las causadas por inestabilidad física, en la mayoría de los casos, y a la química, actualmente se evidencia los efectos del cambio climático, problemática que trae gran incertidumbre en nuestro país, ya que en Chile muchos de los depósitos abandonados fueron construidos anterior a la legislación vigente, incumpliendo los criterios de diseño, construcción, operación y cierre que hoy en día exige la legislación, considerando además su estado de inactividad y las consecuencias asociadas al cambio climático, donde las probabilidades de falla aumentarían, en consecuencia verificar su estado y ocuparse de estos resulta primordial.

Finalmente, se presentan algunas recomendaciones en relación a las mejores prácticas sustentables aplicadas en la industria minera a nivel internacional, con el fin de orientar y ver cómo, aquéllas que tienen un buen funcionamiento, se podrían, eventualmente, adecuar a la realidad nacional con el fin de apoyar la gestión de los relaves en nuestro país, según se expone:

- Implementar una normativa que establezca el rango de tolerancia para la calidad de los suelos, en cuanto a concentración de sustancias tóxicas o potencialmente dañinas para el ser humano y el medio ambiente. De esta forma, los tres aspectos de la estabilidad química quedarán regulados (aire, agua y suelo).
- Aumentar, para cada entidad responsable, la periodicidad de monitoreo y fiscalización en todas las etapas del ciclo de vida de un depósito. Iniciativas como el Programa Tranque pueden apoyar esta labor.
- Incorporar figuras externas tal como el Ingeniero de Registro, la Junta de Revisión Técnica Independiente y el Inspector de Seguridad, con miras a generar equipos multidisciplinarios, con responsabilidades asignadas durante todo el ciclo de vida, y que apoyen en la labor de fiscalización.



- Apuntar hacia una normativa orientada a la reparación del sitio del depósito de relaves, manteniendo las exigencias respecto a la estabilidad física y química, haciendo obligatoria la responsabilidad de rehabilitar el lugar.
- Impulsar la creación de incentivos para que las empresas implementen medidas de prevención, compensación, mitigación y reparación, como las que fueron expuestas en este informe. En este sentido, es importante mencionar la reforma realizada por el gobierno de China en el 2016, donde resolvió introducir una política que exime en un 50% los impuestos de las compañías mineras que depositen sus relaves por métodos de minería de relleno.
- Ir más allá y regular en materia de pasivos ambientales mineros en general, considerando que algunas faenas en el pasado no tuvieron las restricciones que hoy se consideran para los cierres de faena, tanto de relaves abandonados como de otros pasivos, con miras hacia una gestión integral por parte del Estado en conjunto con las empresas mineras, a través de iniciativas de compensación, mitigación y restauración, entre otras herramientas. Es importante señalar que actualmente el Ministerio de Minería se encuentra liderando el Plan Nacional de Relaves que busca establecer directrices, para abordar tanto los desafíos del pasado, como es el caso de las depósitos abandonados, como también los desafíos del futuro en materia de relaves.



## **Abstract**

Mining is a productive activity of high impact capable of generating resources of economic value where it is developed. Although the development of this activity has been fundamental for the progress of Chile, it has also had a negative effect on our environment, being one of its main consequences "the tailings", waste that is obtained after the process of concentration of the sulphide mineral. The large volume of these "tailings" has generated a focus of concern, along with their potential physical and chemical instability.

Therefore, the immediate objective of this report is to identify the best practices related to tailings management in mining countries. The long-term objective is for Chile to know these practices, to analyze them, and to see how those that have a good operation system can be adapted to the national reality, in such a way as to improve the country situation regarding the tailings and their management.

For this purpose, the analysis of the best practices regarding the legislation of mining reference countries such as Peru, Brazil, Mexico, United Kingdom, United States, Canada, Australia and South Africa was considered, as well as the best sustainable practices developed in the mining industry. In addition, the lessons learned from recent catastrophes due to tailings deposit failures were analyzed.

As a result, the main findings in terms of governance were that some of the countries analyzed included specialized entities or experts in the different phases of the project's life cycle. In addition, in the closing phase some legislations cover issues related to the repair of the mining site, whether it is rehabilitation, revegetation or another measure. Consequently the financial guarantee also includes these costs. On the other hand, related to the control and monitoring in the different stages, in countries such as Canada, the United States and the United Kingdom, the period between each of them in no case exceeds the year.

As for the deposits of tailings abandoned, Peru already has legislation that makes the concessionaire responsible for its closure, or in the event that the concessionaire renounces it, the property and responsibility becomes that of the State (Law No. 28271 2004).

Regarding the best sustainable practices in the mining industry, measures of prevention, compensation, mitigation and repair were identified, finding in them the participation of external figures and the subscription or adherence to international standards provided by mining trade organizations. Likewise, practices related to the concept of circular economy stand out, such as the



reuse and recycling of waste rock, mine waters and, finally, measures associated with the repair of the site through rehabilitation and revegetation.

In this regard, it is important to note that mining companies in Chile have already carried out initiatives that go beyond what is required in the legislation, implementing, mainly, measures such as water reuse and revegetation in the closure of the site. Therefore, it is possible to perceive that some mining companies are already interested in implementing measures in pursuit of a more sustainable and participatory development with the community.

In relation to the lessons learned from catastrophes caused by faults in tailings deposits, in addition to the causes associated with physical stability, in most cases, and chemical stability, nowadays the effects of climate change are evident. A problematic situation that brings great uncertainty in our country, since in Chile many of the abandoned deposits were built prior to the current legislation, in breach of the design, construction, operation and closure criteria that the legislation now demands, considering also its state of inactivity and the consequences associated with climate change, where the probabilities of failure increase, so checking their status and dealing with them is paramount.

Finally, some recommendations are presented in relation to the best sustainable practices applied in the mining industry at the international level, in order to guide and see how, those that work well, could eventually be adapted to the national reality with the In order to support the management of tailings in our country, as following:

- Implement a regulation that establishes the tolerance range for the quality of soils, in terms of concentration of toxic substances or potentially harmful to human beings and the environment. In this way, the three aspects of chemical stability will be regulated (air, water and soil).
- Increase, for each responsible entity, the periodicity of monitoring and inspection in all stages of the life cycle of a deposit. Initiatives such as the Tranque Program can support this work.
- Incorporate external figures such as the Registry Engineer, the Independent Technical Review Board and the Safety Inspector, with a view to generate multidisciplinary teams, with assigned responsibilities throughout the life cycle, and to support the audit work.
- Aiming at a site closure regulation aimed at the repair of the site, maintaining the requirements regarding the physical and chemical stability of the deposits, making the responsibility to rehabilitate the site mandatory.



- Regulate mining companies responsible for environmental liabilities (prior to current legislation) that are not in operation, by presenting and executing a closure and post-closure plan, or, handing over the environmental mining liability to the State, so that it takes charge of abandoned tailings and inactive tailings, through compensation and reparation initiatives.
- Promote the creation of incentives for companies to implement prevention, compensation, mitigation and reparation measures, such as those described in this report. In this regard, it is important to mention the reform carried out by the government of China in 2016, where it decided to introduce a policy that exempts 50% of the taxes of mining companies that deposit their tailings by landfill mining methods.



## Contenido

<b>Resumen ejecutivo</b> .....	i
<b>Abstract</b> .....	ii
<b>1 Introducción</b> .....	1
1.1 Objetivos .....	2
<b>2 Metodología</b> .....	2
<b>3 Antecedentes Generales</b> .....	3
3.1 Depósitos de Relaves.....	3
3.1.1 <i>Estabilidad química y física de relaves</i> .....	4
3.2 Institucionalidad y regulación Chilena en materia de manejo de relaves .....	5
3.2.1 <i>Aprobación diseño, construcción y operación</i> .....	6
3.2.2 <i>Monitoreo y Fiscalización</i> .....	7
3.3 Estrategias en la gestión de relaves.....	9
3.3.1 <i>Tendencias de gestión sustentable</i> .....	9
3.3.2 <i>Figuras externas en materia de relaves</i> .....	10
<b>4 Resultados</b> .....	13
4.1 Mejores Prácticas de Gobernanza Internacional en materia de manejo de relaves .....	13
4.1.1 <i>Aprobación diseño, construcción y operación</i> .....	13
4.1.2 <i>Monitoreo y Fiscalización</i> .....	16
4.1.3 <i>Buenas prácticas normativas en otros ámbitos</i> .....	18
4.2 Mejores Prácticas Sustentables en la Industria Minera .....	20
4.2.1 <i>Economía Circular</i> .....	20
4.2.2 <i>Relleno de Rajos y Mina Subterránea</i> .....	24
4.2.3 <i>Rehabilitación de Sitios Mineros</i> .....	25
4.3 Lecciones Aprendidas .....	29
<b>5 Síntesis y análisis</b> .....	<b>34</b>
5.1 Análisis de Normativa .....	34
5.2 Buenas prácticas sustentables en la Industria Minera .....	36
5.2.1 <i>Medidas de Prevención</i> .....	36
5.2.2 <i>Medidas de compensación</i> .....	36
5.2.3 <i>Medidas de mitigación</i> .....	37
5.2.4 <i>Medidas de reparación/remediación</i> .....	37





5.3	Lecciones aprendidas.....	38
<b>6</b>	<b>Comentarios finales .....</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>41</b>
<b>8</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>49</b>
<b>Anexo I</b>	<b>“Métodos de Construcción de Tranques de Relaves ” .....</b>	<b>49</b>
<b>Anexo II</b>	<b>“Instrumentos Elegibles como Garantías Financieras” .....</b>	<b>50</b>
<b>Anexo III</b>	<b>“Clasificación de depósitos de relaves en la República Mexicana” .....</b>	<b>53</b>



## **1 Introducción**

La minería es una actividad productiva de alto impacto, tanto en el ámbito económico, como social y ambiental, capaz de generar recursos de valor económico que ayudan al financiamiento de la administración y obras de los países en donde se desarrolla. En el caso de Chile, por ejemplo, la minería ha aportado, en promedio, cerca del 12% del PIB entre los años 2008 y 2017 (Banco Central 2018), mientras que en el ámbito social, la minería ha generado empleos y desarrollo social, aunque también conflictos por el potencial deterioro del medio ambiente donde se desempeña. La extracción de recursos mineros trae consigo una serie de consecuencias negativas para el medio ambiente: tiene un alto consumo de agua, genera emisiones al aire, y genera gran cantidad de residuos potencialmente dañinos para la salud humana.

Uno de los principales residuos de la minería son los relaves, los cuales se obtienen luego del proceso de concentración del mineral sulfurado en una proporción de 99 es a 1 respecto de los concentrados. Estos son un foco de preocupación por dos razones principalmente: su gran volumen y su potencial toxicidad. Esto se hace cada vez más relevante, ya que la generación de relaves aumenta en términos comparativos por varias razones, tales como: leyes de cobre más bajas, mayor cantidad de sulfuros de cobre en comparación a la cantidad de óxidos de cobre, y mayores volúmenes de producción de cobre metálico y concentrado (Cochilco 2017).

Actualmente en Chile existen 742 depósitos de relaves, de los cuales 104 están activos, 463 están inactivos, 173 están abandonados y otros 2 en etapa de construcción (Sernageomin 2019). Estas cifras sitúan a Chile como el tercer país con el mayor número de depósitos de relaves en el mundo. En este contexto, es importante señalar que según estimaciones realizadas por Cochilco (2015)<sup>1</sup>, al año 2026 se espera un mayor generación de volúmenes de relaves de alrededor de 915,4 millones de toneladas secas anuales, significando un aumento del 68% en comparación a los volúmenes generados en el 2014. Lo anterior, debido a la tendencia decreciente de las leyes de concentrados y, a su vez, a que se esperara una mayor producción de concentrados de cobre respecto a otros productos como los cátodos.

Al igual que Chile, otros países mineros también generan relaves como parte de sus procesos mineros, por lo que resulta importante conocer cuáles son las mejores prácticas para su gestión, tanto públicas como privadas: cómo se organizan las entidades estatales respecto de la gestión de los relaves, y que acciones toman previo a aprobar su construcción, monitoreo y fiscalización. De

---

<sup>1</sup> "Estado del arte de los relaves mineros en Chile" Cochilco (DEPP/24/15)



la misma manera, es importante conocer cómo se organizan las compañías mineras de manera interna, que políticas propias tienen para abarcar la gestión sustentable de sus relaves, así como la incorporación de actores externos que ayuden en esta tarea.

### *1.1 Objetivos*

El objetivo específico del presente informe es identificar las mejores prácticas relativas a gestión de relaves de países mineros, con el fin de monitorearlas, analizarlas, y ver cómo, aquellas que tienen un buen funcionamiento se pueden adecuar a la realidad nacional, de manera de mejorar la situación país respecto de los relaves y su manejo.

## **2 Metodología**

La metodología para llevar a cabo este informe consta de tres etapas: recolección de información; síntesis y análisis; y conclusiones, las cuales se describen a continuación:

- I. **Recolección de información:** consiste en buscar y analizar estudios previos de pública disponibilidad, a modo de revisión bibliográfica, y sitios oficiales estatales y empresariales, en búsqueda de políticas y legislaciones relativas al tema. La información encontrada será expuesta en el ítem Resultados agrupando ejemplos de distintos países, tanto a nivel de gobernanza como de empresas mineras.
- II. **Síntesis y análisis de la información:** consiste en agrupar la información encontrada en distintas categorías, dependiendo si corresponden a medidas de mitigación, compensación o reparación, de manera de poder establecer tendencias de gestión en los países y empresas mineras.
- III. **Conclusiones más relevantes:** consiste en resumir de acuerdo a lo investigado y analizado, de manera de identificar lo más relevante del estudio.



### **3 Antecedentes Generales**

#### *3.1 Depósitos de Relaves*

El manejo de relaves no es tarea fácil, ya que éstos deben ser depositados de forma segura y ambientalmente responsable. Existen diferentes formas en que se realiza la disposición final de los relaves, la cual está sujeta a factores como la cercanía a la planta concentradora, la capacidad de almacenamiento de relaves y el nivel de producción del yacimiento. En términos generales, existen tres tipos de disposición según el porcentaje de sólidos que tenga el relave (MMSD 2002, Fitton 2017):

- i. Relaves convencionales (30-50% de sólidos)
- ii. Relaves espesados (55-75% de sólidos)
- iii. Relaves pasta (más de 75%-80% de sólidos)

Los relaves convencionales son la forma de disposición más usada, los que surgen como la alternativa de menor costo para depositar los residuos del proceso minero. En Chile se reconocen, principalmente, los siguientes tipos de depósitos de **relaves convencionales**<sup>2</sup>:

#### **Tranques de Relaves:**

Este tipo de estructuras utilizan la parte gruesa de los relaves para la construcción del muro perimetral, mientras que la parte fina (lamas) se descarga en el interior de la obra. La construcción del muro se puede hacer mediante tres métodos constructivos: Métodos Aguas Arriba, Métodos Aguas Abajo y Método Eje Central o Mixto (ver Anexo I).

#### **Embalse de Relaves:**

Son construidas con un muro resistente compuesto totalmente de un material de empréstito (arena y rocas alledañas), compactado e impermeabilizando el talud interior del muro, así como también parte o todo de su coronamiento. Son obras similares a un embalse de agua.

Asimismo, se reconocen otros métodos de disposición de relaves tendientes a ser más eficaces en la recuperación de agua, debido al mayor porcentaje de sólidos que se manejan en ellos en comparación a los métodos convencionales:

**Relaves espesados:** relaves sometidos a un proceso de sedimentación (a través de un espesador) previo a su disposición final (55-75% de sólidos).

---

<sup>2</sup> D.S. N° 248 "Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de depósitos de relaves", 2006.



**Relaves en pasta:** espesamiento de relaves que busca eliminar el agua hasta que las partículas ya no se segreguen, de modo que la mezcla tenga una consistencia de alta densidad (más de 75%-80% de sólidos).

Los relaves convencionales son la forma de disposición más usada, pero también son los que han tenido mayor cantidad de desastres asociados, ya que poseen un mayor riesgo que los otros tipos por su mayor volumen y contenido de agua. Por otro lado, esta forma de disposición ahorra costos de extracción de agua y facilita su transporte (MMSD 2002, Fitton 2017).

Desde la década de los 90, la tecnología de relave en pasta ha sido cada vez más aceptada, porque, si bien incrementa los costos de operación, reduce considerablemente los costos de mantención y cierre, además de traer beneficios sociales y ambientales por la mayor seguridad y menor probabilidad de percolación de metales al agua (Newman, White y Cadden 2001).

### 3.1.1 Estabilidad química y física de relaves

Según el DS N°248/2006 los métodos y procedimientos de cada Proyecto de Depósito de Relave deben garantizar la estabilidad física y química del depósito y su entorno, con el fin de proteger a las personas, bienes y medio ambiente.

#### **Estabilidad Química:**

La Estabilidad Química, según la legislación chilena, es la 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, 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 (Decreto 248 2007).

El mayor problema químico asociado a los relaves no son necesariamente los elementos tóxicos que estos pueden contener, sino que se asocia al potencial de que algunos de los minerales que contienen, principalmente los minerales sulfurados, puedan generar drenaje ácido al oxidarse en condiciones ambientales (Sernageomin 2018).

Cabe señalar que un depósito de relaves abandonado o mal diseñado podría, eventualmente, comprometer su entorno por potenciales efectos de contaminación del suelo, del aire, aguas superficiales y subterráneas.

#### **Estabilidad Física:**

La Estabilidad Física, según la legislación chilena, es la 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 que permitan evitar fenómenos de falla, colapso o remoción (Decreto 248 2007). Las características físicas para tener en cuenta al analizar un relave son similares a las características físicas de los suelos (geotécnicos), los cuales corresponden a: resistencia al corte, compresibilidad, permeabilidad, granulometría, entre otros.

### 3.2 Institucionalidad y regulación chilena en materia de manejo de relaves

En la actualidad las normativas que constituyen el marco legal para desarrollar un proyecto de construcción, operación y cierre de depósitos de relaves son varias, en la siguiente tabla se mencionan las más destacadas.

**Tabla 1:** Principales normativas para desarrollar un proyecto de construcción, operación y cierre de depósitos de relaves.

<b>Normativa</b>	<b>Descripción</b>	<b>Organismo</b>
<b>D.S. 86</b>	Reglamento de construcción y operación de tranques de relaves.	Ministerio de Minería 1970.
<b>Ley 19.300</b>	Aprueba Ley sobre bases Generales del Medio Ambiente. Ministerio	Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 1994.
<b>D.S. 132</b>	Aprueba Reglamento de seguridad minera	Ministerio de Minería, 2004.
<b>D.S 248</b>	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.
<b>Ley 20.417</b>	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.
<b>Ley 20.551</b>	Ley que Regula el Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras.	Ministerio de Minería, 2011.
<b>D.S. 41</b>	Aprueba Reglamento de la Ley de Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras.	Ministerio de Minería, 2012.
<b>Ley 20.819</b>	Modifica la Ley 20.551 que Regula el Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras e introduce otras modificaciones legales.	Ministerio de Minería, 2015.
<b>D.S. 50</b>	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.
<b>D.S. 40</b>	Aprueba Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Última modificación Ley 20.920.	Ministerio del Medio Ambiente, 2013.

