Módulo 5 – Tema 4 –
Ejemplos de prácticas internacionales de adaptación y gestión del riesgo.

RelaveNet
A Community of Excellence

- **Ing. Danny Flores Cruz**

CASO 1:
Merriespruit – Sudáfrica (1994)
Plan de emergencia y control de aguas

En 1994, la represa de relaves de Merriespruit colapsó tras lluvias torrenciales (~50 mm en 30 minutos) que provocaron el sobrepaso y licuación del muro.
Un aluvión de 600 000 m³ de lodo arrasó parte del poblado, causando 17 muertes.

Las investigaciones concluyeron que **la tragedia pudo prevenirse con mejor gestión de agua y un plan de emergencia** (la falta de decantación operativa y de procedimientos de respuesta fue crítica).

Este caso impulsó la adopción de *planes de emergencia* y protocolos de monitoreo en depósitos de relaves a nivel internacional.

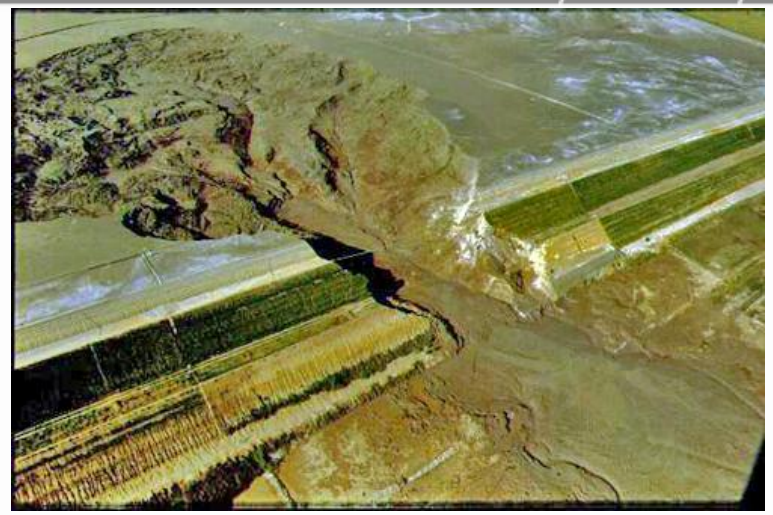


Figura 1. Vista del fallo en Merriespruit



Figura 2. Punto donde el material del TSF ha cedido, permitiendo el paso del relaves mineros

RelaveNet
A Community of Excellence

CASO 2:
Baia Mare – Rumania (2000)
Reforzamiento normativo tras evento extremo

En invierno de 2000, lluvias intensas combinadas con deshielo rápido elevaron peligrosamente el nivel de la piscina de relaves auríferos en Baia Mare, superando la capacidad de drenaje. Sin vía de alivio, el agua erosionó el dique y produjo una rotura catastrófica, liberando ~100 000 m³ de cola con cianuro a la cuenca del Danubio.

Este desastre transfronterizo evidenció las brechas en la regulación. Como respuesta, la Unión Europea endureció sus normas: se incluyó la gestión de relaves en la Directiva Seveso II (obligando planes de emergencia) y se promulgó la Directiva 2006/21/CE sobre residuos mineros, para asegurar diseños resistentes a eventos extremos y monitoreo riguroso.

