



PIENSA MINERÍA

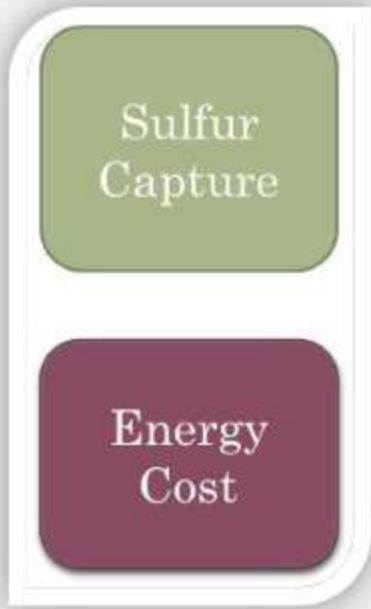
DESAFIOS DE PROCESOS METALÚRGICOS CON CIRCULARIDAD

NOVIEMBRE 2025



Evolución de los Desafíos de la Industria del Cobre

1970



2022



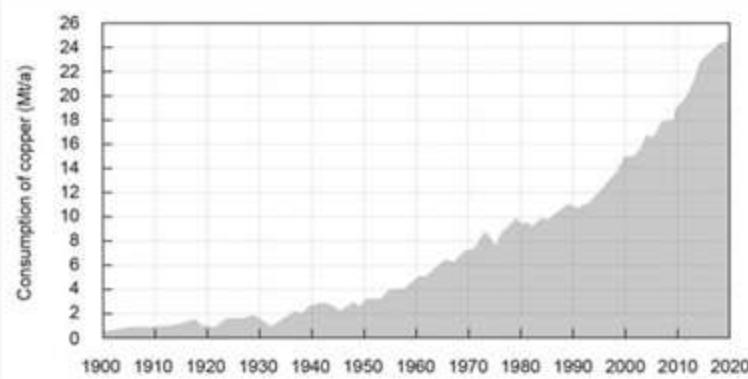
2024



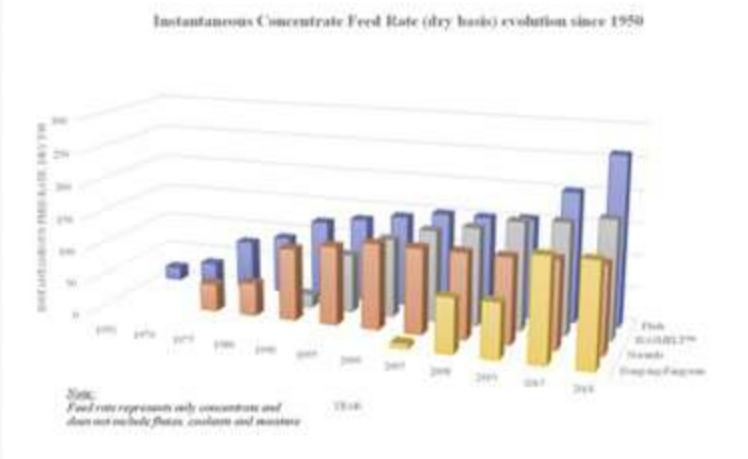
Un mundo más complejo representado por mas dimensiones relevantes para el análisis global de la industria