**Fuente:** Elaborado por Cochilco.

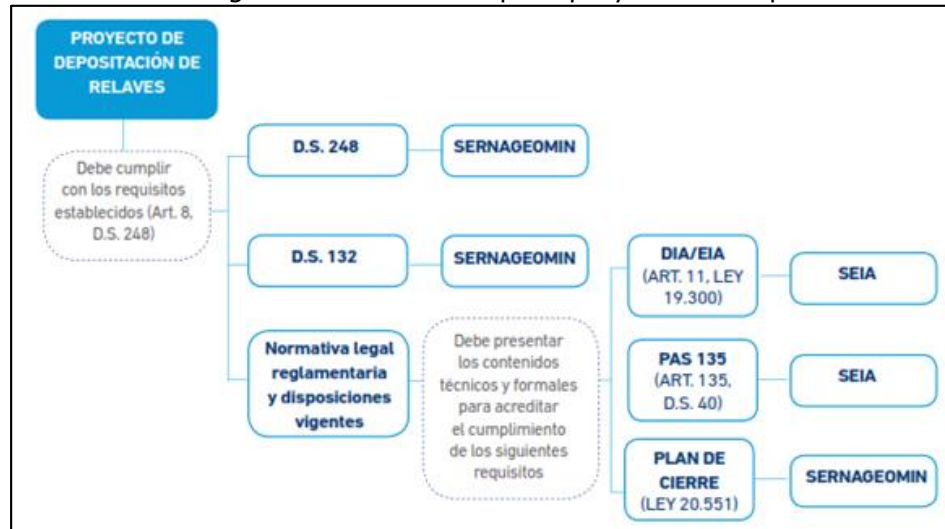


A continuación, se abordará la normativa de acuerdo a las exigencias para la aprobación del diseño, construcción y operación, así como también, lo referente al monitoreo y fiscalización en sus etapas de operación, cierre y post-cierre.

### 3.2.1 Aprobación diseño, construcción y operación

Todos los nuevos proyectos, cualquiera sea su tipo, requieren de la aprobación previa a su construcción y operación. Actualmente la normativa que fija los criterios para el diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves de la gran, mediana y pequeña minería chilena es el D.S. 248. Del mismo modo, se deben tener en consideración las siguientes disposiciones (Fundación Chile 2018), según se presenta en el siguiente esquema:

**Ilustración 1:** Exigencias Normativas para proyecto de depósito de relave.



**Fuente:** Avances y Retos para la Gestión de los Depósitos de Relaves en Chile, Fundación Chile, 2018.

Igualmente, cada proyecto debe cumplir con el Plan de Cierre aprobado por el Sernageomin y contar con la aprobación del Servicio de Evaluación Ambiental.

#### **a. Plan de Cierre**

Acerca del plan de cierre, este es considerado por la legislación chilena como parte del ciclo de su vida útil. 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 tipos de planes de cierre a presentar difieren según el tamaño de

operación minera, existiendo el procedimiento de aplicación general, el cual incluye la existencia de una garantía financiera, y el procedimiento simplificado, que no contempla garantía<sup>3</sup>. La garantía financiera también es regulada a través de la Ley 20.551, en donde se indica que toda empresa minera o empresario minero que efectúe operaciones mineras sujetas al procedimiento de aplicación general deberá constituir garantía que asegure al Estado el cumplimiento íntegro y oportuno de la obligación de cierre establecida en la Ley.

### **b. Aprobación del Servicio de Evaluación Ambiental**

Referente a la evaluación de impacto ambiental, la Ley 19.300 y su respectivo reglamento, establecen que tanto los proyectos de desarrollo minero como los de disposición de residuos, entre los cuales se clasifican los depósitos de relaves, son considerados actividades susceptibles de causar impacto ambiental y, por ende, deben someterse al Sistema de Evaluación Ambiental (SEA) por medio de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o del Estudio de Impacto Ambiental (EIA), dependiendo de la inversión, impacto en el medio ambiente y regulación de sus potenciales efectos.

#### 3.2.2 Monitoreo y Fiscalización

Las principales entidades encargadas del monitoreo y fiscalización a lo largo del ciclo de vida del proyecto corresponden a las compañías mineras, la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin) y la Dirección General de Aguas (DGA). A continuación se describen las acciones que efectúa cada entidad en las etapas de operación, cierre y post-cierre.

#### **a. Etapa de Operación:**

##### Compañías Mineras

Una vez en operación, el control de los depósitos de relaves activos se debe reportar a las autoridades a través del formulario E-700, el cual trata de un informe trimestral sobre el monitoreo de algunos parámetros, que incluye las mediciones de parámetros específicos, así como informes acompañantes que detallan trabajos de mantención, controles de instrumentos existentes o la

---

<sup>3</sup> 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 (Ley 20.551).





instalación de nuevos instrumentos o trabajos de operación, entre otros (Fundación Chile 2018).

#### Superintendencia del Medio Ambiente (SMA)

Entidad a cargo de ejecutar, organizar y coordinar el seguimiento y fiscalización de las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), así como también de las medidas y planes preventivos, entre otros. Del mismo modo, otros organismos sectoriales poseen la facultad de fiscalizar la operación, entre los principales se encuentra el Sernageomin y la DGA (Sernageomin 2018).

#### Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin)

Esta entidad es la responsable de la aplicación y fiscalización del D.S. 248, Reglamento encargado de la aprobación de proyectos, diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves; de las normas específicas de seguridad minera; fiscalizar la operación de los depósitos y velar por el cumplimiento de las obligaciones ambientales (Sernageomin 2018).

#### Dirección General de Aguas (DGA)

La Dirección General de Aguas fiscalizará el cumplimiento de las normas del Código de Aguas. 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 Código de Aguas de Chile, que fija las condiciones técnicas que deberán cumplir estos depósitos en fase proyecto, así como en su construcción y operación. Dentro de los cuales, uno de los más claves es la fiscalización para evitar la extracción ilegal del agua.

### **b. Etapa Cierre y Post Cierre**

La Ley 20.551 que regula el cierre de faenas minera, establece en su Título IV "Auditorías de los planes de cierre" distintas clases de auditorías: periódicas, extraordinarias y voluntarias, el cual indica que "*las empresas mineras que se encontraren sujetas al procedimiento de aplicación general deberán hacer auditar su plan de cierre cada cinco años, a su costo y de acuerdo al programa de fiscalización que elaborará el Sernageomin*". El objeto de las auditorías es certificar al Sernageomin la adecuación y cumplimiento del contenido del plan de cierre y de su actualización, así como la sujeción a su programación de ejecución, de manera de velar por su implementación y avance efectivo en relación al proyecto minero específico. Es relevante mencionar que solo podrán realizar auditorías, cualquiera sea el tipo, aquellos auditores que se encuentren



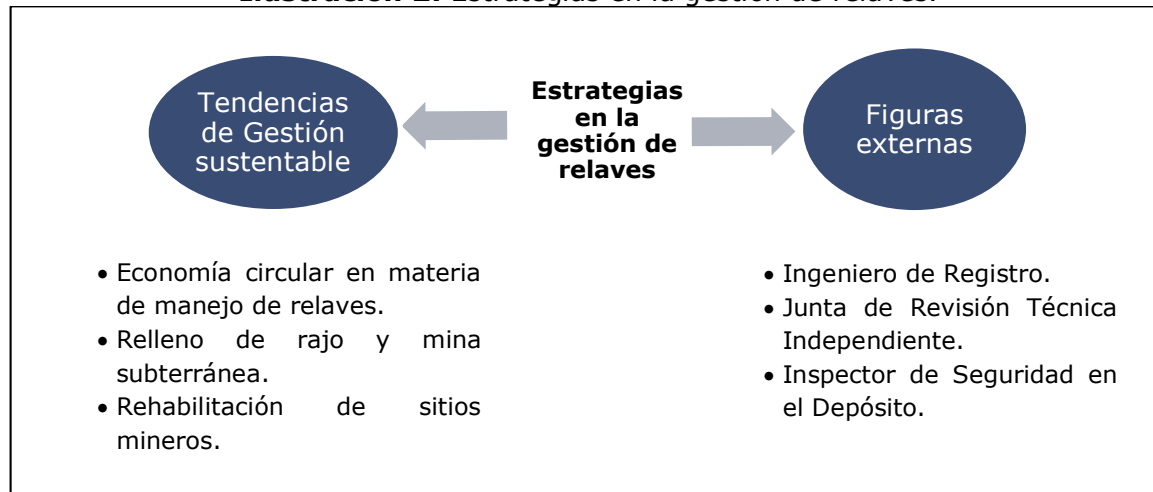
inscritos en el Registro de Auditores Externos, que lleva el Sernageomin (Ley N° 20551).

Una vez implementada la totalidad de las medidas y actividades comprometidas en el plan de cierre, en cumplimiento del objeto de esta ley, la empresa minera sometida al procedimiento de aplicación general deberá presentar al Sernageomin un informe final de auditoría que contendrá una descripción de las obras que permanecerán en el sitio de la faena minera, así como los demás antecedentes que den cuenta del cumplimiento del plan de cierre de acuerdo al procedimiento que se establecerá en el Reglamento (Sernageomin 2018).

### 3.3 Estrategias en la gestión de relaves

En relación a las estrategias de gestión de relaves, es posible identificar dos grandes grupos: tendencias de gestión sustentable que buscan recuperar y rehabilitar depósitos de relaves, y aquellas que persiguen un mayor monitoreo y control sistemático de estos depósitos a través de figuras externas, según se expone a continuación.

**Ilustración 2:** Estrategias en la gestión de relaves.



**Fuente:** Elaborado por Cochilco.

#### 3.3.1 Tendencias de gestión sustentable

##### **3.3.1.1 Economía circular en materia de manejo de relaves**

La economía circular es un sistema que consiste en el aprovechamiento de los recursos priorizando la reducción, reutilización y reciclaje de los elementos.



Toma como principio fundamental que todos los elementos tienen una utilidad, y lo que para algunos es residuo, para otros puede ser insumo (Sostenibilidad 2018). En este contexto, el uso de economía circular en minería ayuda a reducir los residuos generados por esta, tales como los estériles y los relaves, entre otros. Algunos de los beneficios a corto y largo plazo del reciclaje y la reutilización de los residuos incluyen: (1) la creación de activos financieros, (2) el aumento de la eficiencia de los recursos mediante la reducción del consumo de recursos naturales, (3) la reducción de la producción y acumulación de residuos, (4) el fomento de la innovación y el crecimiento de las empresas derivadas de la industria local, (5) la creación de empleo, y (6) la responsabilidad y la propiedad compartidas sobre el medio ambiente (Lottermoser 2011). Según el mismo autor, las opciones de reutilización de residuos mineros son variadas, ya que contrario a lo que se piensa, tanto rocas de desecho, como agua de mina y relaves pueden ser utilizadas como insumo. Las opciones se listan a continuación:

- i. **Rocas de desecho:** Relleno para espacios abiertos, como sustrato para jardinería o revegetación de suelos degradados.
- ii. **Agua de mina:** Agente refrigerante o calentador, generación de electricidad con tecnología de celdas combustibles.
- iii. **Relaves:** Como aditivo para materiales de construcción como pavimento, asfalto, cemento y hormigón, reprocesamiento para extracción de minerales, relleno de minas subterráneas y de rajos, extensores de pintura (dependiendo el tipo de relave).

### **3.3.1.2 Relleno de rajo y de mina subterránea**

Consiste en rellenar de material estéril, relave u otro tipo de residuo minero, sitios mineros antiguos, o bien sectores en desuso de minas en operación, ya sean rajos o minas subterráneas. La principal razón para hacer esto, es no tener los relaves en la superficie donde corren el riesgo de fallar y causar un desastre. Además, los vacíos de minas subterráneas así como los rajos abiertos pueden causar fallas y accidentes, por lo que rellenarlos reduciría ese riesgo (Choudhary y Kumar 2013).

Si bien la práctica de relleno de minas reduce los relaves, no es una solución completa ya que el volumen de los relaves es mayor al del material extraído, principalmente por su contenido de agua.

### **3.3.1.3 Rehabilitación de sitios mineros**

La rehabilitación de los sitios mineros devuelve a los desechos y sus depósitos a un estado que permite el uso futuro de la tierra. Si bien este uso futuro es



específico del lugar como menciona Lottermoser (2011), en áreas escasamente pobladas, los depósitos de desechos mineros pueden rehabilitarse hasta alcanzar un nivel que exija la instalación de cercas o que sólo permita un pastoreo limitado, y los relaves pueden colocarse bajo cubierta de agua o cubiertos con rocas benignas. Sin embargo, en zonas densamente pobladas, los vertederos de residuos mineros rehabilitados se han convertido en centros de servicios sociales, como parques, campos de fútbol, campos de golf, teatros al aire libre e incluso pistas de esquí artificiales (Pearman 2009).

### 3.3.2 Figuras externas en materia de manejo de relaves

Diversos países mineros han instaurados figuras externas, que son incorporadas al equipo de gestión con responsabilidades asignadas durante todo el ciclo de vida del depósito. Esto es una práctica que permite generar equipos multidisciplinarios con altas competencias para comprender la necesidad de gestionar los depósitos, apoyar la implementación del programa de gestión y participar en la toma de decisiones informada basadas en los principios establecidos en el cumplimiento de los estándares, normativa, permisos y diseño del depósito (Fundación Chile 2018). Dentro de los actores a destacar se encuentra el Ingeniero de Registro, la Junta de Revisión Técnica Independiente y el Inspector de Seguridad de Relaves, los cuales se describen a continuación.

#### **3.3.2.1 Ingeniero de Registro**

El ingeniero de registro 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 cumplan con el estándar de calidad, definir niveles de alertas para situaciones de peligro, así como revisar y monitorear regularmente el depósito en operación (Fundación Chile 2018).

#### **3.3.2.2 Junta de Revisión Técnica Independiente**

Esta Junta, compuesta por expertos, actualmente es considerada para los sitios con depósitos que tienen mayores riesgos ya sean técnicos, ambientales, sociales o políticos, la cual tiene por objetivo evaluar y revisar el diseño y/o las condiciones operativas relacionadas con la administración y la estabilidad a largo plazo de los depósitos, mediante el asesoramiento de terceros en todas las fases y aspectos de la instalación de relaves. Dentro de sus funciones se



encuentra específicamente evaluar los riesgos y oportunidades en el diseño y operación actuales, evaluar si el diseño y la construcción se han realizado de acuerdo con las pautas corporativas y los estándares internacionales, identificar las debilidades que podrían traer un efecto adverso en la salud y seguridad humana, y proporcionar recomendaciones para mejorar el futuro diseño, operación y cierre de las instalaciones (Newmont 2019).

### ***3.3.2.3 Inspector de Seguridad en el Depósito***

Este tercer actor se encarga de realizar las Inspecciones de seguridad en el depósito, por lo general, realiza una visita anual a la mina, entrevistas con el inspector y los operadores de las instalaciones, inspecciones visuales de las instalaciones y revisiones de los datos de instrumentación y monitoreo disponibles. El informe anual que emite debe revisar la operación, el mantenimiento y la vigilancia de las instalaciones de almacenamiento de relaves (Province of British Columbia 2019).



## 4 Resultados

El siguiente acápite muestra los resultados de la recopilación de información hecha para este estudio. Los hallazgos aquí se muestran de forma general, y se sintetizarán por categoría en el siguiente capítulo. Las categorías se definieron de acuerdo a los resultados obtenidos, donde primero se presentan las *Mejores Prácticas de Gobernanza Internacional en materia de manejo de relaves*, luego las *Mejores Prácticas Sustentables en la Industria Minera* identificadas y, finalmente, las *Lecciones Aprendidas* a consecuencia de los incidentes/accidentes relativos a depósitos de relaves más recientes y que han tenido mayor impacto a nivel mundial.

### 4.1 *Mejores Prácticas de Gobernanza Internacional en materia de manejo de relaves*

En cuanto a las normativas se puede apreciar que Chile presenta un sistema regulatorio robusto para los depósitos de relaves (Sernageomin 2018). Sin embargo, en el marco regulatorio aún existen ciertas materias que no han sido abordados de forma íntegra si se compara con otros países, en donde existen avances en temáticas relacionadas a la remediación y rehabilitación de los sitios, y a la periodicidad del monitoreo y fiscalización.

Para el desarrollo del presente capítulo se revisó la normativa internacional de Perú, Brasil, México, Reino Unido, Estados Unidos, Canadá, Australia y Sudáfrica como países referentes en minería (Sernageomin, 2018<sup>4</sup>). A partir de esta revisión se extrajeron las mejores prácticas relacionadas al marco regulatorio en materia de manejo de relaves.

#### 4.1.1 Aprobación del diseño, construcción y operación

En lo referente a la evaluación de impacto ambiental, un aspecto común en el ordenamiento jurídico y constitucional de los países revisados, es la exigencia de una Evaluación de Impacto Ambiental para los proyectos. El sistema, en general, presenta las mismas características, es decir, el interesado presenta un proyecto que debe cumplir cierto formato, estándares y exigencias. El proyecto es examinado, y luego de atravesar varias etapas intermedias en donde distintos órganos sectoriales especializados participan, el proyecto puede ser aprobado, objetado o rechazado (Sernageomin 2018). A continuación se exponen prácticas implementadas por países como Estados Unidos, Sudáfrica, Australia, México, Perú y Reino Unido, en asuntos

---

<sup>4</sup> "Estudios de Normativas Internacionales de diseño, construcción, operación, cierre y post- cierre".



relacionados a evaluación de impacto ambiental, plan de cierre y garantías financieras<sup>5</sup>.

- **Estados Unidos:** en todos los países se exige el levantamiento de una línea base. Sin embargo, en Estados Unidos los servicios especializados son los encargados de caracterizar la línea base, mientras que en Chile los responsables son los titulares del proyecto (Sernageomin 2018).
- **Sudáfrica:** relativo al diseño de un depósito de residuos, en Sudáfrica este debe ser realizado por un profesional registrado, ingeniero civil o ingeniero de minas. Además en relación a la elaboración del plan de cierre, este debe incluir detalles de un especialista, que debe contar con un nivel de experiencia aprobado y registrado (Sernageomin 2018).
- **Australia:** sobre cómo enfrentar distintos criterios, requisitos e inspecciones en Australia se asigna una categoría de riesgo según el impacto que produciría una posible falla en los embalses y/o tranques de relaves, la cual varía dependiendo de la población en riesgo y el nivel de severidad potencial de daño o pérdida. La categoría asignada se usa para determinar los criterios de diseño, los requisitos de gestión y supervisión de la construcción, y los requisitos y frecuencias de gestión de riesgos, inspecciones e informes (Sernageomin 2018).
- **México:** cuenta con una clasificación de embalses y tranques de relaves<sup>6</sup>, en donde a partir de la topografía, hidrología y sismicidad del sitio se asigna una categoría. Con esta clasificación la matriz entrega las opciones para el método constructivo, el análisis de estabilidad del muro contenedor, los instrumentos necesarios para observar el comportamiento del embalse o tranque y el sistema decantador de drenaje (Norma Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003). Si bien cada depósito es único y complejo, esto permite estandarizar ciertos aspectos y, en consecuencia, hacer más eficiente el proceso tanto para el sistema evaluador como para el titular del proyecto. Es importante mencionar que, en México, así como en otros países, no se encuentra prohibido el método de construcción aguas arriba, a diferencia de Chile y Perú que prohíben este tipo de construcciones por ser países sísmicos y por el alto riesgo de derrumbe.
- **Perú:** el plan de cierre es una obligación exigible a todo titular de actividad minera: que se encuentre en operación, que inicie operaciones mineras o las reinicie después de haberlas suspendido o paralizado antes de la vigencia de la Ley (y no cuenten con un Plan de Cierre de Minas aprobado) (Ley N° 28090, 2003). Además, en el caso de que el Plan de Cierre de Minas deba considerar medidas para la rehabilitación de áreas que han sido

<sup>5</sup> Ver **Anexo II** "Instrumentos Elegibles como Garantías Financieras".