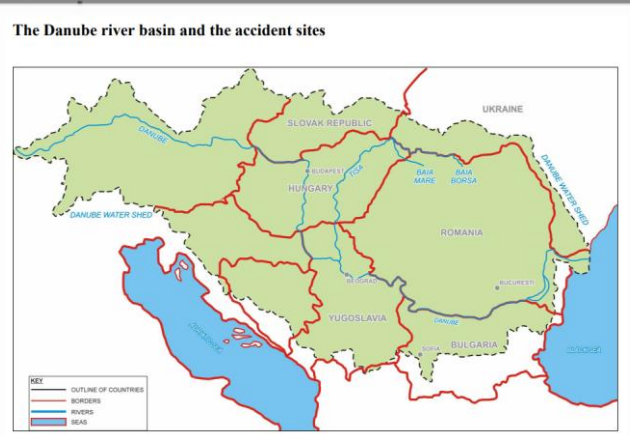


Figura 3. Mapa de la cuenca del Danubio

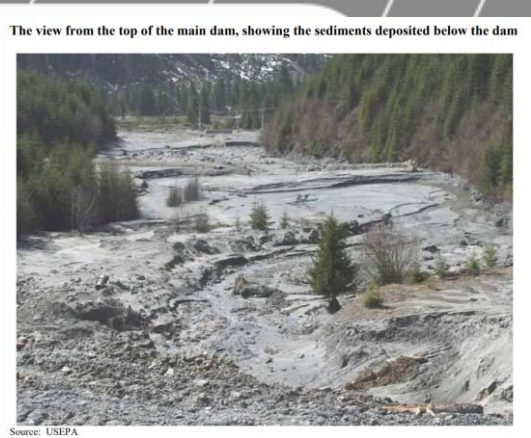


Figura 4. Zona de sedimentos tras el colapso

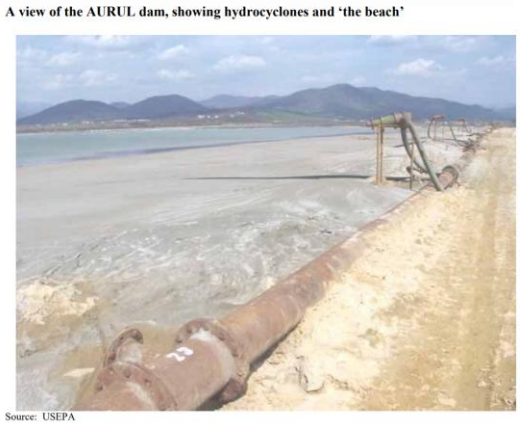


Figura 5. Fotografía del tranque de relaves AURUL con los ciclones y zona de descarga.

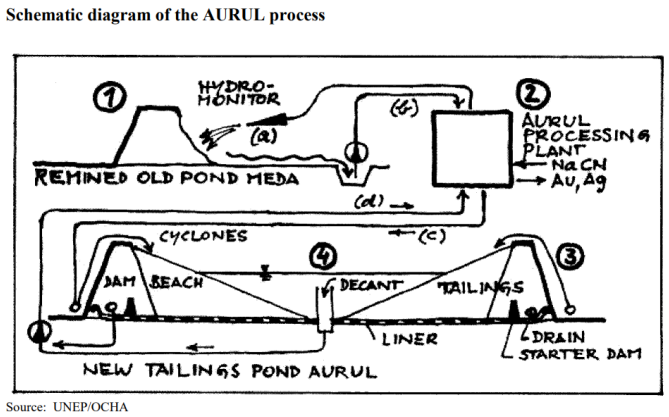


Figura 6. Diagrama esquemático del proceso de extracción en Baia Mare

RelaveNet
A Community of Excellence

CASO 3:
Chinchorro (Peñablanca) – Chile (2024)
Falla por lluvia extrema reciente

El 13 de junio de 2024, durante un frente de mal tiempo, el depósito Chinchorro en Chile sufrió una rotura de muro por precipitaciones excepcionales (~100 mm en pocas horas). La lluvia intensa saturó el muro y causó su sobrepaso, produciendo un derrame significativo de relaves aguas abajo.

Este incidente muy reciente confirma la creciente amenaza de los eventos climáticos extremos para la estabilidad de tranques de relaves, resaltando la **urgencia de contar con diseños con mayor capacidad de descarga y planes de emergencia activos para mitigar daños**. Las autoridades chilenas investigan el caso para actualizar guías de diseño considerando escenarios de lluvia extremos.



Figura 7. Imagen de Google Earth del TSF de Chinchorro, que falló en junio de 2024.

RelaveNet
A Community of Excellence

CASO 4:
Mount Polley – Canadá (2014)
Relaves filtrados (“dry stacking”)

El accidente de Mount Polley en 2014 (Canadá) catalizó mejoras tecnológicas. La falla expuso riesgos en depósitos con altas contenidas de agua, por lo que el panel investigador recomendó adoptar la “mejor tecnología disponible” (BAT), incluyendo relaves filtrados (secados) en nuevas operaciones cuando sea viable.

Los relaves filtrados se depositan en *pilas secas* con mínima humedad, reduciendo la posibilidad de licuación y rotura incluso bajo lluvias extremas (contrario al riesgo que se ve en la figura 8). A nivel global se promueve esta práctica: la industria explora tecnologías para eliminar humedad de los relaves y mejorar sus propiedades geomecánicas, aumentando la seguridad frente a eventos climáticos severos. Países como *Chile* ya evalúan exigir relaves filtrados en futuros proyectos de gran envergadura para enfrentar tanto la escasez hídrica como las lluvias intensas.