Un Ejemplo en la Evolución Tecnológica catalizada por la demanda

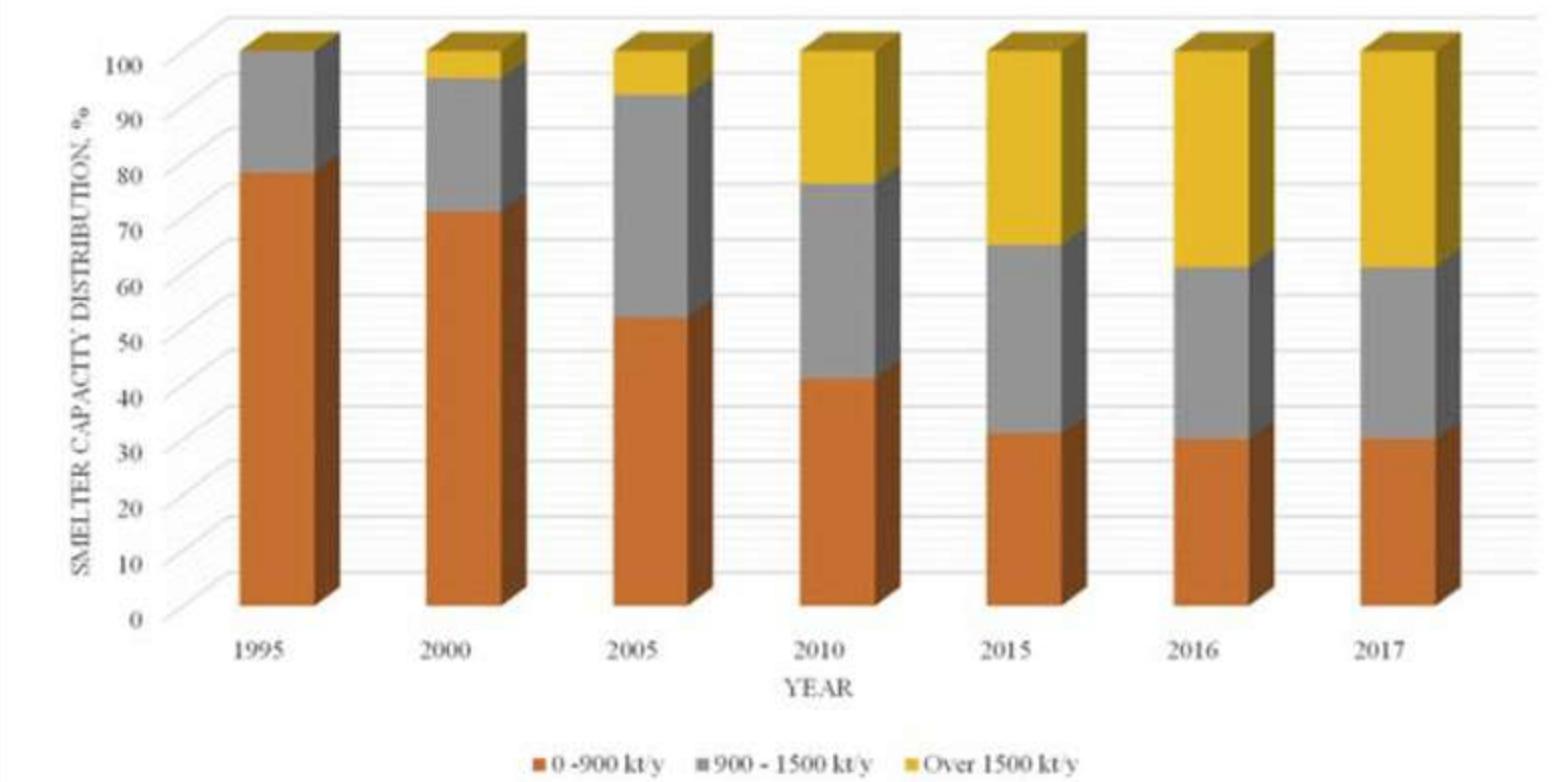
Explosivo aumento en el consumo



Aumento en tasa de procesamiento



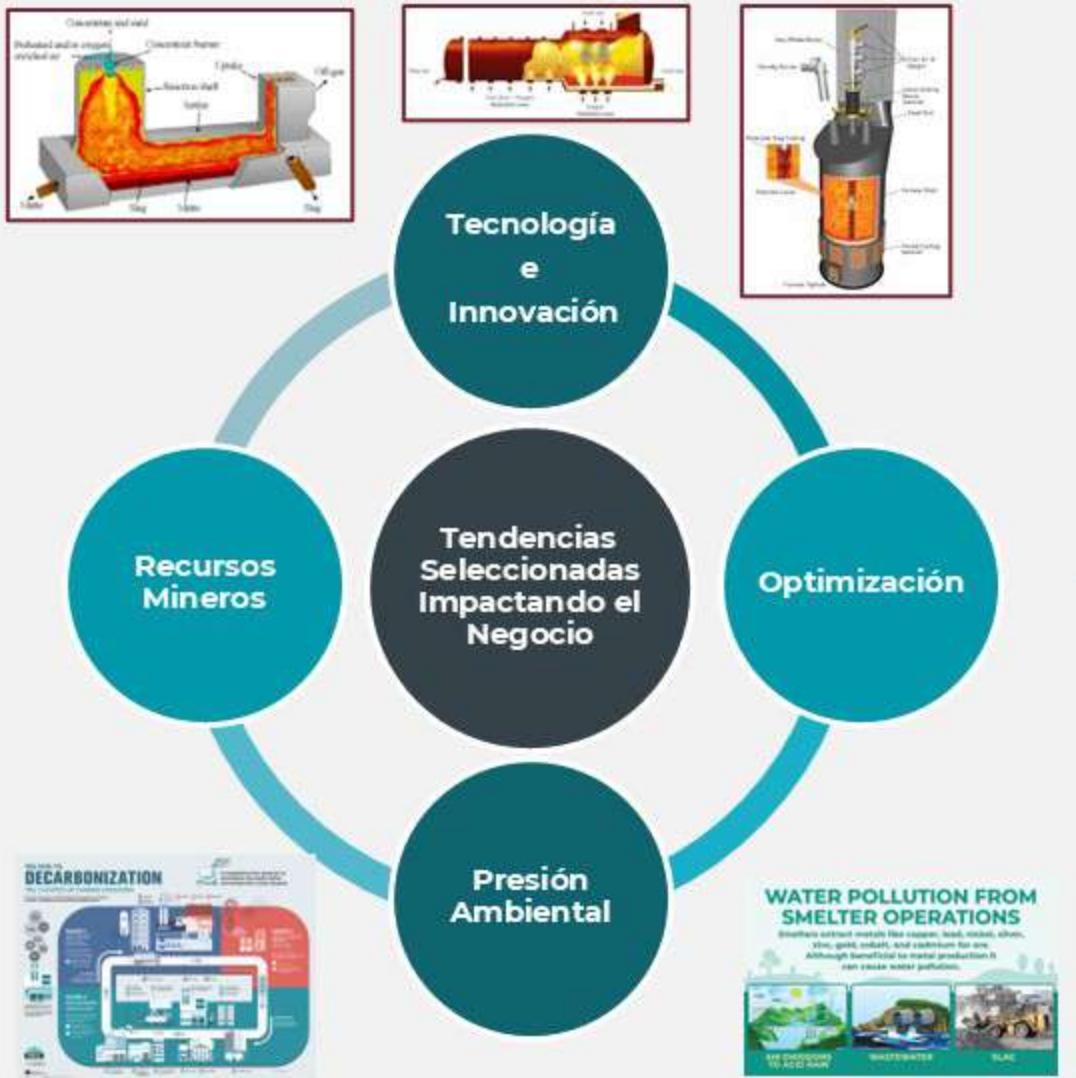
Evolution of Copper Smelting Capacity since 1995