<sup>6</sup> Ver **Anexo III** "Clasificación de presas de relaves en la República Mexicana".



impactadas por las operaciones del titular de actividad minera solicitante y por terceros, se podrá optar por presentar medidas de rehabilitación colectivas o individuales (Sernageomin 2018).

Es importante señalar que en Chile el plan de cierre específica que se deben adoptar medidas para asegurar la estabilidad física y química del depósito, sin embargo, no menciona temas asociados a la **remediación o rehabilitación del sitio minero**, como consecuencia la garantía financiera tampoco incluye este tipo de medidas a diferencia de países como Perú, Reino Unido, Estados Unidos, Australia y Sudáfrica, según se señala:

- **Perú:** el titular minero deberá constituir garantías a favor de la autoridad competente para cubrir los costos de las medidas de rehabilitación para los períodos de operación de Cierre Final y Post Cierre (Ley N° 28090, 2003).
- **Reino Unido:** se debe asegurar que existan fondos fácilmente disponibles en cualquier momento para la rehabilitación del terreno afectado por la instalación de residuos (Sernageomin 2018). Adicionalmente, existe un Fondo de Restauración (The Ironstone Restoration Fund) destinado a financiar la restauración de las tierras utilizadas para la explotación de hierro mediante operaciones a rajo abierto (Mineral Workings Act 1951).
- **Estados Unidos:** Bureau of Land Management puede requerir o establecer un fondo fiduciario u otro mecanismo de financiamiento para garantizar la continuidad de la rehabilitación en el largo plazo (Sernageomin 2018).
- **Australia:** antes de llevar a cabo cualquier actividad, se debe proponer una cantidad para asegurar financieramente el costo potencial total de la rehabilitación de la tierra perturbada, de conformidad con el programa de rehabilitación aprobado (Sernageomin 2018).
- **Sudáfrica:** todo solicitante titular de un derecho minero tiene la obligación de constituir una provisión financiera, con el objeto de proporcionar los recursos suficientes para los costos específicos relacionados con la gestión, rehabilitación y remediación de los impactos ambientales (Sernageomin 2018).

Por último, en **Anexo II** se especifica los instrumentos elegibles como garantía en cada uno de estos países.





#### 4.1.2 Monitoreo y Fiscalización

Chile si bien posee un reglamento específico, posiblemente la mayor dificultad que presenta es la baja capacidad de fiscalización y monitoreo (Sernageomin 2018). Es por esta razón que en las secciones siguientes se mencionarán como procede el resto de los países en materias de monitoreo y fiscalización, tanto en la etapa de operación como en el cierre y post cierre de una faena minera.

##### **a. Etapa de Operación**

En Chile, las principales entidades encargadas de fiscalizar corresponden a la SMA, el Sernageomin, la DGA y las mismas empresas mineras. Sin embargo, en el marco regulatorio no se especifica la periodicidad de sus monitoreos y/o fiscalizaciones a excepción del formulario E-700, el cual obliga monitorear de forma trimestral los depósitos de relaves activos. A continuación, se revisará la situación actual de países con avances en este tema.

- **Reino Unido:** no contempla específicamente un sistema de fiscalización tradicional, es más bien el encargado o titular el responsable de mantener un adecuado control del estado de la operación. Sin embargo, se debe hacer una inspección visual a diario por los operadores del relave, que debe ser informada a la autoridad en un formato adecuado, con la frecuencia definida por ella. Además, anualmente un ingeniero especializado debe realizar un informe y cada dos años se debe realizar una auditoría independiente. En relación a los diferentes tipos de inspecciones, se menciona que para un relave de tamaño medio, se estima que las inspecciones diarias y el monitoreo requieren aproximadamente 1 puesto de tiempo completo. Las inspecciones anuales, que a menudo se realizan en la propia empresa con la ayuda de un experto independiente, requieren aproximadamente un total de 5-8 días/hombre. Las auditorías independientes, inspecciones realizadas cada dos años por expertos independientes, implican aproximadamente 20-30 días hábiles de trabajo. Estos plazos varían dependiendo de la complejidad de la instalación (Sernageomin 2018).
- **Estados Unidos:** la entidad Bureau of Land Management realiza inspecciones al menos 4 veces al año, en el caso de operaciones que utilicen cianuro en sus procesos u operaciones que presenten un potencial significativo de generar drenaje ácido (Sernageomin 2018).
- **Canadá:** existen fiscalizaciones anuales exigidas por parte de los gobiernos provinciales, los cuales estipulan aspectos particulares propios del monitoreo. Además, se otorga una clasificación según riesgo, y en función de los elementos de riesgo identificados, las empresas se ven obligadas a acatar las sugerencias e indicaciones que se entreguen en cada inspección (Sernageomin 2018).



- **Perú:** el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental es quien cuenta con un registro de Actos Administrativos y de Infractores Ambientales, los cuales son sistemas de información que permiten al público general conocer las sanciones, medidas cautelares y medidas correctivas impuestas, además del detalle de los procedimientos en los que se declaró la reincidencia de los infractores ambientales. Asimismo, cuenta con un registro de buenas prácticas ambientales en donde se encuentra inscrita toda unidad fiscalizable que no cuente con hallazgos de presuntas infracciones administrativas (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2019).

#### **b. Etapa cierre y post cierre:**

En la normativa chilena se señala que las empresas mineras que deban someter su plan de cierre al procedimiento de aplicación general, deberán realizar auditorías periódicas cada 5 años, a su costo y de acuerdo al programa de fiscalización que elabore el Sernageomin (Decreto 41, 2012). Este mismo decreto menciona que la auditoría tendrá por objeto certificar la adecuación y cumplimiento del plan de cierre y de su actualización, así como la sujeción a su programa de ejecución, de manera de velar por su implementación y avance efectivo en relación al proyecto minero específico. En los párrafos siguientes se mencionará la realidad de Canadá y el Reino Unido en esta materia, países que presentan plazos de fiscalización más claros y con mayor periodicidad que Chile<sup>7</sup>, en relación a los países analizados.

- **Canadá:** la legislación indica que la persona encargada del proyecto debe realizar una actualización del plan al menos una vez al año. Sin perjuicio de lo anterior, el plan debe ser actualizado en el caso de que los resultados de los distintos parámetros, que son monitoreados para controlar la estabilidad física y química de las aéreas de interés, indiquen que los límites establecidos en el plan de cierre han sido superados, esto con el fin de que reflejen los procedimientos que se aplicarán para garantizar que los límites no se superen. En cuanto a la frecuencia de fiscalización, esta se determina en el Programa Anual de Fiscalización y se realiza al menos una vez al año (Sernageomin 2018).

En el caso que un proyecto se encuentre en un estado de inactividad, se deberá inspeccionar la zona al menos una vez cada seis meses para ratificar que todas las medidas de rehabilitación estén en funcionamiento. Respecto a las inspecciones a las zonas consideradas dentro del programa de revegetación, se deberá realizar cada seis meses después de la siembra inicial y hasta que se establezca con éxito la vegetación. Una vez establecida la vegetación, la inspección será anualmente, con el fin de

---

<sup>7</sup> Lo anterior, no significa que el resto de los países analizados no tengan, si no que el periodo es igual a Chile o no lo explicitan.



determinar reparaciones necesarias y para revisar el progreso hacia el desarrollo de un ecosistema autosuficiente (Sernageomin 2018).

- **Reino Unido:** a través de la normativa The Mines and Quarries (Tips) Regulations de 1971, se establecen diferentes tipos de fiscalizaciones, supervisiones o inspecciones respecto al plan de cierre, tanto en minas cerradas como activas. En ambos casos el propietario deberá tomar las medidas necesarias para que una persona competente designada inspeccione semanalmente, en el caso de una mina activa, o en intervalos no superiores a seis meses, en el caso de una mina cerrada cuyo depósito consista en residuos acumulados o depositados total o principalmente en solución o suspensión, o en intervalos no superiores a 12 meses, cuando el depósito consista en residuos acumulados o depositados total o principalmente en estado sólido y no en solución o suspensión.

Además, la persona que haya llevado a cabo la inspección hará y firmará inmediatamente un informe completo y preciso de la inspección, y cada uno de dichos informes, o una copia de dicho informe, se mantendrá por un periodo de tres años. Asimismo el inspector registrará inmediatamente en un libro proporcionado para tal efecto por el propietario de la mina un informe de cada defecto revelado por la inspección y la persona responsable de un depósito anotará en un libro facilitado para tal efecto las medidas adoptadas para subsanar las observaciones reveladas por cualquier inspección realizada (No. 1377 1971).

En relación a los reportes, estos igual se encuentran regulados por el mismo marco, el propietario deberá obtener un informe de una persona competente sobre el depósito y sobre cualquier asunto que pueda afectar a la seguridad del depósito. En el caso de una mina cerrada, los intervalos no deben ser superiores a 5 o 10 años, dependiendo si los residuos acumulados son depositados total o principalmente en solución, o suspensión o no.

#### 4.1.3 Buenas prácticas normativas en otros ámbitos

- **China:** en el año 2016 entró en vigencia la reforma al impuesto a los recursos nacionales de China. La reforma proporcionó algunas políticas preferenciales para ciertos recursos y proyectos mineros. Específicamente, los minerales extraídos de baja ley, roca residual, escoria, alcantarillado, gas residual y otros productos minerales residuales de este tipo disfrutarán de una exención del impuesto a los recursos o una tasa impositiva reducida a discreción del gobierno a nivel provincial. También, los recursos obtenidos por métodos de minería de relleno disfrutarán de una reducción del 50% en el impuesto a los recursos (Shira & Asociados, 2016). Estas medidas son tomadas con el fin de una postura más proactiva en la eliminación de relaves en el país y deseando una alternativa más segura a la disposición



de relaves en la superficie (Fitton, Avoiding large tailings dams without going underground-Robinsky's thickened tailings concept 2017).

- **Perú:** acerca de los pasivos ambientales de la actividad minera, estos son regulados a través de la Ley N° 28271 (2004). En esta se señala que los titulares mineros responsables de pasivos ambientales que no desarrollen operaciones mineras y mantienen el derecho a la titularidad de concesión a través de la vigencia minera, deberán presentar el Plan de Cierre, en un plazo máximo de un año, salvo que éstos soliciten que se cancelen sus derechos a la concesión minera. Los titulares, adicionalmente, podrán celebrar contratos de remediación ambiental con el Estado para la ejecución del mismo, mediante el cual este último financiará su obligación contractual con el FONAM (Fondo Nacional del Ambiente). El Estado asumirá progresivamente los pasivos ambientales en abandono de los titulares no identificados o de aquellos que cancelen su derecho a concesión minera, y a fin de solventar la remediación, serán financiados por el Fondo Nacional del Ambiente, quien se encargará de captar la cooperación financiera internacional, donaciones, canje de deuda y otros recursos a fin de no afectar el Tesoro Público (Ley N° 28271, 2004).
- **Organizaciones gremiales y mineras:** existen agrupaciones gremiales relacionadas con la gestión de grandes represas como ANCOLD (Australia), ICOLD (Europa) o CDA (Canadá), y aquellas agrupaciones mineras como el ICMM<sup>8</sup> o MAC (Canadá), que publican regularmente documentos de buenas prácticas, guías o manuales, donde se establecen lineamientos y prácticas sobre la gestión de los depósitos de relaves (Fundación Chile, 2018).
- **Organización no gubernamental, MiningWatch (Canadá):** nació con el objetivo de proteger al público y al medio ambiente de prácticas mineras destructivas y de hacer realidad la sostenibilidad. Esta organización cuenta con las competencias técnicas y estratégicas para llevar a cabo y/o apoyar, el monitoreo, análisis y las defensas necesarias para la modificación del comportamiento de la industria, y de los que toman decisiones públicas. Es importante mencionar que MiningWatch se encuentra respaldada por organizaciones indígenas, ambientalistas, de justicia social y sindicatos de diversas partes del país (Mining Watch, 2019).

---

<sup>8</sup> International Council on Mining and Metals: organización internacional dedicada a promover una industria minera y metalúrgica segura, justa y sostenible. Reúne a más de 27 empresas mineras, entre las que se encuentra: Codelco, Anglo American, Antofagasta Minerals, BHP y Teck.



- **Organización intergubernamental, The Commonwealth<sup>9</sup>:** asociación voluntaria de estados soberanos independientes e iguales, tiene poderes constitucionales sobre muchos aspectos de la ley (The Commonwealth, 2019). En cuanto a los aspectos relevantes para la industria minera, ha legislado con respecto a corporaciones, exportaciones, impuestos, seguridad/defensa nacional, derechos indígenas, asuntos exteriores, competencia, empleo y asuntos ambientales (Internacional Comparative Legal Guides, 2019).

## 4.2 Mejores Prácticas Sustentables en la Industria Minera

En materia a las mejores prácticas sustentables relacionadas con el manejo de relaves en la Industria Minera, tanto a nivel nacional e internacional, se identificaron prácticas relacionadas con economía circular, reutilización y reciclaje, rellenos de rajos y minas subterráneas, y rehabilitación de sitios mineros, las cuales se presentan a continuación:

### 4.2.1 Economía Circular

A continuación se analizarán algunos ejemplos de **economía circular** en materia de manejo de relaves identificados en la industria.

#### **Reutilización y reciclaje de roca estéril**

Millones de toneladas de roca estéril, relaves y otros residuos mineros son producidos por la industria minera actual (Matinde, Simate y Ndlovu 2018). Debido a su bajo valor intrínseco y a la ubicación remota de la mayoría de las operaciones mineras, más del 95% de estos materiales terminan siendo depositados en vertederos (Lottermoser 2011, Bian, y otros 2012, Flanagan, Grail y Johnson 2017, Ndlovu, Simate y Matinde 2017).

El potencial de reciclaje y reutilización puede proporcionar alternativas sostenibles y rentables para mitigar problemas tales como drenaje de roca ácida, emisiones de polvo en el aire y la contaminación de las fuentes de agua superficial y subterránea, teniendo así una correcta gestión de residuos (Matinde, Simate y Ndlovu 2018). Estudios realizados hace algunos años mencionan que la roca estéril puede reutilizarse como material de relleno para huecos abiertos, reduciendo el volumen de desechos en la mina, como

---

<sup>9</sup> Constituida por 53 países, entre los cuales se encuentra Sudáfrica, Canadá, Reino Unido y Australia. Entre sus funciones brinda capacitación y asistencia técnica, además apoya a los responsables de la toma de decisiones para redactar leyes y aplicar políticas.



materiales de recubrimiento para depósitos de residuos y como sustratos para la revegetación de minas (Lottermoser 2011, Bian, y otros 2012).

Estudios más recientes, como la realizada por Gorakhki (2017) en el Oeste de EE.UU., evaluaron la posibilidad de reutilizar roca estéril mezclada con relaves como materia prima para fabricar cubiertas de balance hídrico, permitiendo aislamiento a largo plazo. Existen dos tipos principales de sistemas de cobertura: i) las cubiertas convencionales y ii) las cubiertas para el balance hídrico. En este sentido, es importante mencionar que los costos asociados a las cubiertas de balance hídrico son típicamente menores de las cubiertas convencionales cuando se dispone de suelo adecuado; por ejemplo, la construcción de una cubierta de balance hídrico en EEUU, resultó en un 64% de ahorro en costos en relación con una cubierta de arcilla compactada de 460 mm de espesor (Gorakhki y Bareither 2017).

### **Reciclaje de aguas de mina**

En el caso de Chile, la recirculación de agua es una práctica muy común en la minería, sobre todo motivado por la escasez de agua en la zona norte de Chile, donde se desarrolla la mayor parte de esta actividad. Según Cochilco, el año 2017, la recirculación de agua en la minería del cobre en Chile alcanzó el 69,7%, más bajo que los años anteriores donde el promedio entre el 2012 y 2016 fue 73,3%. Cabe destacar que el 2017 la región de Coquimbo tuvo la tasa más alta de recirculación (81%) principalmente por las gestiones de minera Los Pelambres que traslada aguas claras recuperadas del tranque el Mauro para la planta de procesamiento de minerales (Cochilco 2018). Según el informe de gestión del recurso hídrico de minera Los Pelambres, su consumo de agua sería en un 85% agua recirculada (Minera Los Pelambres 2013). Esta práctica, además de reducir el consumo de agua, disminuye el volumen de los relaves y, por lo mismo, le otorga mayor estabilidad (Adiansyah, y otros 2015, Schoenberger 2016).

También se menciona que el agua subterránea de las minas puede ser explotada con fines de calefacción o refrigeración utilizando sistemas de bombas de calor geotérmicas (Banks, y otros 2004). Incluso, de acuerdo a Cheng, las aguas de drenaje ácido de minas pueden ser tratadas usando tecnologías de celdas de combustible, generando productos de energía eléctrica y recuperación de metales (Cheng, Dempsey y Logan 2007).



## **Reutilización y reciclaje de relaves**

Se han analizado las propiedades físico-químicas de los relaves, específicamente para ser usados en los materiales de construcción. Es importante destacar que en cada material de construcción, se tiene un porcentaje óptimo de relave añadido, que depende de las características del relave y su uso posterior como material de construcción. Algunos de ellos corresponde a:

- i. Cemento: El uso de relave de cobre como aditivo en el cemento podría incrementar su resistencia y elasticidad, a la vez que mejora su desempeño. Un estudio en China mostró que el óptimo era añadir 15% de relave (Zhang, y otros 2014). Otro estudio realizado en Turquía comprobó que adicionar entre un 5% y un 10% de relaves de cobre al cemento, este aumentada su durabilidad, y resistencia a la flexión y compresión, junto con un aumento en su resistencia contra el ácido y el cloro. También se observó una disminución en su expansión autoclave (con un 5% de relaves), lo cual significa menor probabilidad de desintegración y ruptura. Sin embargo, también se produjo un aumento en la permeabilidad del agua, aunque esto no perjudicó la resistencia del cemento (Onuaguluchi y Eren 2012).

Otros estudios muestran que al adicionar escoria de carbón y relaves de cobre a la mezcla para la calcinación del cemento Clinker (en vez de la arcilla ocupada tradicionalmente), puede generar un cemento de mayor calidad con mejor resistencia y estabilidad. Además, trae otros beneficios adicionales tales como la reducción de la temperatura de calcinación entre 50 y 100 °C (Qiu, y otros 2011).

- ii. Ladrillos y baldosas: Se estudió la factibilidad de hacer ladrillos utilizando relaves de cobre, mediante la tecnología de geopolimerización. Esta técnica requiere de sílice y alúmina, los cuales se encuentran normalmente en los relaves de cobre. Para lograr esto se debe mezclar los relaves con una solución alcalina (NaOH), aplicar una cierta presión al ladrillo mientras esta en el molde y cocerlos a una temperatura ligeramente elevada (40-100 °C). A diferencia de los ladrillos convencionales, los hechos en base a relaves no utilizan arcilla ni roca del tipo esquisto (shale), ni requieren altas temperaturas de cocción (900-1000 °C), lo cual trae beneficios ambientales y ecológicos. Los geopolímeros se caracterizan por ser mejores que los ladrillos tradicionales en términos de resistencia mecánica, alta resistencia al ácido, excelente adherencia a agregados, inmovilización de sustancias tóxicas y emisiones más bajas (Ahmari y Zhang 2012).