Figura 8. TSF de Mount Polley—Canadá, antes del fallo de la presa en 2014. La presencia de una gran cantidad de agua supernadante

RelaveNet
A Community of Excellence

CASO 5:
Brasil – Post-Brumadinho (2019)
Eliminación de diques “aguas arriba”

Tras la tragedia de Brumadinho (Brasil, 2019) (donde colapsó un dique aguas arriba causando 259 muertes) se tomaron medidas drásticas. El gobierno brasileño emitió un decreto prohibiendo la construcción de nuevos depósitos con el método aguas arriba y ordenó desmantelar o reforzar las represas existentes de ese tipo. Este método de construcción, donde el muro se levanta sobre relaves saturados previos, es más vulnerable a fallas (especialmente bajo fuertes lluvias que saturan el material). Su prohibición es una estrategia de gestión de riesgo para evitar otra catástrofe: **las empresas deben migrar a diseños más seguros (aguas abajo o centro) y mejorar el monitoreo de estabilidad, particularmente durante la temporada de lluvias.**



Figura 9. Rotura de la presa de Brumadinho

RelaveNet
A Community of Excellence

Chile – Diseño para eventos PMP
Máxima precipitación y planes de emergencia

En Chile, la industria minera aplica criterios de diseño conservadores frente al clima extremo. Por ejemplo, los tranques de relaves se construyen considerando el Máximo Evento de Precipitación Probable (PMP) en sus cuencas.
Dado que el cambio climático allí se manifiesta en megasequías y a la vez lluvias episódicas muy intensas, se han tomado resguardos especiales: grandes escurrideros o aliviaderos para evacuar crecidas extraordinarias, mayor altura libre (freeboard) en diques, y robustos planes de emergencia comunitarios.
Estas medidas buscan minimizar fallas por aguaceros extremos y proteger a las comunidades cercanas ante inundaciones por colapso.

Tabla 1. Normativas que Regulan los Relaves en Chile

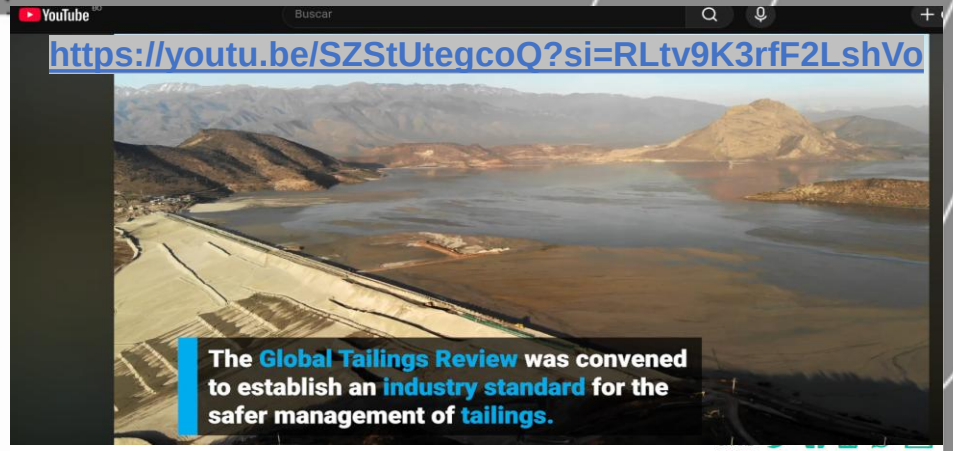
NORMA / REGULACIÓN	ALCANCE PRINCIPAL	APLICACIÓN EN RELAVES
Código de Minería	Procedimientos para concesiones mineras	Base legal para actividades que generan relaves
DS N°248 (2007)	Diseño, construcción, operación y cierre de depósitos de relaves	Regula estándares técnicos y aprobación por SERNAGEOMIN
DS N°132 (2004)	Reglamento de seguridad minera	Exigencias operativas y disposición segura
Ley 20.551 (2011)	Cierre de faenas mineras	Plan de cierre obligatorio y garantías financieras
Reglamento Ley 20.551 (D.41-2012)	Implementación técnica de planes de cierre	Etapas, monitoreo y obligaciones post-cierre
Código de Aguas	Obras hidráulicas (art. 294+)	Aplicación en tranques, canales y obras asociadas
Reglamento Obras Hidráulicas Mayores (D.50-2015)	Condiciones técnicas para obras en relaves	Diseño y seguridad de estructuras hidráulicas
Ley 19.300 (1994)	Bases ambientales	Requisitos ambientales y derechos comunitarios
Reglamento SEIA	Evaluación ambiental y participación ciudadana	Obliga ingreso de proyectos de relaves al sistema

Fuente: Plataforma de Relaves - Consejo Minero de Chile, 2025.