Ref: Extractive metallurgy of Copper. 6th Edition

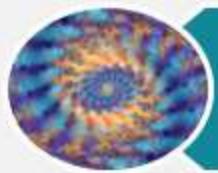
Tendencias y Propulsores del Mercado Sugieren la Necesidad de una Fertilización Cruzada para Optimizar el Valor Global

Complejidad e Incertidumbre del Recurso



Dimensiones del mercado: Riesgos y oportunidades de optimización

Los Desafíos Responden a las Necesidades



Complejidad del Recurso Minero



ESG



Modelo de Negocios



Integración Vertical



Inversión con Visión de Futuro

Los Desafíos Responden a las Necesidades

Complejidad del Recurso Minero



- Minas más profundas, complejas
- Leyes de mineral más bajas
- Aumento en relaves
- Mas impurezas
- Mas concentrado, pero menos unidades de cobre
- Presencia de elementos valiosos en corrientes secundarias

Los Desafíos Responden a las Necesidades

ESG



- Mayor regulación internacional
- Mayor presión de comunidades locales
- Negativa percepción ciudadana del negocio minero
- Competencia por recursos hídricos
- Licencia social para operar más compleja
- Permisos

Los Desafíos Responden a las Necesidades

Modelo de Negocios



- Integración vertical necesaria: Automotoras invirtiendo em minería
- Modelo de transacción entre mineros y refinadores impide tomar conciencia del rol articulador de las fundiciones y refinerías
- Rentabilidad versus Responsabilidad
- Mayor demanda por productos refinados
- Aumento en costos de operación

Los Desafíos Responden a las Necesidades

Integración Vertical



- Diálogo entre el minero y el fabricante
- Mina a concentrado versus mineral a producto
- Plantas integradas para maximizar recuperaciones
- Circularidad en el diseño
- Mentalidad multi-metálica versus mono-metálica

Los Desafíos Responden a las Necesidades

Inversión con Visión de Futuro



- Mentalidad a largo plazo no compatible con ciclos de administraciones.
- Innovar en modelos de inversión y transacción
- Foco en recuperación de multi-metales requiere distribuir capital de impacto en varias alternativas
- En una era de datos, la ciencia de datos no vista como enemigo sino como herramienta