En Perú, se estudió agregar relave de cobre en la elaboración de ladrillos y baldosas, asegurándose que éstos no liberaran los metales pesados contenidos en el relave. Para lograrlo, se utilizó la técnica de encapsulamiento o fijación química, que estabiliza los metales mediante su solidificación por la acción conjunta de silicatos, aluminatos y agua, que dan lugar al cemento endurecido. La cantidad de relave secado que se adicionó varió entre un 10 y 22% (Romero y Flores 2010).

- iii. Hormigón: la adición de relave al hormigón tiene un leve impacto negativo en el asentamiento, porosidad y tiempo de fraguado. Ahora bien, un 5% de relave añadido puede tener una mejoría en la resistencia mecánica y a la abrasión, junto con una reducción en la permeabilidad al cloruro. Con respecto a la toxicidad de la mezcla, los experimentos realizados mostraron que los niveles de metales pesados que podían ser liberados son mucho más bajos que los límites máximos establecidos por los códigos de regulación de Estados Unidos (Onuaguluchi y Eren, Copper tailings as potential additive in concrete: consistency, strength and toxic metal immobilization properties 2012). Se ha observado también un aumento de la densidad, mayor resistencia, mayor flexibilidad, menor permeabilidad contra el agua, el aire y el cloro, menor compactación luego del secado, y menor corrosión, con porcentajes de 10% a 30% de relave en el cemento (Thomas, Damare y Gupta 2013).
- iv. Pintura: Los relaves pueden ser usados como extensores para pintura. Los extensores son elementos que no varían el color de la pintura, pero si le agregan propiedades tales como mayor adhesividad, facilita su aplicación, mayor resistencia al agua, y reduce el costo de la pintura, entre otros.

Las pinturas con extensor de relave de cobre adicionado demostraron tener mejor rendimiento en dureza, adhesión, y resistencia a la abrasión, al impacto y a la corrosión, bajo condiciones de humedad y salinidad. La cantidad de extensor de relave de cobre añadido que hizo que la pintura tuviera un mejor desempeño fue entre 30% y 40%, mientras que las propiedades de la pintura se vieron disminuidas con adiciones de 50% de extensor de relave (Saxena y Dhimole 2006).

Otra iniciativa de economía circular que actualmente se encuentra en desarrollo es el proyecto pionero a nivel mundial a cargo de la minera Anglo American en Chile, que permitirá reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en 58 toneladas al año, generar energía eléctrica renovable de 150.000 kWh/año y reducir en un 80%





la evaporación del agua de la laguna del Tranque Las Tórtolas<sup>10</sup>, de la Operación Los Bronces (Anglo American Chile, 2019). La iniciativa consiste en 256 paneles fotovoltaicos<sup>11</sup> (de 330 watts cada uno) ubicados en una isla flotante sobre dicho depósito de relaves que surge como una solución para maximizar el uso eficiente de agua ante la escasez hídrica de la zona central del país. Si bien, hoy Los Bronces recircula entre el 70% y el 80% del agua del proceso, lo que permite abastecer un 45% del requerimiento total de la operación, con este sistema se espera contribuir al objetivo de reducir el consumo de agua dulce en un 50% para 2030, así como las emisiones de CO<sub>2</sub> produciendo energía no contaminante (La Voz de Chile, 2019). Se señala también que no fue necesario instalar flotadores especiales para la isla, pues los estudios arrojaron que el PH del agua del tranque es básico y no ácido (Heusser, 2019). La instalación convierte este espacio nunca antes utilizado, en un área aprovechable y mejora la generación eléctrica fotovoltaica gracias al efecto de enfriamiento natural del sistema, producto de la diferencia de temperatura entre el agua y el ambiente (Anglo American Chile, 2019). Las plantas fotovoltaicas flotantes actualmente son usadas en otros países como Japón, China (que posee la más grande del mundo), Francia y próximamente Holanda, que construirá la primera sobre el mar (Heusser, 2019).

#### 4.2.2 Relleno de Rajos y Mina Subterránea.

A continuación se analizarán algunos ejemplos de **relleno de minas** a nivel de mundial en materia de manejo de relaves.

#### **Relleno de rajo**

El año 2008, el antiguo yacimiento de uranio de Lichtenberg, Alemania, fue rellenado con cerca de 125 millones de m<sup>3</sup> de material estéril radioactivo procedente de antiguos botaderos. Posterior al relleno se llevó a cabo la instalación de cubiertas de protección, recubrimiento vegetal, un sistema de drenes, y sistema de tratamiento de aguas de mina. El relleno del rajo se hizo de manera tal de poner el material estéril de alto poder reactivo en el fondo del rajo (donde queda saturado previniendo el ingreso de oxígeno y minimizando la generación de drenaje ácido), al medio material con potencial incierto, y encima de todo, material con potencial neutralizador, intercalando cada sección con capas de argamasa para neutralizar acidez. El proceso de

---

<sup>10</sup> Está localizado en la comuna de Colina, Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana de Santiago, Chile.

<sup>11</sup> La inversión fue de 250 mil dólares (\$167.925.000 CLP).



rellenado y estabilización tardó 18 años y tuvo altos costos, sin embargo, sirvió para determinar que la realización de un programa de predicción desde el comienzo de la vida útil de un botadero es una solución costo-eficiente en la gestión del drenaje minero (Fundación Chile 2015).

### **Relleno de mina subterránea**

La operación de la mina subterránea Rudna, Polonia, opera desde el año 1974 y actualmente es la mina de Cu más grande de Europa. Desde 1995, el material estéril se deposita en el interior de la mina en su totalidad, relleno las cavernas vacías como relleno en seco o en el uso para la construcción de caminos subterráneos, de manera tal de ahorrar costos relativos a disposición de residuos en la superficie y a actividades para dar estabilidad física a la mina. Este método es altamente eficiente en la prevención de drenaje minero, ya que el material estéril no se encuentra expuesto a la atmósfera (Fundación Chile 2015).

Por otro lado, las minas subterráneas de Zinkgruvan y Garpenberg, ambas localizadas en Suecia, utilizan roca estéril para la construcción de nuevas represas y carreteras en la mina, además la roca estéril libre de sulfuros es vendida a contratistas locales y los minerales de ganga separados del mineral se mezclan con cemento y se utilizan para rellenar las aberturas subterráneas y para la construcción de pilares, lo que permite una recuperación de mineral cercana al 100% ( Compendium of Mining and Processing Waste Management Technologies 2015). La mina Zinkgruvan se encuentra en producción continua desde 1857 y actualmente se extiende hasta los 1.600 m por debajo de la superficie, aproximadamente el 60% del volumen vacío se llena con pasta y el 40% restante se llena con roca estéril para manejar el cierre, estabilizar la mina y minimizar el transporte de residuos a la superficie (Lundin Mining 2017). En cambio, Garpenberg utiliza el relleno de pasta, el cual ha pasado de ser, luego de 10 años que se ha aplicado esta medida, un método innovador a uno probado y rentable en la actualidad (Eriksson y Nyström 2018). La pasta del relave es mezclada con cemento y escoria metalúrgica molida, aunque en Garpenberg han evaluado diferentes fórmulas para encontrar la más óptima de acuerdo a su contexto.

#### 4.2.3 Rehabilitación de Sitios Mineros

Un ejemplo de esto se sitúa en Chile a través de un convenio firmado entre la Compañía Minera Dayton y la Subsecretaría del Ministerio del Medio Ambiente, en este caso el plan de intervención de relaves constó de dos tipos de intervención diferenciada por zona y justificada por las características,



condiciones y ubicación de cada una de ellas. En el área más cercana al sector poblado se tomaron acciones como: instalación de una cerca con cierre de malla para seguridad y cerco vegetal para control ambiental y aporte paisajístico, restitución de cubierta de suelo, generación de un diseño paisajístico de vegetación natural autóctona y de acceso público, con características de "paseo peatonal" y mirador, además de plantar ejemplares de especies autóctonas definidas como vulnerables, adicionalmente por solicitud de los vecinos del sector, se instaló una cancha de pasto sintético para uso de la comunidad. Por otro lado en el área más alejada del sector poblado las acciones se concentraron solo en la extracción de relaves y su traslado (Fundación Chile 2015, Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente 2013).

De igual forma existen ejemplos internacionales como lo es el proyecto Eden desarrollado en un antiguo rajo de caolinita, ubicado cerca de las ciudades St Blazey y St Austell, Cornwall, en donde se construyeron invernaderos, un anfiteatro y jardines con fines educacionales (The Eden Project 2016).

Por otro lado, investigaciones más recientes realizadas en Canadá podrían dar un nuevo paso en la rehabilitación de sitios mineros, ya que los Laboratorios de Ciencias Mineras y Minerales de CANMET han estado realizando estudios con el fin de demostrar que residuos orgánicos (por ejemplo, biosólidos municipales, biosólidos de pulpa y papel) puedan ser utilizados para remediar los relaves de las minas y establecer un uso agrícola de la tierra para "cultivos energéticos", tales como: maíz, canola, soja y otras especies, a fin de utilizarlos como materia prima en la producción de combustible verde (Tisch, Zink y Vigneault 2009). En este caso preocupaciones como la ingesta de metales u otros contaminantes que surgen cuando los cultivos son para consumo humano o animal ya no son inquietantes, debido a que los cultivos se cosechan para la producción de combustible. Además, existen un conjunto de pruebas que corroboran la potencial viabilidad técnica y económica del uso de materiales orgánicos de desechos para recuperar los relaves de la mina (Tisch, Zink y Vigneault 2009). Entre algunos ejemplos se encuentra la mina Pronto (Norte de Ontario), Vale Inco (Sudbury), Porcupine Gold Mines (Timmins) y en provincias como Quebec, Alberta y British Columbia, aunque en estas últimas el uso de residuos orgánicos ha estado dirigido principalmente a la recuperación general, es decir, control del polvo, erosión y mejora en la estética. A pesar de que el desarrollo de este tipo de iniciativas requieren ser llevados con responsabilidad a través de diversos estudios, los beneficios económicos que podrían incluir son: el uso de los desechos de una industria (biosólidos) para recuperar los desechos (relaves) de otra industria; una contribución de la industria minera para el desarrollo sostenible y el

crecimiento de la comunidad; y una contribución a la reducción de gases de efecto invernadero (Hargreaves, y otros 2012).

No obstante, examinar las posibles alternativas para el cierre de una mina es de suma importancia, esto depende del contexto y de la situación de cada faena, por eso se recomienda evaluar tanto física como químicamente los relaves abandonados mediante observaciones en terreno, análisis en laboratorios y el manejo de cualquier información disponible sobre el sitio para tomar la decisión. Un ejemplo de esto es el caso de los relaves abandonados de Mount Nansen, Yukon, Canadá (2010), en donde la implementación de todas estas medidas permitió optar por la estrategia más rentable y práctica para el desmantelamiento permanente de los relaves en la mina abandonada (Kwong 2010).

### **Revegetación de depósitos de residuos**

La presencia de elementos y compuestos ambientalmente significativos en algunos residuos mineros requiere invariablemente su aislamiento en depósitos adecuadamente construidos (Lottermoser 2011). Para esto se menciona una estrategia eficaz que consiste en aislar los relaves y las rocas de desecho mediante el recubrimiento con una capa gruesa de material sólido e inerte. Los materiales utilizados para estas cubiertas incluyen roca estéril y relaves benignos, arcillas, tierras, residuos orgánicos y materiales neutralizantes (por ejemplo, piedra caliza). No obstante, el autor explica que el rendimiento a largo plazo de las cubiertas secas se ve fuertemente afectado por el clima, la selección y disponibilidad de materiales, los costos y las prácticas de construcción, la estabilidad física, el cambio de volumen, la evolución del suelo, la estabilidad ecológica y el crecimiento de la vegetación. Es en este punto, según Lottermoser (2011), la vegetación es una de las claves para el funcionamiento eficiente y sostenible de las cubiertas secas, porque las plantas, en cierto grado, protegen las cubiertas contra la erosión y transpiran el agua infiltrada.

En este punto la fito-estabilización aparece como una alternativa de vegetación. La fito-estabilización es una de las cuatro formas principales de fito-remediación, dentro de sus principales ventajas están: más económica que otras técnicas de estabilización, fácil de implementar y es preferible estéticamente (Cochilco 2016). De acuerdo a Tobar y Venegas (2014) ésta consiste en la implantación de especies arbóreas nativas en los depósitos terminados (no activos), nativas capaces de resistir y sobrevivir en suelos con altos niveles de metales, a fin de estabilizar física y químicamente sustratos



ricos en metales como es el caso de los depósitos de relaves (Tobar y Venegas 2014). La investigación realizada por Mendez y Maier (2007) menciona que la fito-estabilización de los relaves mineros en regiones áridas y semiáridas tiene un potencial prometedor. Esto no deja de ser relevante ya que estos mismos mencionan que los sitios de disposición de relaves de minas, inactivos o abandonados, prevalecen en regiones áridas y semiáridas de todo el mundo (Mendez y Maier 2007), como lo son en el Norte de México y el oeste de Estados Unidos, la costa del Pacífico de Sudamérica (Chile y Perú), el suroeste de España, el oeste de la India, Sudáfrica y Australia (Munshower 1994, Tordoff, Baker y Willis 2000). Aunque puede no ser posible crear un tope biológico equivalente al área no contaminada, una fito-estabilización exitosa puede crear un tope biológico autosuficiente con un ecosistema que se asemeje más a un ambiente sano de suelo y planta, proporcionando la estabilidad superficial necesaria para prevenir la erosión eólica e hídrica (Mendez y Maier 2007).

En Chile, Minera los Pelambres ya puso en práctica este método en el año 2008 y se trató de un proceso participativo e inédito en Chile, debido a que por primera vez comunidades vecinas a una faena minera participan del cierre a través del proceso de fito-estabilización, apuntando a la sustentabilidad en una zona donde se convive con la agricultura. En una primera etapa se trasplantó y probó la adaptación de más de 23 mil plantas, de 11 especies nativas que cubrieron un total de 30 hectáreas de la superficie del tranque, los resultados de esta etapa fueron satisfactorios, puesto que 7 de estas 11 especies nativas presentaron una positiva adaptabilidad al terreno, ya que al 2015, las raíces se encontraban emplazadas en el mismo relave cumpliendo la función de estabilizar y absorber metales pesados, mientras que en el plano externo muchas plantas ya superan los dos metros de altura (Mesa de Cierre del Tranque Los Quillayes 2015). Cabe destacar que los vecinos participaron activamente tras la creación de un vivero, el cual ha sido fuente laboral para más de una decena de personas locales, gracias a esta iniciativa se lograron trasplantar las primeras 25.680 plantas (Nueva Minería y Energía 2014).

Chile ya cuenta con estudios localizados en la Región de Coquimbo para poder validar e implementar la tecnología de fito-estabilización en los depósitos de relaves mineros de esta región. En este sentido, el Centro de Investigación Minera y Metalúrgica (CIMM) publicó la guía técnica "Fito-estabilización de Depósitos de Relaves en Chile" (2011)<sup>12</sup>.

Por lo tanto, un conocimiento sólido del rendimiento de la vegetación en las cubiertas secas es crucial para el establecimiento exitoso al largo plazo de la

---

<sup>12</sup> <https://sites.google.com/site/fitotoxicidadyfitorremediacion/fitorremediacionpublicaciones/libros>

vegetación sobre los depósitos de residuos (Lottermoser 2011). No obstante, el autor expresa que el diseño sigue centrándose en las propiedades físicas y de ingeniería de los materiales de la cubierta, y tiene mínimamente en cuenta las necesidades de crecimiento de la vegetación y su efecto en el rendimiento de la cubierta. En este sentido, mencionar lo ocurrido en la mina de Uranio Rum Jungle en Australia, donde las cubiertas del suelo han sido acidificadas y contaminadas con cobre (Menzies y Mulligan 2000) ya que las plantas absorben los metales de los relaves cubiertos, introduciendo los contaminantes en el ambiente circundante y provocando la muerte de la vegetación en el depósito.

Los operadores de minas y las autoridades gubernamentales instalan estas tecnologías con la expectativa de que dichas cubiertas proporcionen una solución a largo plazo para el aislamiento de los desechos y reduzcan la probabilidad de interacción con la biosfera, la generación de ácido y el drenaje de contaminantes (Lottermoser 2011). Sin embargo, este mismo autor manifiesta que existe poca evidencia de un rendimiento comprobado a largo plazo.

### 4.3 Lecciones Aprendidas

Parte de los avances, ya sea en términos de normativas y/o prácticas desarrolladas por la industria, nacen de las lecciones aprendidas a causa de fallas ocurridas en depósitos de relaves a lo largo de la historia. Las grandes consecuencias ambientales originadas por estos accidentes relativos a depósitos de relaves, como la contaminación de suelos, ríos y aire, las pérdidas de cientos de vidas humanas, y las causas judiciales y multas millonarias aplicada a los responsables, entre otras, incentivan a tomar una postura más proactiva frente a las situaciones de riesgo. A continuación se presenta un listado con una breve descripción de los incidentes/accidentes relativos a depósitos de relaves más recientes y que han tenido mayor impacto a nivel mundial.

<b>COMPAÑÍA</b>	<b>Minera Vale S.A.</b>
<b>UBICACIÓN</b>	Córrego de Feijão mine, Brumadinho, Minas Gerais, Brasil
<b>FECHA</b>	25/ENE/2019
Se ocasionó el colapso de la pared exterior de la presa, lo que provocó la muerte de al menos 157 personas, la detención de tres empleados y dos ingenieros, la congelación de más de \$800 millones BRL para compensar a las víctimas, el gasto de unos \$5.000 millones BRL <sup>13</sup> en desmantelamiento en los próximos tres años, y la suspensión de la producción en su mina Brucutu en Minas Gerais, que tiene una	

<sup>13</sup> Reales Brasileños.



capacidad anual de 30 millones de toneladas de hierro (Europa Press, 2019), adicionalmente se aplicó una multa inicial de \$250 millones BRL por el accidente (BBC News Mundo, 2019). Dentro de las causas se menciona que hay evidencias de que la explosión hubiera sido causada por un fenómeno conocido como licuefacción, que hace que un material sólido como la arena pierda fuerza y rigidez y se comporte como un líquido (Blandón, 2019). Por otra parte, se menciona que el hecho de que la represa llevara inactiva tres años, sin recibir residuos, habría desgastado la estructura (BBC News Mundo, 2019). Sin embargo, lo único seguro hasta el momento es que un estudio interno, fechado el 18 de abril de 2018, describía el posible impacto de un colapso en la represa (Blandón, 2019).