RelaveNet
A Community of Excellence

Estándar Global de Relaves (2020)
Gestión adaptativa y resiliencia climática

A raíz de los desastres de 2014–2019, la industria minera, ONU y fondos de inversión **desarrollaron el Estándar Global de Gestión de Relaves (GISTM), publicado en 2020.** Este estándar internacional establece mejores prácticas obligatorias en todo el ciclo de vida de los depósitos, con fuerte enfoque en seguridad y adaptación. Por ejemplo, **exige incorporar el conocimiento de cambio climático en el diseño y operación**: se debe evaluar periódicamente la evolución del clima y usar gestión adaptativa para reforzar la resiliencia de las instalaciones. El GISTM también **requiere planes de preparación y respuesta a emergencias** robustos, evaluaciones independientes regulares y transparencia en la divulgación de información, todo orientado a prevenir fallas catastróficas incluso bajo condiciones cambiantes. Este marco global guía a países y compañías en la implementación de normas más estrictas frente a riesgos climáticos y sociales.



Global Industry Standard on Tailings Management

5 August 2020

The *Global Industry Standard on Tailings Management* (the *Standard*) strives to achieve the ultimate goal of zero harm to people and the environment.

[ICMM - Global Industry Standard on Tailings Management]



REPORT

Global Industry Standard on Tailings Management

28 November 2020

GLOBAL INDUSTRY STANDARD ON TAILINGS MANAGEMENT

The Global Tailings Review convened by the United Nations Environment Programme (UNEP), the Principles for Responsible Investment (PRI) and the International Council on Mining and Metals (ICMM) launched the **Global Industry Standard on Tailings Management**. The Standard was developed by a multi-disciplinary Expert Panel, with input from a multi-stakeholder Advisory Group. The Standard is further informed by existing best practice and findings from past tailings facility failures. In addition, the Standard underwent a public consultation and commenting period from 15th November until 31st December 2019. The Global Tailings Review team ran a total of 21 workshops with a wide range of stakeholder groups across Australia, Chile, China, Ghana, Kazakhstan and South Africa. The consultation received 202 online and email submissions, as well as responses from in-country workshops consisting of 427 participants.

RelaveNet
A Community of Excellence

Zonas áridas – Adaptación hídrica
Desalinización y reutilización de agua

El cambio climático no solo trae lluvias extremas, sino también sequías intensificadas. En regiones mineras áridas (ej. norte de Chile, Australia), las empresas han implementado estrategias de gestión del agua para asegurar operaciones sostenibles. Un ejemplo emblemático es Minera Escondida (Chile) de BHP, que desde 2006 ejecuta una estrategia hídrica invirtiendo en plantas desalinizadoras y eficiencia en reciclaje. Como resultado, en 2019 Escondida logró cesar totalmente la extracción de agua dulce de acuíferos, operando 100% con agua de mar desalinizada incluso en su enorme planta concentradora. De igual modo, otras minas aumentan la reutilización de aguas residuales y relaves (mediante espesadores, circuito cerrado) para reducir consumo neto. Estas estrategias de adaptación permiten enfrentar la escasez hídrica prolongada, protegiendo recursos locales y manteniendo la producción aún durante megasequías.

Escondida, mayor operación de BHP, hace uso exclusivo de agua desalinizada para operar





Minera Escondida (operada por BHP) logró cesar totalmente la extracción de agua dulce de los acuíferos altoandinos para sus operaciones de producción en febrero de 2020 (específicamente de la cuenca Monturaqui/Salar de Atacama), operando a partir de entonces 100% con agua de mar desalinizada

RelaveNet
A Community of Excellence

Módulo 5 – Tema 4 –
Ejemplos de prácticas internacionales de adaptación y gestión del riesgo.

RelaveNet
A Community of Excellence

- **Ing. Danny Flores Cruz**