**COMPAÑÍA**     **Minera Samarco S.A.**

**UBICACIÓN**     Germano mine, Bento Rodrigues, Mariana, Región Central, Minas Gerais, Brasil

**FECHA**             5/NOV/2015

Se produjo una ruptura del muro de contención de la presa Fundão. Causando diecinueve muertes solo en la primera media hora, además como producto del colapso se dañó la estructura de dos embalses más, Santarém y Germano, quedando con riesgo de colapsar. En la investigación se reveló que Fundão siempre había presentado problemas de drenaje, los cuales aumentaron en frecuencia y gravedad tras la alteración del eje, torciéndolo para que pudiera contener un volumen mayor de residuos, obra que nunca se informó a los órganos ambientales correspondientes. Adicionalmente se acusa conflicto de interés, dado que, la misma empresa que realizó el informe pericial comprobando la seguridad del embalse fue la encargada del ensanche de la presa (Ciper, 2017).

**COMPAÑÍA**     Minera Hércules Ltda

**UBICACIÓN**     Herculano mine, Itabirito, Región Central, Minas Gerais, Brasil

**FECHA**             10/SEP/2014

El accidente ocurrió cuando una presa de relaves en el sitio de la minería falló, creando un alud que dejó a tres trabajadores muertos (MEI, 2019). El fallo fue debido a la saturación causada por un drenaje inadecuado de acuerdo a un informe técnico preparado por el Instituto de Criminología. Los compañeros de la mina fueron acusados formalmente de cargos de asesinato en primer grado, acusación realizada por continuar colocando relaves en una represa que estaba dañada, ya había alcanzado su capacidad y no tenía licencia para recibir relaves. Los hallazgos también hacen referencia a la falta de notificación a las autoridades de la falla y el suministro de información falsa a los funcionarios. En cuanto al daño ambiental causado por el accidente, es de al menos \$ 30 millones BRL, para asegurar que todas las medidas de reparación y compensación sean implementadas (Lindsay Newland Bowker, 2015).

**COMPAÑÍA**     **Southern Copper Corp.**

**UBICACIÓN**     Buenavista del cobre mine, Cananea, Sonora, México



<b>FECHA</b>	6/AGO/2014
<p>Cuarenta mil metros cúbicos de sulfato de cobre acidulado se derramaron (Toscana &amp; Hernández, 2016), cuando presuntamente falló la válvula de un tubo y se rompió el bordo del represo en el área de lixiviados, demostrando la ineficacia de los sistemas de contención que no soportaron la presión del volumen ejercido por el agua ácida de su interior (Estévez, 2014). Esto afectó cuatro cuerpos de agua y ocho municipios al contaminar también el suelo, afectando la flora y la fauna de la cuenca, dando lugar a uno de los desastres socio ambientales derivados de la actividad minera más grandes de México (Toscana &amp; Hernández, 2016).</p>	
<b>COMPAÑÍA</b>	<b>Imperial Metals Corp</b>
<b>UBICACIÓN</b>	Mount Polley mine, near Likely, British Columbia, Canadá.
<b>FECHA</b>	4/AGO/2014
<p>Responsable del vertido de agua y barro residuales tóxicos, liberando más de 10 millones de metros cúbicos de agua y 4,5 millones de metros cúbicos de arena en Polley y el Lago Quesnel, según estimaciones del Ministerio de Medio Ambiente de British Columbia, esto equivale a llenar con agua 4.000 piscinas de tamaño olímpico (Nasa Earth Observatory, 2019). Las observaciones de las Investigaciones de Superficie proporcionaron evidencia clara de cizallamiento<sup>14</sup>, desplazamiento lateral del cuerpo y rotación del terraplén lo que resultó en la brecha que produjo el derrame (Province of British Columbia, 2015).</p>	
<b>COMPAÑÍA</b>	<b>Sherrit International</b>
<b>UBICACIÓN</b>	Obed Mountain Coal Mine, northeast of Hinton, Alberta, Canadá
<b>FECHA</b>	31/OCT/2013
<p>Se vertieron aproximadamente 670.000 m<sup>3</sup> de agua que contenían toneladas de sedimentos y finos de carbón (Alberta Wilderness Association, 2017). Lo que alteró notablemente la composición química del río Athabasca a medida que fluía río abajo (Cooke, Schwindt, Davies, Donahue, &amp; Azim, 2016). Esto se produjo como consecuencia de una falla de dique, dado a que Alberta Energy Regulator (AER) no hizo un seguimiento de la estructura. Alberta Wilderness Association (2017) menciona que habrían encontrado que la estructura se había construido en una ubicación y forma incorrecta, además, un mes antes del derrame, el nivel de agua del estanque de relaves era cuatro metros más alto que el nivel máximo permitido. Finalmente las multas ascendieron a \$ 4.5 millones CAD, más los costos de limpieza.</p>	
<b>COMPAÑÍA</b>	<b>Unidad Minera Caudalosa Chica</b>
<b>UBICACIÓN</b>	Huancavelica, Perú
<b>FECHA</b>	25/JUN/2010
<p>La ruptura del dique de contención de la presa desbordó un volumen de 57,894 m<sup>3</sup> de relaves mineros (OEFA, 2010), ocasionando perjuicio a los ríos Escalera y</p>	

<sup>14</sup> Deformación lateral que se produce por una fuerza externa.





Opamayo, así como a los pobladores, quienes vieron afectadas sus actividades productivas (La República, 2011) . La causa inmediata de la fisura del dique fue una incapacidad de evacuación de aguas residuales y/o exceso de agua en la descarga de relaves (OEFA, 2010). Por otra parte, La República (2011) señala que la compañía minera fue sometida a un proceso administrativo sancionador por parte de la Dirección de Fiscalización del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA).

---

**COMPAÑÍA**      **Karamken Minerals Processing Plant**

**UBICACIÓN**      Karemken, Magadan región, Rusia

**FECHA**              29/AGO/2019

La represa se rompió después de tres días de fuertes lluvias. La tragedia afectó al río Tumannaya, provocó la inundación de casas cercanas y la muerte de al menos un hombre. Se acusa que la principal causa fueron las fuertes lluvias sumado a la inactividad de la mina de oro durante 15 años (RIA Novosti, 2009).

---

**COMPAÑÍA**      Tashan Mining Company

**UBICACIÓN**      Taoshi, Linfen City, Xiangfen country, Shanxi province, China

**FECHA**              8/SEP/2008

La lluvia torrencial causó un deslizamiento de tierra que también derribó un depósito de desechos de hierro no autorizado, retenido por un muro que se derrumbó, a solo 100 metros sobre las primeras casas (Asia News, 2008). El embalse fue abandonado y sellado por una empresa minera estatal hace muchos años y posteriormente los empresarios privados asumieron el control, además se señala que una empresa estaba utilizando el vertedero abandonado para deshacerse de sus residuos de producción de forma ilegal (Asia News, 2008). Como consecuencia el derrame causó cientos de muertos y desaparecidos, al mismo tiempo la encarcelación de 13 personas, entre ellas el propietario y los supervisores de la mina (Asia News, 2008).

---

**COMPAÑÍA**      **Minera Rio Pomba Cataguases Ltda**

**UBICACIÓN**      Miraí, Minas Gerais, Brasil

**FECHA**              10/ENE/2007

Se derramaron dos mil millones de litros de desechos en el Ribeirão Fubá. La inundación llegó a alcanzar cerca de 400 casas y comercios, causó daños ambientales como inundación de tramos de áreas agrícolas, mortandad de peces y desabastecimiento de agua en varias ciudades. Según la Fundação Estadual de Meio Ambiente (Feam), que contrató especialistas en seguridad de represas, la sentencia técnica concluyó que la ruptura de la represa ocurrió por erosión del suelo, pues el vertedero de emergencia no tenía revestimiento adecuado para el paso del flujo de agua (Antunes, Brum, & Oliveira, 2015).

---

**COMPAÑÍA**      **Zhen'an county Gold Mining Co. Ltd**



---

**UBICACIÓN** Miliang Zhen'an county, Shangluo, Shaanxi Province, China

---

**FECHA** 30/ABR/2006

---

Tras la rotura del dique en una cuenca de almacenamiento de relaves en la mina de oro, se liberó agua que contenía cianuro de potasio en el río HUASHUI, contaminando en una longitud de más de 5 km. Las mareas causaron un deslizamiento de tierra, lo que destruyó unas 20 casas al pie del dique y además de la desaparición de 17 personas (Aria, 2006).

---

**COMPAÑÍA** Mississippi Phosphates Corp

---

**UBICACIÓN** Bangs Lake, Jackson Country, Mississippi, EEUU

---

**FECHA** 14/ABR/2005

---

Aproximadamente 17,5 millones de galones de agua contaminada fueron derramados de forma repentina. Esta catástrofe ocurrió cuando las paredes de estanques de retención llenos de aguas residuales colapsaron, a pesar de que las pilas de yeso estaban rodeadas por un sistema diseñado para capturar dichos derrames. La compañía afirmó que la pila de yeso que contenía las aguas residuales falló debido a las fuertes lluvias. Sin embargo, la información meteorológica del Southern Climate Data Center indicó que no hubo lluvia en los dos días anteriores al derrame. También se alegó que la empresa intentó aumentar la capacidad de los estanques construyendo muros de contención demasiado grandes y de forma rápida. Por otro lado, el Mississippi Department of Environmental Quality (MDEQ) indicó que creía que los diques alrededor de las pilas de yeso no eran suficientes para atrapar el derrame del estanque (**National Estuarine Research Reserves, 2019**).

---



## **5 Síntesis y análisis**

Analizando las distintas acciones que se han tomado en el mundo en relación a la gestión de relaves, tanto a nivel normativo como de manera privada por las mismas mineras, se analizará cada sección de forma individual, y en algunas de estas se dividirá por categorías, según se presenta a continuación:

### *5.1 Análisis de Normativa*

En los últimos años Chile ha avanzado en normativa relacionada a relaves, a través de: el Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves (D.S. 248); la Regulación del cierre de faenas e instalaciones mineras (Ley N° 20551); y el Reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental (D.S. 40). Lo anterior, proporciona un marco regulatorio que, a grandes rasgos, exige a las empresas mineras una Evaluación de Impacto Ambiental (o bien DIA), el cumplimiento de criterios para la aprobación del diseño, construcción, operación y cierre, y la entrega de un plan de cierre, este último con la intención de evitar la generación de nuevos pasivos mineros ambientales. No obstante, aún faltan áreas que abordar para estar a la par de países referentes en minería.

Una de estas áreas es la incorporación de entidades especializadas o expertos en las distintas fases del ciclo de vida del proyecto, como el caso de Estados Unidos, en donde los servicios especializados son los encargados de caracterizar la línea base, o en Sudáfrica, donde el diseño debe ser realizado por un profesional registrado, ingeniero civil o ingeniero de minas, y la elaboración del plan de cierre, debe incluir detalles de un especialista (Sernageomin 2018).

En cuanto a la estabilidad química, si bien en Chile existen estándares para la calidad del aire y normas de calidad para los distintos usos en agua, no existe una normativa específica, ni de rango legal ni reglamentario, que regule expresamente la calidad de los suelos en cuanto a concentración de sustancias tóxicas o potencialmente dañinas para el ser humano y el medio ambiente (Fundación Chile 2012). Lo anterior, dificulta un control acucioso respecto de posibles fallas en la estabilidad química de los depósitos de relaves.

Sin perjuicio de lo mencionado anteriormente, Arica cuenta con una serie de recomendaciones respecto a las concentraciones tras un plan de muestreo, realizado con el objeto de determinar la contaminación por polimetales tóxicos. Además Fundación Chile, en conjunto con la Universidad de Magallanes, en el 2012 elaboraron la "Guía Metodológica para la gestión de suelos con potencial



presencia de contaminantes”, la cual es una guía simplificada que busca exponer de manera práctica los principales procedimientos involucrados en la gestión de Suelos con Presencia de Contaminantes (SPC) (Fundación Chile 2012).

En este sentido se puede mencionar la experiencia de Estados Unidos relacionada con la metodología implementada por la Environmental Protection Agency (EPA), la cual consiste en determinar los rangos límites aceptables para la salud de los seres humanos. La EPA utiliza valores de alerta o “screening”, denominados Soil Screening Levels (SSL), los cuales son comparados con los determinados empíricamente en las zonas donde se tiene la sospecha de contaminación. En caso que los valores medidos sean superiores a los SSL, entonces se da paso a una investigación confirmatoria que implica la toma de muestras y estudios específicos. De esta forma comienza un proceso de varias etapas que, dependiendo del caso, puede terminar o no con la implementación de medidas de remediación del suelo (Sernageomin 2018).

Respecto a la Ley del Cierre de Mina, si bien se encarga de asegurar la estabilidad física y química de la faena, no considera temas asociados a la reparación del sitio minero ya sea mediante rehabilitación, revegetación u otra medida, a diferencia de países como Perú, Reino Unido, Estados Unidos, Australia y Sudáfrica. En consecuencia, la garantía financiera tampoco incluye este tipo de medidas.

Por otra parte, en cuanto a la fiscalización y monitoreo en las etapas operación, cierre y post cierre, si bien nuestra legislación define auditorías en su marco regulatorio, sería recomendable aumentar la periodicidad de ésta. En países como Canadá, Estados Unidos y Reino Unido el periodo en ningún caso excede el año.

En el caso de los relaves abandonados, Perú ya cuenta con una legislación que responsabiliza al concesionario de su cierre, o bien en el caso que el concesionario renuncie a éste, pasa a ser propiedad y responsabilidad del Estado (Ley N° 28271 2004).

Finalmente, importante destacar a China en relación a la reforma realizada en el 2016, donde proporcionó una tasa impositiva reducida a discreción del gobierno a nivel provincial, específicamente, a los minerales extraídos de depósitos de baja ley, roca residual, escoria, entre otros. Además, los recursos obtenidos por métodos de minería de relleno disfrutarán de una reducción del 50% en el impuesto a los recursos (Shira & Asociados, 2016).



## *5.2 Buenas prácticas sustentables en la Industria Minera*

En cuanto a las mejores prácticas sustentables en la Industria Minera, éstas se pueden agrupar como: medidas de prevención, mitigación, compensación y reparación.

### 5.2.1 Medidas de Prevención

Las medidas de prevención buscan que la empresa minera se prepare anticipadamente frente a un potencial riesgo en el manejo de relaves. Las medidas que clasifican en esta categoría corresponde a: la participación de figuras externas y la suscripción o adhesión a estándares internacionales proporcionados por organizaciones gremiales mineras.

Dentro de las figuras externas se encuentran el ingeniero de registro, la junta de revisión técnica independiente y el Inspector de seguridad, las cuales son incorporadas al equipo de gestión con responsabilidades asignadas durante todo el ciclo de vida del depósito. Lo anterior, es una práctica que permite generar equipos multidisciplinarios con altas competencias (Fundación Chile 2018).

La segunda medida preventiva es la suscripción o adhesión a estándares internacionales con la intención de ir más allá de cumplir solo con la normativa estatal. Por ejemplo, grandes compañías como CODELCO, Antofagasta Minerales, BHP, Anglo American o Teck, entre otras, son miembros del ICMM, por lo que reconocen la importancia de una adecuada gestión de los depósitos de relaves para un desarrollo sustentable (Fundación Chile 2018).

### 5.2.2 Medidas de compensación

Las medidas de compensación tienen por objetivo contrarrestar los efectos negativos causados al medio ambiente por la actividad minera, mediante una acción que se equipare a tales efectos.

Es importante mencionar que en el marco de la Nueva Política Nacional de Relaves, la cual se encuentra en desarrollo, se encuentran medidas a implementar como modificaciones al plan de cierre. En lo específico, se pretende utilizar los depósitos de relaves abandonados e inactivos como objetos de medidas de compensación de impactos significativos (como, suelo y emisiones) mediante el cierre o relocalización de estos depósitos. Esta opción se presentaría en el marco de la tramitación ambiental de un proyecto que ingrese mediante un Estudio de Impacto Ambiental al SEIA (Pérez-Cueto, 2018). Sin embargo, para aquellos titulares que se presenten mediante una Declaración de Impacto Ambiental, y deseen remediar un relave de forma



voluntaria también podrían hacerlo. Es importante destacar que recién se está implementado de forma piloto en la región de Atacama.

### 5.2.3 Medidas de mitigación

Las medidas de mitigación tienen por objeto atenuar o minimizar el daño ambiental provocado por los residuos de la actividad minera. Entre estas medidas se encuentran las asociadas a economía circular, como la reutilización y reciclaje de roca estéril, aguas de mina, y relaves, según se señala a continuación:

- **Rocas de desecho:** relleno para espacios abiertos, sustrato para jardinería o revegetación de suelos degradados, materia prima para fabricar cubiertas de balance hídrico.
- **Agua de mina:** reutilización del agua en la minería, agente refrigerante o calentador, generación de electricidad con tecnología de celdas combustibles.
- **Relaves:** Como aditivo para materiales de construcción como cemento, ladrillos y baldosas, hormigón, extensores de pintura (dependiendo el tipo de relave), reprocesamiento para extracción de minerales, relleno de rajos y minas subterráneas.

### 5.2.4 Medidas de reparación/remediación

Las medidas de reparación son acciones que tienen como fin restaurar el sitio minero, como lo son la rehabilitación y revegetación.

Las medidas de rehabilitación devuelven a los desechos y sus depósitos a un estado que permite el uso futuro de la tierra. Algunos ejemplos corresponden al desarrollado por la Compañía Minera Dayton, y el Proyecto Eden localizado en Inglaterra. Asimismo, algunas investigaciones estudian establecer un uso agrícola de la tierra para “cultivos energéticos” tales como: cultivos de maíz, canola, soja y otras especies, a fin de utilizarlos como materia prima en la producción de combustible verde (Tisch, Zink y Vigneault 2009).

En relación a la revegetación de los depósitos de residuos, esta se da por la presencia de elementos y compuestos ambientalmente significativos. Dentro de éstas alternativas se identificaron cubiertas secas y fito-estabilización, como es el caso de Minera Los Pelambres en el 2008, donde trabajó en conjunto con las comunidades vecinas.



### 5.3 Lecciones aprendidas

Si analizamos las fallas más recientes de depósitos de relaves (descritas en el punto 4.3 del presente informe), éstas se pueden categorizar según su causa: fallas por inestabilidad física, inestabilidad química y relaves abandonados. Es importante mencionar que dentro de las causas de estos desastres ambientales, ahora aflora la variable del cambio climático, según se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 2:** Resumen causa de fallas depósitos de relaves.

<b>Compañía / Mina</b>	<b>Causa de Falla</b>	<b>Categoría de falla</b>
Córrego de Feijão	Licuefacción - Inactividad	Física- Abandono
Germano	Drenaje – Alteración del eje	Física - Química
Herculano	Drenaje	Química
Buenavista del cobre	Falla de válvula- Sistema de contención	Física
Mount Polley	cizallamiento, desplazamiento lateral del cuerpo y rotación del terraplén	Física
Obed Mountain Coal	Rotura dique	Física
Caudalosa Chica	incapacidad de evacuación de aguas residuales	Física
Karamken Minerals Processing Plant	Fuertes lluvias	Cambio Climático
Tashan mining Company	Fuertes lluvias	Cambio Climático- Abandono
Minera Rio Pomba Cataguases	Erosión de suelo	Química
Zhen'an county Gold Mining Co. Ltd	Rotura de dique	Física
Mississippi Phosphates Corp	Construcción para aumentar la capacidad de los tanques	Física

**Fuente:** Elaborado por Cochilco.

Es importante considerar que en Chile muchos de los depósitos abandonados fueron construidos ante de la legislación vigente, por lo que no cumplían con los criterios de diseño, construcción, operación y cierre que hoy en día exige la legislación. Lo anterior, sumado a su estado de inactividad y al cambio climático, y que los reactivos utilizados en los procesos de concentración mediante flotación eran más tóxicos que los actuales, las probabilidades de falla aumentan, por lo que verificar su estado y ocuparse de estos debe ser primordial en la agenda minero-medio ambiental nacional.



## **6 Comentarios finales**

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 en términos de depósitos de relaves.

Si bien son numerosos los aspectos que la normativa ya tiene incorporados, relacionados con la seguridad y estabilidad de este tipo de instalaciones, es relevante considerar los efectos que el cambio climático tendrá sobre los depósitos, impactos que se acentúan cada vez más en el tiempo. En este sentido, es deseable ir más allá de lo convencional, implementando mejoras en la legislación actual y en cómo el sector privado desarrolla esta actividad.

A continuación, se presentan algunas recomendaciones respecto de las mejores prácticas sustentables aplicadas en la industria minera a nivel internacional, como resultado del presente informe:

- Implementar una normativa que establezca el rango tolerancia para la calidad de los suelos, en cuanto a concentración de sustancias tóxicas o potencialmente dañinas para el ser humano y el medio ambiente. De esta forma, los tres aspectos de la estabilidad química quedaran regulados (aire, agua y suelo).
- Aumentar, para cada entidad responsable, la periodicidad de monitoreo y fiscalización en todas las etapas del ciclo de vida de un depósito. Iniciativas como el Programa Tranque pueden apoyar esta labor.
- Incorporar figuras externas tal como el Ingeniero de Registro, la Junta de Revisión Técnica Independiente y el Inspector de Seguridad, con miras a generar equipos multidisciplinarios, con responsabilidades asignadas durante todo el ciclo de vida, y que apoyen en la labor de fiscalización.
- Apuntar hacia una normativa orientada a la reparación del sitio del depósito de relaves, manteniendo las exigencias respecto a la estabilidad física y química, haciendo obligatoria la responsabilidad de rehabilitar el lugar.
- Impulsar la creación de incentivos para que las empresas implementen medidas de prevención, compensación, mitigación y reparación, como las que fueron expuestas en este informe. En este sentido, es importante mencionar la reforma realizada por el gobierno de China en el 2016, donde resolvió introducir una política que exime en un 50% los impuestos de las compañías mineras que depositen sus relaves por métodos de minería de relleno.





- Ir más allá y regular en materia de pasivos ambientales mineros en general, considerando que algunas faenas en el pasado no tuvieron las restricciones que hoy se consideran para los cierres de faena, tanto de relaves abandonados como de otros pasivos, con miras hacia una gestión integral por parte Estado en conjunto con las empresas mineras, a través de iniciativas de compensación, mitigación y restauración, entre otras herramientas. Importante señalar que actualmente el Ministerio de Minería se encuentra liderando el Plan Nacional de Relaves que busca establecer directrices, para abordar tanto los desafíos del pasado, como es el caso de las depósitos abandonados, como también los desafíos del futuro en materia de relaves.

En relación de lo anteriormente expuesto, es relevante señalar que empresas mineras en Chile ya han realizado iniciativas privadas que van más allá de lo exigido en la legislación, implementando, principalmente, medidas en los ámbitos de reutilización de aguas y revegetación en el cierre de faena.

Respecto a medidas de reparación, es importante destacar el proyecto desarrollado por la Compañía Minera Dayton en relación al plan de Intervención de relaves, en donde se llevaron a cabo acciones como la restitución de cubierta de suelo, generación de un diseño paisajístico de vegetación natural autóctona y de acceso público, con características de "paseo peatonal", además de plantar ejemplares de especies autóctonas definidas como vulnerables y la instalación de cancha de pasto sintético para uso de la comunidad.

Otro proyecto destacable corresponde al desarrollado por la Minera los Pelambres en el año 2008, donde las comunidades vecinas a una faena minera se hacían parte del cierre a través del proceso de fito-estabilización, apuntando a la sustentabilidad, especialmente en una zona donde se convive con la agricultura.

Por lo tanto, es posible percibir que algunas empresas mineras ya se encuentran interesadas en implementar medidas en pos de un desarrollo más sustentable y participativo con la comunidad. Si bien estas acciones muestran un avance en relación al manejo de relaves, aún faltan acciones destinados a que la actividad minera sea más sustentable, consciente de sus impactos en el medio ambiente y las comunidades.



## 7 Referencias

2015. « Compendium of Mining and Processing Waste Management Technologies.» *MIN-NOVATION Mining and Mineral Processing Waste Management Innovation Network Case Studies 2 y 3* .
- Adiansyah, Joni Safaat, Michele Rosano, Sue Vink, y Greg Keir. 2015. «Aframework for sustainable approach to mine tailings management: disposal strategies.» *Journal of Cleaner Production* 1050-1062.
- Ahmari, Saeed, y Lianyang Zhang. 2012. «Production of eco-friendly bricks from copper mine tailings through geopolymerization.» *Construction and Building Materials* 323-331.
- Alberta Wilderness Association. 2017. *Alberta Wilderness*. 31 de Octubre. <https://albertawilderness.ca/news-release-4-years-obed-spill-questions-remain/>.
- Anglo American Chile. 2019. «Anglo American pone en marcha primera planta fotovoltaica construida sobre un relave minero en el mundo.» *Anglo American Chile*, 18 de Marzo. [https://www.angloamerican-chile.cl/medios/noticias/pr-2019/2019-03-14?sc\\_lang=es-ES](https://www.angloamerican-chile.cl/medios/noticias/pr-2019/2019-03-14?sc_lang=es-ES).
- Antunes, Rafael , Renata Brum, y Roberta Oliveira. 2015. «Zona da Mata ainda se recupera de rompimento de barragem há 9 anos.» *Globo*, 7 de Noviembre. <http://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2015/11/zona-da-mata-ainda-se-recupera-de-rompimento-de-barragem-ha-9-anos.html>.
- Aria. 2006. *Aria Developpement Durable*. 30 de Abril. [https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/31750\\_en/?lang=en](https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/31750_en/?lang=en).
- Asia News. 2008. «Taoshi disaster: in China, thousands of "illegal and dangerous" mining waste reservoirs.» *Asia News it*, 9 de Septiembre. <http://www.asianews.it/news-en/Taoshi-disaster:-in-China,-thousands-of-illegal-and-dangerous-mining-waste-reservoirs-13200.html>.
- . 2008. «Taoshi landslide: hundreds dead, mine owner and government accused.» *Asia News it*, 9 de Noviembre. <http://www.asianews.it/news-en/Taoshi-landslide:-hundreds-dead,-mine-owner-and-government-accused-13188.html>.
- Banco Central. 2018. *Base de datos estadísticos*. Último acceso: 2019. [https://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/arboles.aspx?idCuadro=CCNN2013\\_P0\\_V2](https://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/arboles.aspx?idCuadro=CCNN2013_P0_V2).
- Banks, D., H. Skarphagen, R. Wiltshire, y C. Jessop. 2004. «Heat pumps as a tool for energy recovery from mining wastes.» *Geological Society, London, Special Publications* 236 (1): 499-513.

- BBC News Mundo. 2019. «Presa de Brumadinho en Brasil: ¿qué falló en el dique cuya ruptura ha dejado al menos 60 muertos y casi 300 desaparecidos?» *BBC News*, 27 de Enero. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-47007628>.
- Bian, Z., X. Miao, S. Lei, S. Chen, W. Wang, y S. Struthers. 2012. «The challenges of recycling mining and mineral processing wastes.» *Science* 337 (6095): 702-703.
- Blandón, Daniela. 2019. «En video: así fue la ruptura de la presa que deja 115 muertos en Brasil.» *France 24*, 2 de Febrero. <https://www.france24.com/es/20190202-brumadinho-video-ruptura-presa-brasil>.
- Cheng, S., B. A. Dempsey, y B. E. Logan. 2007. «Electricity generation from synthetic acid-mine drainage (AMD) water using fuel cell technologies.» *Environmental Science & Technology* 41: 8149-8153.
- Choudhary, Bhanwar Singh, y Santosh Kumar. 2013. «Underground void filling by cemented mill tailings.» *International Journal of Mining Science and Technology* 893-900.
- Ciper. 2017. «La ola: una reconstitución de la tragedia de Mariana, el peor desastre ambiental de Brasil.» *Ciper*, 10 de Octubre. <https://ciperchile.cl/2017/10/10/la-ola-una-reconstitucion-de-la-tragedia-de-mariana-el-peor-desastre-ambiental-de-brasil/>.
- Cochilco. 2016. «Análisis de las técnicas utilizadas en cierre de faenas e instalaciones mineras.» Santiago de Chile. <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Analisis%20de%20las%20tecnicas%20utilizadas%20en%20cierres%20de%20faenas%20e%20instalaciones%20minera.pdf>.
- Cochilco. 2018. *Consumo de agua en la minería del cobre al 2017*. Estadístico, Santiago: Cochilco.
- Cochilco. 2017. *Proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2017-2028*. Informe de proyección, Santiago: Cochilco.
- Comisión Europea. 2015. «Closing the Loop: An EU Action Plan for Circular.» European Commission, Brussels. [http://eurlex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b701aa75ed71a1.0012.02/DOC\\_1&format=PDF](http://eurlex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b701aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF).
- Cooke, Colin, Colin Schwindt, Martin Davies, William Donahue, y Ekram Azim. 2016. «Initial environmental impacts of the Obed Mountain coal mine process water spill into the Athabasca River (Alberta, Canada).» *Science of The Total Environment* 557-558: 502-509. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716304831>.
- Decreto 248*. 2007. Aprueba reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves (Diario Oficial de la República de Chile, 11 de Abril).



- Decreto 41*. 2012. Aprueba reglamento de la Ley de cierre de faenas e instalaciones mineras (Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile 22 de Noviembre).
- El Mercurio. 2018. «La nueva política nacional de relaves se hace cargo de una deuda histórica.» *El Mercurio*, 12 de Septiembre. [http://www.minmineria.gob.cl/ministro\\_medios/la-nueva-politica-nacional-de-relaves-se-hace-cargo-de-una-deuda-historica/](http://www.minmineria.gob.cl/ministro_medios/la-nueva-politica-nacional-de-relaves-se-hace-cargo-de-una-deuda-historica/).
- Eriksson, C., y A. Nyström. 2018. «Garpenberg mine–10 years of mining with paste backfill.» *Proceedings of the 21st International Seminar on Paste and Thickened Tailings* 323-336.
- Estévez, M. P. 2014. *La gota que derramó el represo en Cananea*. 1 de Septiembre. <http://redaccion.nexos.com.mx/?p=6503>.
- Europa Press. 2019. «Ya son 157 los muertos por la rotura de la presa de Brumadinho en Brasil.» *Europa Press*, 9 de Febrero. <https://www.europapress.es/internacional/noticia-ya-son-157-muertos-rotura-presa-brumadinho-brasil-20190209224807.html>.
- Fellet, G., L. Marchiol, G. Delle Vedove, y A. Peressotti. 2011. «Application of biochar on mine tailings: effects and perspectives for land reclamation.» *Chemosphere* 83 (9): 1262-1267.
- Fitton, Tim. 2017. *Avoiding large tailings dams without going underground-Robinsky's thickened tailings concept*. Consultancy, Australia: Paste.
- Flanagán, C., B. M. Grail, y D. B. Johnson. 2017. «New approaches for extracting and recovering metals from mine tailings.» *Minerals Engineering* 106: 71-78.
- Fundación Chile. 2018. «Avances y retos para la gestión de los depósitos de relaves en Chile.» Santiago de Chile.
- Fundación Chile. 2015. «Buenas Prácticas en la Gestión de la Estabilidad Química en la Industria Minera.» Santiago.
- Fundación Chile. 2012. «Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes.» Santiago de Chile. <http://www.cenma.cl/Pagina%20web-LQA/4-Gesti%C3%B3n%20de%20SPPC/Guia%20Metodologica%20gesti%C3%B3n%20SPPC.pdf>.
- Fundación Chile. 2015. «Remediación en la minería en Chile- avances y desafíos.» Santiago de Chile. <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/>.
- Geise, G., E. LeGalley, y M. P. S. Krekeler. 2011. «Mineralogical and geochemical investigations of silicate-rich mine waste from a kyanite mine in central Virginia: implications for mine waste recycling.» *Environmental Earth Sciences* 62: 185-196.

- Gorakhki, M. H., y C. A. Bareither. 2017. «Sustainable Reuse of Mine Tailings and Waste Rock as Water-Balance Covers.» *Minerals* 7 (7): 128.
- Gupta, R.C., Blessen Skariah Thomas, Prachi Gupta, Lintu Rajan, y Dayanand Thagriya. 2012. «An experimental study of clayey soil stabilized by copper slag.» *International Journal of Structural and Civil Engineering Research* 110-119.
- Hargreaves, J., A. Lock, P. Beckett, G. Spiers, B. Tisch, L. Lanteigne, T. Posadowski, y M. Soenens. 2012. «Suitability of an organic residual cover on tailings for.» *Canadian Journal of Soil Science* 92 (1): 203-211.
- Heusser, Natalia. 2019. «Inauguran en Chile la primera planta solar flotante del mundo sobre un tranque de relaves mineros.» *País Circular*, 14 de Marzo. <https://www.paiscircular.cl/industria/planta-solar-flotante/>.
- ICMM. 2019. *ICMM*. 18 de Marzo. <https://www.icmm.com/en-gb/about-us>.
- . 2019. *ICMM*. 18 de Marzo. <https://www.icmm.com/es/miembros-del-icmm/compromisos-de-los-miembros/los-10-principios-del-icmm/los-principios>.
- Kwong, Y. 2010. «Tailings decommissioning options at Mount Nansen, Yukon, Canada ©', in R Jewell & AB Fourie (eds), Proceedings of the First International Seminar on the Reduction of Risk in the Management of Tailings and Mine Waste.» Australian Centre for Geomechanics, 91-101.
- La República. 2011. «Minera Caudalosa es investigada por derrame de relaves.» *La República*, 4 de Agosto. <https://larepublica.pe/economia/562056-minera-caudalosa-es-investigada-por-derrame-de-relaves>.
- La Voz de Chile. 2019. «Chile coloca paneles solares flotantes para ahorrar agua.» *La Voz de Chile*, 16 de Marzo. <https://www.lavozdechile.com/chile-coloca-paneles-solares-flotantes-para-ahorrar-agua/>.
- Ley N° 20551. 2011. Regula el cierre de faenas e instalaciones mineras (Diario Oficial de la República de Chile, Santiago de Chile 11 de Noviembre).
- Ley N° 28090. 2003. Ley que regula el cierre de minas (Congreso de la República de Perú, 14 de Octubre).
- Ley N° 28271. 2004. Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera (Congreso de la República de Perú, 6 de Julio).
- Lindsay Newland Bowker. 2015. «Herculano Mine Partners Indicted on First Degree Murder Charges For Worker Deaths In September 2014 Tailings Dam Failure.» *lindsaynewlandbowker*, 23 de Diciembre. <https://lindsaynewlandbowker.wordpress.com/2015/12/23/herculano-mine-partners-indicted-on-first-degree-murder-charges-for-worker-deaths-in-september-2014-tailings-dam-failure/>.
- Lottermoser, B. G. 2011. «Recycling, reuse and rehabilitation of mine wastes.» *Elements* 7: 1112-1118.

- Lundin Mining. 2017. «NI 43-101 Technical report for the Zinkgruvan mine.» Suecia.
- Matinde, E., G. S. Simate, y S. Ndlovu. 2018. «Mining and metallurgical wastes: a review of recycling and re-use practices.» *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy* 118| (8): 825-844.
- MEI. 2019. «Responsible mining: evidently not in Minas Gerais.» *MEI blog*, 31 de Enero. <http://min-eng.blogspot.com/2019/01/responsible-mining-evidently-not-in.html>.
- Mendez, M. O., y R. M. Maier. 2007. «Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments—an emerging remediation technology.» *Environmental health perspectives* 116 (3): 278-283.
- Menzies, N. W., y D. R. Mulligan. 2000. «Vegetation dieback on clay-capped pyritic mine wastes.» *Journal of Environmental Quality* 29: 437-442.
- Mesa de Cierre del Tranque Los Quillayes. 2015. *Mesa Quillayes*. 28 de Julio. Último acceso: 05 de Febrero de 2019. <http://www.mesaquillayes.cl/2015/07/fitoestabilizado-del-tranque-de-relaves-los-quillayes-un-proceso-participativo/>.
- Minera Los Pelambres. 2013. *Gestión sustentable del recurso hídrico*. Reporte, Choapa: Antofagasta Minerals.
- Mineral Workings Act 1951*. s.f.
- Mining Watch. 2019. *Mining Watch Canada*. 6 de Marzo. <https://miningwatch.ca>.
- MMSD. 2002. *Minería, Minerales y Medio Ambiente*. Libro/ Reporte, Londres: MMSD, Proyecto Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable.
- Munshower, F. F. 1994. *Practical Handbook of Disturbed land Revegetation*. Boca Raton: Lewis Publishing.
- Nasa Earth Observatory. 2019. *Earth Observatory*. 12 de Marzo. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/84202/dam-breach-at-mount-polley-mine-in-british-columbia>.
- National Estuarine Research Reserves. 2019. «A Terrible Spill in Grand Bay: A Case Study of an Environmental Disaster.» *Estuary Education*, 13 de Marzo. <https://coast.noaa.gov/data/estuaries/pdf/human-impacts-on-estuaries-terrible-spill-in-grand-bay-student-worksheets.pdf>.
- Nazer, A, S Fuentes, P Castillo, L González, O Pavez, O Varela, y O Lanás. 2012. «Baldosas de escorias de cobre, innovación en producción limpia.» *Iberoamerican Journal of Project Management*.
- Ndlovu, S., G. S. Simate, y E. Matinde. 2017. *Waste Production and*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis/CRC Press.
- Newman, Phil, Roger White, y Alistar Cadden. 2001. *Paste - The Future of Tailings Disposal?* Report, England: Golder Associates.



- Newmont. 2019. *Sustainability Report Newmont*. 08 de Enero. <https://sustainabilityreport.newmont.com/2017/case-studies/new-review-boards-strengthen-governance-of-tailings-management>.
- No. 1377. 1971. The Mines and Quarries (Tips) Regulations 1971 (United Kingdom, Reino Unido 1 de Octubre).
- Norma Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003*. s.f.
- Nueva Minería y Energía. 2014. *Nueva Minería*. 07 de Octubre. Último acceso: 05 de Febrero de 2019. <http://www.nuevamineria.com/revista/minera-los-pelambres-desarrolla-proceso-de-cierre-de-tranque-de-relaves-los-quillayes-junto-a-comunidades/>.
- OEFA. 2010. «Acciones adoptadas, ante la emergencia ambiental, como consecuencia del derrame de relave minero en el río Opamayo – Huancavelica.» Lima. [http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/Comisiones/2009/com2009pueandamaaframbeco.nsf/0/c8545de5926315dc0525775f00531e51/\\$FILE/Caso%20Huachocolpa%20-%20OEFA.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/Comisiones/2009/com2009pueandamaaframbeco.nsf/0/c8545de5926315dc0525775f00531e51/$FILE/Caso%20Huachocolpa%20-%20OEFA.pdf).
- Onuaguluchi, Obinna, y Özgür Eren. 2012. «Cement mixtures containing copper tailings as an additive: durability properties.» *Materials Research* 1029-1036.
- Onuaguluchi, Obinna, y Özgür Eren. 2012. «Copper tailings as potential additive in concrete: consistency, strength and toxic metal immobilization properties.» *NISCAIR-CSIR, India* 79-86.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. 2019. *Oefa*. 6 de Marzo. [www.oefa.gob.pe](http://www.oefa.gob.pe).
- Pearman, G. 2009. «101 Things to Do with a Hole in the Ground.» Post-Mining Alliance, Eden Project, Bodelva, St Austell, Cornwall, 135.
- Province of British Columbia. 2019. *British Columbia*. 08 de Enero. <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/industry/mineral-exploration-mining/permitting/geotechnical-information/dam-safety-inspections>.
- Province of British Columbia. 2015. «Report on Mount Polley Tailings Storage Facility Breach.» British Columbia. <https://www.mountpolleyreviewpanel.ca/sites/default/files/report/ReportonMountPolleyTailingsStorageFacilityBreach.pdf>.
- Qiu, Guohua, Zhongyang Luo, Zhenglun Shi, y Mingjiang Ni. 2011. «Utilization of Coal Gangue and Copper Tailings as Clay for Cement Clinker Calcination.» *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.* 1205-1210.
- RIA Novosti. 2009. «Construction workers in Russia's Far East have restored a dam that burst open two weeks ago killing one man and destroying nearby houses.» *Sputnik News*, 7 de Septiembre. <https://sputniknews.com/russia/20090907156044358/>.

- Romero, Alfonso A, y Silvana L. Flores. 2010. «Reuso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas.» *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial* 75-82.
- Saxena, Mohini, y Lokesh Kumar Dhimole. 2006. «Utilization and value addition of copper tailing as an extender for development of paints.» *Journal of Hazardous Materials* 50-57.
- Schoenberger, Erica. 2016. «Environmentally sustainable mining: The case of tailings storage facilities.» *Resources Policy* 119-128.
- Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente. 2013. «Remoción ambiental sustentable de relaves urbanos en Andacollo.» <http://docplayer.es/34637014-Mma-remediacion-andacollo-27-09-13remocion-ambiental-sustentable-de-relaves-urbanos-en-andacollo.html>.
- Sernageomin. 2018. «Análisis del Catastro de Depósitos de Relaves en Chile y guía de estructura de datos.» Último acceso: 2019. [https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/05/An%C3%A1lisis-de-los-Dep%C3%B3sitos-de-Relaves-en-Chile\\_VF.pdf](https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/05/An%C3%A1lisis-de-los-Dep%C3%B3sitos-de-Relaves-en-Chile_VF.pdf).
- . 2018. «Atlas de Depósitos de Relaves de Chile.» Último acceso: 2019. <http://relaves.sernageomin.cl/#/home>.
- Sernageomin. 2018. «Estudio de Normativas Internacionales de diseño, construcción, operación, cierre y post cierre de depósitos de relaves.» Santiago de Chile.
- Shira, Dezan, y Asociados. 2016. *China's Resource Tax Reform Presents New Opportunities and Restrictions in the Mining Sector*. 27 de Mayo. Último acceso: 27 de Febrero de 2019. <https://www.china-briefing.com/news/chinas-resource-tax-reform-presents-new-opportunities-in-the-mining-sector/>.
- Sostenibilidad. 2018. *¿En qué consiste la economía circular?* Último acceso: 2019. <https://www.sostenibilidad.com/desarrollo-sostenible/en-que-consiste-la-economia-circular/>.
- The Commonwealth. 2019. *The Commonwealth*. 18 de Marzo. <http://thecommonwealth.org/member-countries>.
- . 2019. *The Commonwealth*. 18 de Marzo. <http://thecommonwealth.org/about-us>.
- The Eden Project. 2016. «The Eden Project Annual Report 2015/2016.» [https://www.edenproject.com/sites/default/files/documents/eden-project-annual-report-2015-16\\_0.pdf](https://www.edenproject.com/sites/default/files/documents/eden-project-annual-report-2015-16_0.pdf).
- Thomas, Blessen Skariah, Alok Damare, y R.C. Gupta. 2013. «Strength and durability characteristics of copper tailing concrete.» *Construction and Building Materials* 894-900.
- Tisch, B., J. Zink, y B. Vigneault. 2009. «Green Mines green energy: establishing productive land on mine tailings.»





- Tobar, P., y T. Venegas. 2014. «Fitoestabilización de depositos de relaves.» Santiago de Chile. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/117542>.
- Tordoff, G. M., A. J. M. Baker, y A. J. Willis. 2000. «Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes.» *Chemosphere* 41: 219-228.
- Toscana, Alejandra, y Pedro de Jesús Hernández. 2016. «Gestión de riesgos y desastres socioambientales. El caso de la mina Buenavista del cobre de Cananea.» *Investigaciones Geográficas* 93: 126-139.
- Wismut. 2015. *Landscapes designed and preserved*. Berlín, Alemania: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy.
- Zhang, Changsen, Tingting Zhou, Qisheng Wu, Huajun Zhu, y Peng Xu. 2014. «Mechanical performance and Microstructures of Cement containing copper tailings.» *Asian Journal of Chemistry* 1371-1375.



## **8 Anexos**

### **Anexo I “Métodos de Construcción de tranques de relaves”<sup>15</sup>**

#### **Construcción del Muro Métodos Aguas Arriba**

Consiste en un muro (inicial) construido con material de empréstito compactado sobre el cual se inicia la depositación de los relaves, utilizando clasificadores (“Hidrociclones”). La fracción más gruesa se descarga por el flujo inferior del hidrociclón (Underflow) y se deposita junto al muro inicial, mientras la fracción más fina, que sale por el flujo superior del hidrociclón (Overflow), se deposita hacia el centro del tranque en un punto más alejado del muro, de manera que se va formando una especie de playa y laguna de sedimentación.

Es importante señalar que este tipo de muro son menos resistente que los otros métodos frente a oscilaciones sísmicas, es por ello que en la actualidad en Chile, no está contemplado aprobar este tipo de proyecto de tranques de relaves en la legislación vigente.

#### **Construcción del Muro Métodos Aguas Abajo**

La construcción se inicia también con un muro (inicial) de material de empréstito compactado desde el cual se vacía la arena cicloneada hacia el lado del talud aguas abajo de este muro y las lamas se depositan hacia el talud aguas arriba. Cuando el muro se ha peraltado lo suficiente, se efectúa el levante del muro, desplazando los hidrociclones a una mayor elevación en la dirección hacia aguas abajo y comenzando una nueva etapa de descarga de arenas y peralte del muro.

Las arenas se pueden disponer en capas inclinadas, o bien, disponerlas en capas horizontales hacia aguas abajo del muro de partida. Este método de aguas abajo requiere disponer de un gran volumen de arenas y permite lograr muros resistentes más estables del punto de vista de la resistencia sísmica.

#### **Construcción del Muro Método Eje Central o Mixto**

Se inicia con un muro de partida de material de empréstito compactado, sobre el cual se depositan las arenas cicloneadas hacia el lado de aguas abajo y las lamas hacia el lado de aguas arriba. Una vez completado el vaciado de arenas y lamas correspondiente al muro inicial, se eleva la línea de alimentación de arenas y lamas, siguiendo el mismo plano vertical inicial de la berma de coronamiento del muro de partida. Lo que permite lograr un muro de arenas cuyo eje se mantiene en el mismo plano vertical, cuyo talud de aguas arriba

---

<sup>15</sup> Fuente: Guía Técnica de Operación y Control de Depósitos de Relaves, DSM/07/31 de Diciembre 2007.



es más o menos vertical, y cuyo talud de aguas abajo puede tener la inclinación que el diseño considera adecuada. Este método requiere disponer de un volumen de arenas intermedio entre los 2 métodos anteriores, y permite lograr muros suficientemente estables.

Cabe hacer presente que los métodos de construcción de tranques “aguas abajo” y “eje central” son los que contempla hoy nuestra legislación.

### **Anexo II “Instrumentos Elegibles como Garantías Financieras”**

<b>País</b>	<b>Instrumentos elegibles como garantía</b>
<b>Chile</b>	<p>i. Certificados de depósito a la vista, boletas bancarias de garantía a la vista, certificados de depósitos de menos de trescientos sesenta días, carta de crédito stand by emitida por un banco cuya clasificación de riesgo sea a lo menos A o su equivalente.</p> <p>ii. Instrumentos financieros representativos de captaciones o de deuda comprendidos en el artículo 45 del decreto ley N° 3.500, de 1980, con clasificación de riesgo de a lo menos clase A nacional o equivalente internacional.</p> <p>iii. Otros instrumentos, tales como: cesión del contrato de venta de minerales celebrado con la Empresa Nacional de Minería u otro poder comprador que cumpla los requisitos de suficiencia que determinará el Servicio; prenda sobre el retorno de exportación; fianza solidaria de un socio controlador con clasificación de riesgo de a lo menos clase A nacional o equivalente internacional, anualmente certificada.</p> <p><b>Fuente:</b> Ley N° 20551.</p>
<b>Perú</b>	<p>i. Cartas fianza u otros mecanismos financieros equivalentes, emitidos por un banco nacional o del exterior, de primer nivel.</p> <p>ii. Pólizas de caución y otros seguros, sin beneficio de excusión, emitidos por entidades nacionales o del exterior de primer nivel.</p> <p>iii. Fideicomiso en garantía.</p> <p>iv. Fianza solidaria de tercero en base a las modalidades señaladas en los numerales anteriores, sin beneficio de excusión.</p> <p><b>Fuente:</b> Estudios de normativas internacionales de diseño, construcción, operación, cierre, post cierre de depósitos de relaves, Sernageomin.</p>
<b>Reino Unido</b>	<p>i. Bonos</p> <p>ii. Cargos</p> <p>iii. Garantías</p> <p>iv. Indemnizaciones</p> <p>v. Hipotecas</p> <p>vi. Fideicomisos</p>



Adicionalmente, existe un Fondo de Restauración destinado a financiar la restauración de las tierras utilizadas para la explotación de hierro mediante operaciones a cielo abierto. Las personas que lleven a cabo estas operaciones pagarán contribuciones a una tasa prescrita. Las sumas que formen parte del fondo podrán ser invertidas.

**Fuente:** *Internacional Comparative Legal Guides y Mineral Workings Act 1951.*

---

**Estados Unidos** Se pueden otorgar una garantía financiera individual, general o proporcionar una garantía financiera aprobada por el estado.

Instrumentos para una garantía financiera individual:

- i. Bonos de garantía, incluidos dispuestos o pagados por terceros.
- ii. Efectivo por un monto equivalente al monto requerido en dólares de la garantía financiera, que se depositará y mantendrá en una cuenta de depósito federal.
- iii. Cartas de crédito irrevocables de un banco o institución financiera organizada o autorizada para realizar transacciones comerciales en los Estados Unidos.
- iv. Certificados de depósito o cuentas de ahorro que no excedan el monto máximo asegurable según lo establecido por la Federal Deposit Insurance Corporation.
- v. Cualquiera de los siguientes instrumentos que tengan un valor de mercado no menor al monto requerido en dólares de la garantía financiera y que se mantengan en una cuenta de fideicomiso asegurada:
  - a. Títulos o bonos negociables del gobierno de los Estados Unidos, estatales y municipales; o
  - b. Valores con calificación de grado de inversión que tengan una calificación de Standard and Poor's de AAA o AA o una calificación equivalente de un servicio de calificación de valores reconocido a nivel nacional.
- vi. Seguros, con una calificación AM Best de "superior" o una calificación equivalente de un servicio de calificación de seguros reconocido a nivel nacional.

Instrumentos para una garantía financiera aprobada por el estado:

- i. Los tipos de garantías financieras individuales especificadas en el punto anterior.
- ii. Participación en un fondo común de bonos estatales, bajo ciertas condiciones.
- iii. Una garantía corporativa sujeta a las restricciones sobre garantías corporativas.

La garantía financiera general, es utilizada cuando tiene más de una operación de nivel de aviso o plan en curso, puede proporcionar una garantía financiera general que cubra las operaciones estatales o

---

---

nacionales en lugar de las garantías financieras individuales para cada operación.

**Fuente:** *43 CFR Subpart 3809 - Surface Management.*

---

**Australia** La responsabilidad por el cumplimiento del plan de cierre de la mina es responsabilidad del proponente de la mina y en la mayoría de los estados y territorios debe garantizarse mediante la colocación de una fianza de seguridad o, en Australia Occidental, contribuciones regulares a un fondo de rehabilitación general.

**Fuente:** *Internacional Comparative Legal Guides.*

---

**Sudáfrica**

- i. Depósito
- ii. Garantía bancaria.
- iii. Escritura de fideicomiso

**Fuente:** *Internacional Comparative Legal Guides.*

---



### Anexo III "Clasificación de depósitos de relaves en la República Mexicana"

**Anexo Normativo 3: Clasificación de presas de jales en la República Mexicana**

Orden	Sub-grupo	Categoría	TOPOGRAFÍA			HIDROLOGÍA			SISMICIDAD			MÉTODO CONSTRUCTIVO										ANÁLISIS ESTABILIDAD					MONITOREO				SISTEMA DE CANTONADOR DRENANTE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
			TERRENO			ZONA			REGIÓN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
			M	L	P	C	H	S	S	P	A	C <sub>1</sub>	TA <sub>1</sub>	TA <sub>2</sub>	TA <sub>3</sub>	TA <sub>4</sub>	TA <sub>5</sub>	TA <sub>6</sub>	TA <sub>7</sub>	TA <sub>8</sub>	TA <sub>9</sub>	TA <sub>10</sub>	TA <sub>11</sub>	TA <sub>12</sub>	TA <sub>13</sub>	TA <sub>14</sub>	TA <sub>15</sub>	TA <sub>16</sub>	TA <sub>17</sub>	TA <sub>18</sub>	TA <sub>19</sub>	TA <sub>20</sub>	TA <sub>21</sub>	TA <sub>22</sub>	TA <sub>23</sub>	TA <sub>24</sub>	TA <sub>25</sub>	TA <sub>26</sub>	TA <sub>27</sub>	TA <sub>28</sub>	TA <sub>29</sub>	TA <sub>30</sub>	TA <sub>31</sub>	TA <sub>32</sub>	TA <sub>33</sub>	TA <sub>34</sub>	TA <sub>35</sub>	TA <sub>36</sub>	TA <sub>37</sub>	TA <sub>38</sub>	TA <sub>39</sub>	TA <sub>40</sub>	TA <sub>41</sub>	TA <sub>42</sub>	TA <sub>43</sub>	TA <sub>44</sub>	TA <sub>45</sub>	TA <sub>46</sub>	TA <sub>47</sub>	TA <sub>48</sub>	TA <sub>49</sub>	TA <sub>50</sub>	TA <sub>51</sub>	TA <sub>52</sub>	TA <sub>53</sub>	TA <sub>54</sub>	TA <sub>55</sub>	TA <sub>56</sub>	TA <sub>57</sub>	TA <sub>58</sub>	TA <sub>59</sub>	TA <sub>60</sub>	TA <sub>61</sub>	TA <sub>62</sub>	TA <sub>63</sub>	TA <sub>64</sub>	TA <sub>65</sub>	TA <sub>66</sub>	TA <sub>67</sub>	TA <sub>68</sub>	TA <sub>69</sub>	TA <sub>70</sub>	TA <sub>71</sub>	TA <sub>72</sub>	TA <sub>73</sub>	TA <sub>74</sub>	TA <sub>75</sub>	TA <sub>76</sub>	TA <sub>77</sub>	TA <sub>78</sub>	TA <sub>79</sub>	TA <sub>80</sub>	TA <sub>81</sub>	TA <sub>82</sub>	TA <sub>83</sub>	TA <sub>84</sub>	TA <sub>85</sub>	TA <sub>86</sub>	TA <sub>87</sub>	TA <sub>88</sub>	TA <sub>89</sub>	TA <sub>90</sub>	TA <sub>91</sub>	TA <sub>92</sub>	TA <sub>93</sub>	TA <sub>94</sub>	TA <sub>95</sub>	TA <sub>96</sub>	TA <sub>97</sub>	TA <sub>98</sub>	TA <sub>99</sub>	TA <sub>100</sub>	TA <sub>101</sub>	TA <sub>102</sub>	TA <sub>103</sub>	TA <sub>104</sub>	TA <sub>105</sub>	TA <sub>106</sub>	TA <sub>107</sub>	TA <sub>108</sub>	TA <sub>109</sub>	TA <sub>110</sub>	TA <sub>111</sub>	TA <sub>112</sub>	TA <sub>113</sub>	TA <sub>114</sub>	TA <sub>115</sub>	TA <sub>116</sub>	TA <sub>117</sub>	TA <sub>118</sub>	TA <sub>119</sub>	TA <sub>120</sub>	TA <sub>121</sub>	TA <sub>122</sub>	TA <sub>123</sub>	TA <sub>124</sub>	TA <sub>125</sub>	TA <sub>126</sub>	TA <sub>127</sub>	TA <sub>128</sub>	TA <sub>129</sub>	TA <sub>130</sub>	TA <sub>131</sub>	TA <sub>132</sub>	TA <sub>133</sub>	TA <sub>134</sub>	TA <sub>135</sub>	TA <sub>136</sub>	TA <sub>137</sub>	TA <sub>138</sub>	TA <sub>139</sub>	TA <sub>140</sub>	TA <sub>141</sub>	TA <sub>142</sub>	TA <sub>143</sub>	TA <sub>144</sub>	TA <sub>145</sub>	TA <sub>146</sub>	TA <sub>147</sub>	TA <sub>148</sub>	TA <sub>149</sub>	TA <sub>150</sub>	TA <sub>151</sub>	TA <sub>152</sub>	TA <sub>153</sub>	TA <sub>154</sub>	TA <sub>155</sub>	TA <sub>156</sub>	TA <sub>157</sub>	TA <sub>158</sub>	TA <sub>159</sub>	TA <sub>160</sub>	TA <sub>161</sub>	TA <sub>162</sub>	TA <sub>163</sub>	TA <sub>164</sub>	TA <sub>165</sub>	TA <sub>166</sub>	TA <sub>167</sub>	TA <sub>168</sub>	TA <sub>169</sub>	TA <sub>170</sub>	TA <sub>171</sub>	TA <sub>172</sub>	TA <sub>173</sub>	TA <sub>174</sub>	TA <sub>175</sub>	TA <sub>176</sub>	TA <sub>177</sub>	TA <sub>178</sub>	TA <sub>179</sub>	TA <sub>180</sub>	TA <sub>181</sub>	TA <sub>182</sub>	TA <sub>183</sub>	TA <sub>184</sub>	TA <sub>185</sub>	TA <sub>186</sub>	TA <sub>187</sub>	TA <sub>188</sub>	TA <sub>189</sub>	TA <sub>190</sub>	TA <sub>191</sub>	TA <sub>192</sub>	TA <sub>193</sub>	TA <sub>194</sub>	TA <sub>195</sub>	TA <sub>196</sub>	TA <sub>197</sub>	TA <sub>198</sub>	TA <sub>199</sub>	TA <sub>200</sub>	TA <sub>201</sub>	TA <sub>202</sub>	TA <sub>203</sub>	TA <sub>204</sub>	TA <sub>205</sub>	TA <sub>206</sub>	TA <sub>207</sub>	TA <sub>208</sub>	TA <sub>209</sub>	TA <sub>210</sub>	TA <sub>211</sub>	TA <sub>212</sub>	TA <sub>213</sub>	TA <sub>214</sub>	TA <sub>215</sub>	TA <sub>216</sub>	TA <sub>217</sub>	TA <sub>218</sub>	TA <sub>219</sub>	TA <sub>220</sub>	TA <sub>221</sub>	TA <sub>222</sub>	TA <sub>223</sub>	TA <sub>224</sub>	TA <sub>225</sub>	TA <sub>226</sub>	TA <sub>227</sub>	TA <sub>228</sub>	TA <sub>229</sub>	TA <sub>230</sub>	TA <sub>231</sub>	TA <sub>232</sub>	TA <sub>233</sub>	TA <sub>234</sub>	TA <sub>235</sub>	TA <sub>236</sub>	TA <sub>237</sub>	TA <sub>238</sub>	TA <sub>239</sub>	TA <sub>240</sub>	TA <sub>241</sub>	TA <sub>242</sub>	TA <sub>243</sub>	TA <sub>244</sub>	TA <sub>245</sub>	TA <sub>246</sub>	TA <sub>247</sub>	TA <sub>248</sub>	TA <sub>249</sub>	TA <sub>250</sub>	TA <sub>251</sub>	TA <sub>252</sub>	TA <sub>253</sub>	TA <sub>254</sub>	TA <sub>255</sub>	TA <sub>256</sub>	TA <sub>257</sub>	TA <sub>258</sub>	TA <sub>259</sub>	TA <sub>260</sub>	TA <sub>261</sub>	TA <sub>262</sub>	TA <sub>263</sub>	TA <sub>264</sub>	TA <sub>265</sub>	TA <sub>266</sub>	TA <sub>267</sub>	TA <sub>268</sub>	TA <sub>269</sub>	TA <sub>270</sub>	TA <sub>271</sub>	TA <sub>272</sub>	TA <sub>273</sub>	TA <sub>274</sub>	TA <sub>275</sub>	TA <sub>276</sub>	TA <sub>277</sub>	TA <sub>278</sub>	TA <sub>279</sub>	TA <sub>280</sub>	TA <sub>281</sub>	TA <sub>282</sub>	TA <sub>283</sub>	TA <sub>284</sub>	TA <sub>285</sub>	TA <sub>286</sub>	TA <sub>287</sub>	TA <sub>288</sub>	TA <sub>289</sub>	TA <sub>290</sub>	TA <sub>291</sub>	TA <sub>292</sub>	TA <sub>293</sub>	TA <sub>294</sub>	TA <sub>295</sub>	TA <sub>296</sub>	TA <sub>297</sub>	TA <sub>298</sub>	TA <sub>299</sub>	TA <sub>300</sub>	TA <sub>301</sub>	TA <sub>302</sub>	TA <sub>303</sub>	TA <sub>304</sub>	TA <sub>305</sub>	TA <sub>306</sub>	TA <sub>307</sub>	TA <sub>308</sub>	TA <sub>309</sub>	TA <sub>310</sub>	TA <sub>311</sub>	TA <sub>312</sub>	TA <sub>313</sub>	TA <sub>314</sub>	TA <sub>315</sub>	TA <sub>316</sub>	TA <sub>317</sub>	TA <sub>318</sub>	TA <sub>319</sub>	TA <sub>320</sub>	TA <sub>321</sub>	TA <sub>322</sub>	TA <sub>323</sub>	TA <sub>324</sub>	TA <sub>325</sub>	TA <sub>326</sub>	TA <sub>327</sub>	TA <sub>328</sub>	TA <sub>329</sub>	TA <sub>330</sub>	TA <sub>331</sub>	TA <sub>332</sub>	TA <sub>333</sub>	TA <sub>334</sub>	TA <sub>335</sub>	TA <sub>336</sub>	TA <sub>337</sub>	TA <sub>338</sub>	TA <sub>339</sub>	TA <sub>340</sub>	TA <sub>341</sub>	TA <sub>342</sub>	TA <sub>343</sub>	TA <sub>344</sub>	TA <sub>345</sub>	TA <sub>346</sub>	TA <sub>347</sub>	TA <sub>348</sub>	TA <sub>349</sub>	TA <sub>350</sub>	TA <sub>351</sub>	TA <sub>352</sub>	TA <sub>353</sub>	TA <sub>354</sub>	TA <sub>355</sub>	TA <sub>356</sub>	TA <sub>357</sub>	TA <sub>358</sub>	TA <sub>359</sub>	TA <sub>360</sub>	TA <sub>361</sub>	TA <sub>362</sub>	TA <sub>363</sub>	TA <sub>364</sub>	TA <sub>365</sub>	TA <sub>366</sub>	TA <sub>367</sub>	TA <sub>368</sub>	TA <sub>369</sub>	TA <sub>370</sub>	TA <sub>371</sub>	TA <sub>372</sub>	TA <sub>373</sub>	TA <sub>374</sub>	TA <sub>375</sub>	TA <sub>376</sub>	TA <sub>377</sub>	TA <sub>378</sub>	TA <sub>379</sub>	TA <sub>380</sub>	TA <sub>381</sub>	TA <sub>382</sub>	TA <sub>383</sub>	TA <sub>384</sub>	TA <sub>385</sub>	TA <sub>386</sub>	TA <sub>387</sub>	TA <sub>388</sub>	TA <sub>389</sub>	TA <sub>390</sub>	TA <sub>391</sub>	TA <sub>392</sub>	TA <sub>393</sub>	TA <sub>394</sub>	TA <sub>395</sub>	TA <sub>396</sub>	TA <sub>397</sub>	TA <sub>398</sub>	TA <sub>399</sub>	TA <sub>400</sub>	TA <sub>401</sub>	TA <sub>402</sub>	TA <sub>403</sub>	TA <sub>404</sub>	TA <sub>405</sub>	TA <sub>406</sub>	TA <sub>407</sub>	TA <sub>408</sub>	TA <sub>409</sub>	TA <sub>410</sub>	TA <sub>411</sub>	TA <sub>412</sub>	TA <sub>413</sub>	TA <sub>414</sub>	TA <sub>415</sub>	TA <sub>416</sub>	TA <sub>417</sub>	TA <sub>418</sub>	TA <sub>419</sub>	TA <sub>420</sub>	TA <sub>421</sub>	TA <sub>422</sub>	TA <sub>423</sub>	TA <sub>424</sub>	TA <sub>425</sub>	TA <sub>426</sub>	TA <sub>427</sub>	TA <sub>428</sub>	TA <sub>429</sub>	TA <sub>430</sub>	TA <sub>431</sub>	TA <sub>432</sub>	TA <sub>433</sub>	TA <sub>434</sub>	TA <sub>435</sub>	TA <sub>436</sub>	TA <sub>437</sub>	TA <sub>438</sub>	TA <sub>439</sub>	TA <sub>440</sub>	TA <sub>441</sub>	TA <sub>442</sub>	TA <sub>443</sub>	TA <sub>444</sub>	TA <sub>445</sub>	TA <sub>446</sub>	TA <sub>447</sub>	TA <sub>448</sub>	TA <sub>449</sub>	TA <sub>450</sub>	TA <sub>451</sub>	TA <sub>452</sub>	TA <sub>453</sub>	TA <sub>454</sub>	TA <sub>455</sub>	TA <sub>456</sub>	TA <sub>457</sub>	TA <sub>458</sub>	TA <sub>459</sub>	TA <sub>460</sub>	TA <sub>461</sub>	TA <sub>462</sub>	TA <sub>463</sub>	TA <sub>464</sub>	TA <sub>465</sub>	TA <sub>466</sub>	TA <sub>467</sub>	TA <sub>468</sub>	TA <sub>469</sub>	TA <sub>470</sub>	TA <sub>471</sub>	TA <sub>472</sub>	TA <sub>473</sub>	TA <sub>474</sub>	TA <sub>475</sub>	TA <sub>476</sub>	TA <sub>477</sub>	TA <sub>478</sub>	TA <sub>479</sub>	TA <sub>480</sub>	TA <sub>481</sub>	TA <sub>482</sub>	TA <sub>483</sub>	TA <sub>484</sub>	TA <sub>485</sub>	TA <sub>486</sub>	TA <sub>487</sub>	TA <sub>488</sub>	TA <sub>489</sub>	TA <sub>490</sub>	TA <sub>491</sub>	TA <sub>492</sub>	TA <sub>493</sub>	TA <sub>494</sub>	TA <sub>495</sub>	TA <sub>496</sub>	TA <sub>497</sub>	TA <sub>498</sub>	TA <sub>499</sub>	TA <sub>500</sub>	TA <sub>501</sub>	TA <sub>502</sub>	TA <sub>503</sub>	TA <sub>504</sub>	TA <sub>505</sub>	TA <sub>506</sub>	TA <sub>507</sub>	TA <sub>508</sub>	TA <sub>509</sub>	TA <sub>510</sub>	TA <sub>511</sub>	TA <sub>512</sub>	TA <sub>513</sub>	TA <sub>514</sub>	TA <sub>515</sub>	TA <sub>516</sub>	TA <sub>517</sub>	TA <sub>518</sub>	TA <sub>519</sub>	TA <sub>520</sub>	TA <sub>521</sub>	TA <sub>522</sub>	TA <sub>523</sub>	TA <sub>524</sub>	TA <sub>525</sub>	TA <sub>526</sub>	TA <sub>527</sub>	TA <sub>528</sub>	TA <sub>529</sub>	TA <sub>530</sub>	TA <sub>531</sub>	TA <sub>532</sub>	TA <sub>533</sub>	TA <sub>534</sub>	TA <sub>535</sub>	TA <sub>536</sub>	TA <sub>537</sub>	TA <sub>538</sub>	TA <sub>539</sub>	TA <sub>540</sub>	TA <sub>541</sub>	TA <sub>542</sub>	TA <sub>543</sub>	TA <sub>544</sub>	TA <sub>545</sub>	TA <sub>546</sub>	TA <sub>547</sub>	TA <sub>548</sub>	TA <sub>549</sub>	TA <sub>550</sub>	TA <sub>551</sub>	TA <sub>552</sub>	TA <sub>553</sub>	TA <sub>554</sub>	TA <sub>555</sub>	TA <sub>556</sub>	TA <sub>557</sub>	TA <sub>558</sub>	TA <sub>559</sub>	TA <sub>560</sub>	TA <sub>561</sub>	TA <sub>562</sub>	TA <sub>563</sub>	TA <sub>564</sub>	TA <sub>565</sub>	TA <sub>566</sub>	TA <sub>567</sub>	TA <sub>568</sub>	TA <sub>569</sub>	TA <sub>570</sub>	TA <sub>571</sub>	TA <sub>572</sub>	TA <sub>573</sub>	TA <sub>574</sub>	TA <sub>575</sub>	TA <sub>576</sub>	TA <sub>577</sub>	TA <sub>578</sub>	TA <sub>579</sub>	TA <sub>580</sub>	TA <sub>581</sub>	TA <sub>582</sub>	TA <sub>583</sub>	TA <sub>584</sub>	TA <sub>585</sub>	TA <sub>586</sub>	TA <sub>587</sub>	TA <sub>588</sub>	TA <sub>589</sub>	TA <sub>590</sub>	TA <sub>591</sub>	TA <sub>592</sub>	TA <sub>593</sub>	TA <sub>594</sub>	TA <sub>595</sub>	TA <sub>596</sub>	TA <sub>597</sub>	TA <sub>598</sub>	TA <sub>599</sub>	TA <sub>600</sub>	TA <sub>601</sub>	TA <sub>602</sub>	TA <sub>603</sub>	TA <sub>604</sub>	TA <sub>605</sub>	TA <sub>606</sub>	TA <sub>607</sub>	TA <sub>608</sub>	TA <sub>609</sub>	TA <sub>610</sub>	TA <sub>611</sub>	TA <sub>612</sub>	TA <sub>613</sub>	TA <sub>614</sub>	TA <sub>615</sub>	TA <sub>616</sub>	TA <sub>617</sub>	TA <sub>618</sub>	TA <sub>619</sub>	TA <sub>620</sub>	TA <sub>621</sub>	TA <sub>622</sub>	TA <sub>623</sub>	TA <sub>624</sub>	TA <sub>625</sub>	TA <sub>626</sub>	TA <sub>627</sub>	TA <sub>628</sub>	TA <sub>629</sub>	TA <sub>630</sub>	TA <sub>631</sub>	TA <sub>632</sub>	TA <sub>633</sub>	TA <sub>634</sub>	TA <sub>635</sub>	TA <sub>636</sub>	TA <sub>637</sub>	TA <sub>638</sub>	TA <sub>639</sub>	TA <sub>640</sub>	TA <sub>641</sub>	TA <sub>642</sub>	TA <sub>643</sub>	TA <sub>644</sub>	TA <sub>645</sub>	TA <sub>646</sub>	TA <sub>647</sub>	TA <sub>648</sub>	TA <sub>649</sub>	TA <sub>650</sub>	TA <sub>651</sub>	TA <sub>652</sub>	TA <sub>653</sub>	TA <sub>654</sub>	TA <sub>655</sub>	TA <sub>656</sub>	TA <sub>657</sub>	TA <sub>658</sub>	TA <sub>659</sub>	TA <sub>660</sub>	TA <sub>661</sub>	TA <sub>662</sub>	TA <sub>663</sub>	TA <sub>664</sub>	TA <sub>665</sub>	TA <sub>666</sub>	TA <sub>667</sub>	TA <sub>668</sub>	TA <sub>669</sub>	TA <sub>670</sub>	TA <sub>671</sub>	TA <sub>672</sub>	TA <sub>673</sub>	TA <sub>674</sub>	TA <sub>675</sub>	TA <sub>676</sub>	TA <sub>677</sub>	TA <sub>678</sub>	TA <sub>679</sub>	TA <sub>680</sub>	TA <sub>681</sub>	TA <sub>682</sub>	TA <sub>683</sub>	TA <sub>684</sub>	TA <sub>685</sub>	TA <sub>686</sub>	TA <sub>687</sub>	TA <sub>688</sub>	TA <sub>689</sub>	TA <sub>690</sub>	TA <sub>691</sub>	TA <sub>692</sub>	TA <sub>693</sub>	TA <sub>694</sub>	TA <sub>695</sub>	TA <sub>696</sub>	TA <sub>697</sub>	TA <sub>698</sub>	TA <sub>699</sub>	TA <sub>700</sub>	TA <sub>701</sub>	TA <sub>702</sub>	TA <sub>703</sub>	TA <sub>704</sub>	TA <sub>705</sub>	TA <sub>706</sub>	TA <sub>707</sub>	TA <sub>708</sub>	TA <sub>709</sub>	TA <sub>710</sub>	TA <sub>711</sub>	TA <sub>712</sub>	TA <sub>713</sub>	TA <sub>714</sub>	TA <sub>715</sub>	TA <sub>716</sub>	TA <sub>717</sub>	TA <sub>718</sub>	TA <sub>719</sub>	TA <sub>720</sub>	TA <sub>721</sub>	TA <sub>722</sub>	TA <sub>723</sub>	TA <sub>724</sub>	TA <sub>725</sub>	TA <sub>726</sub>	TA <sub>727</sub>	TA <sub>728</sub>	TA <sub>729</sub>	TA <sub>730</sub>	TA <sub>731</sub>	TA <sub>732</sub>	TA <sub>733</sub>	TA <sub>734</sub>	TA <sub>735</sub>	TA <sub>736</sub>	TA <sub>737</sub>	TA <sub>738</sub>	TA <sub>739</sub>	TA <sub>740</sub>	TA <sub>741</sub>	TA <sub>742</sub>	TA <sub>743</sub>	TA <sub>744</sub>	TA <sub>745</sub>	TA <sub>746</sub>	TA <sub>747</sub>	TA <sub>748</sub>	TA <sub>749</sub>	TA <sub>750</sub>	TA <sub>751</sub>	TA <sub>752</sub>	TA <sub>753</sub>	TA <sub>754</sub>	TA <sub>755</sub>	TA <sub>756</sub>	TA <sub>757</sub>	TA <sub>758</sub>	TA <sub>759</sub>	TA <sub>760</sub>	TA <sub>761</sub>	TA <sub>762</sub>	TA <sub>763</sub>	TA <sub>764</sub>	TA <sub>765</sub>	TA <sub>766</sub>	TA <sub>767</sub>	TA <sub>768</sub>	TA <sub>769</sub>	TA <sub>770</sub>	TA <sub>771</sub>	TA <sub>772</sub>	TA <sub>773</sub>	TA <sub>774</sub>	TA <sub>775</sub>	TA <sub>776</sub>	TA <sub>777</sub>	TA <sub>778</sub>	TA <sub>779</sub>	TA <sub>780</sub>	TA <sub>781</sub>	TA <sub>782</sub>	TA <sub>783</sub>	TA <sub>784</sub>	TA <sub>785</sub>	TA <sub>786</sub>	TA <sub>787</sub>	TA <sub>788</sub>	TA <sub>789</sub>	TA <sub>790</sub>	TA <sub>791</sub>	TA <sub>792</sub>	TA <sub>793</sub>	TA <sub>794</sub>	TA <sub>795</sub>	TA <sub>796</sub>	TA <sub>797</sub>	TA <sub>798</sub>	TA <sub>799</sub>	TA <sub>800</sub>	TA <sub>801</sub>	TA <sub>802</sub>	TA <sub>803</sub>	TA <sub>804</sub>	TA <sub>805</sub>	TA <sub>806</sub>	TA <sub>807</sub>	TA <sub>808</sub>	TA <sub>809</sub>	TA <sub>810</sub>	TA <sub>811</sub>	TA <sub>812</sub>	TA <sub>813</sub>	TA <sub>814</sub>	TA <sub>815</sub>	TA <sub>816</sub>	TA <sub>817</sub>	TA <sub>818</sub>	TA <sub>819</sub>	TA <sub>820</sub>	TA <sub>821</sub>	TA <sub>822</sub>	TA <sub>823</sub>	TA <sub>824</sub>	TA <sub>825</sub>	TA <sub>826</sub>	TA <sub>827</sub>	TA <sub>828</sub>	TA <sub>829</sub>	TA <sub>830</sub>	TA <sub>831</sub>	TA <sub>832</sub>	TA <sub>833</sub>	TA <sub>834</sub>	TA <sub>835</sub>	TA <sub>836</sub>	TA <sub>837</sub>	TA <sub>838</sub>	TA <sub>839</sub>	TA <sub>840</sub>	TA <sub>841</sub>	TA <sub>842</sub>	TA <sub>843</sub>	TA <sub>844</sub>	TA <sub>845</sub>	TA <sub>846</sub>	TA <sub>847</sub>	TA <sub>848</sub>	TA <sub>849</sub>	TA <sub>850</sub>	TA <sub>851</sub>	TA <sub>852</sub>	TA <sub>853</sub>

Este trabajo fue elaborado en la  
Dirección de Estudios y Políticas Públicas por

**Vania Ramírez Jiménez**

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

**Constanza Kutscher Monckeberg**

Analista de Estrategias y Políticas Públicas

**Jorge Cantallopts Araya**

Director de Estudios y Políticas Públicas

Agradecimientos especiales a

**Francisca Carrizo Muñoz**

Mayo/ 2019