¿En busca de **una mirada
ecosistémica en Codelco?**

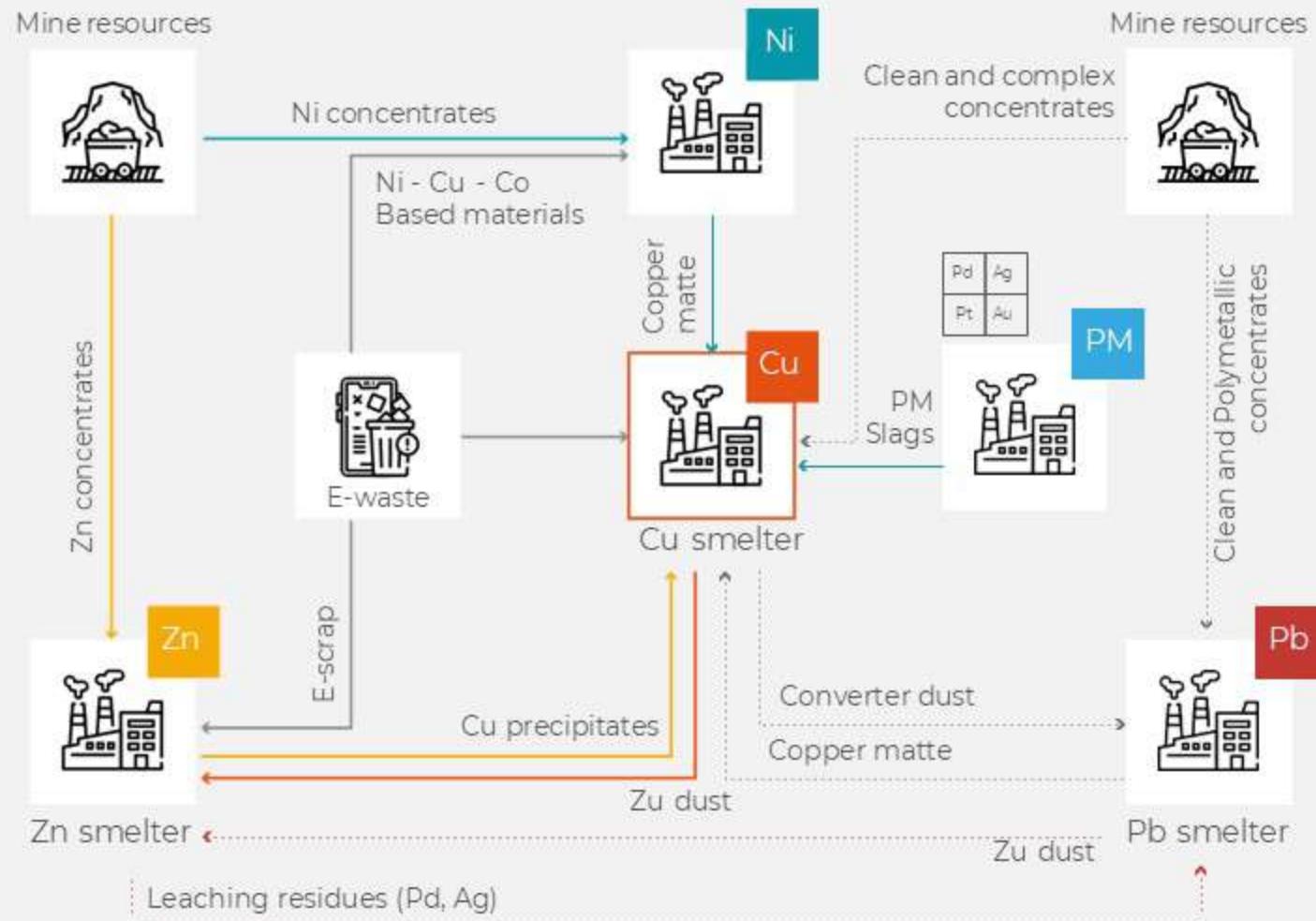




Ecosistemas en extracción y procesamiento de metales

La interacción entre metales bases y sus procesos asociados para generar valor

- ▶ Una mirada de generación de valor pasa por entender como los metales base actúan como catalizadores para capturar elementos menores y de qué manera la combinación de procesos puede permitir una eficiente extracción de estos





Documento de desafíos Metalurgia con Circularidad.

- Foco en “Procesos Metalúrgicos con Circularidad”.
- Desafíos seleccionados en 5 focos.
- Documento de referencia para proceso Piensa Minería 2025-2026.

Mapa de Focos



Desafíos

Hidrometalurgia

1. Predecir rutas de procesamiento, recuperaciones metalúrgicas y manejo de impurezas desde los principios fundamentales combinando información geometalúrgica, modelos fenomenológicos y conocimientos físico-químico.
2. Conceptualización y desarrollo de procesos hidrometalúrgicos que permitan aumentar la recuperación de cobre y elementos críticos en lixiviación de óxidos negros, sulfuros secundarios/primarios y finos de chancado.
3. Desarrollo de herramientas de monitoreo en tiempo real de variables críticas en LIX/SX/EW (pH, EH, temperatura, oxígeno, humedad, impurezas) para decisiones operacionales y trazabilidad.



Desafíos Concentradora

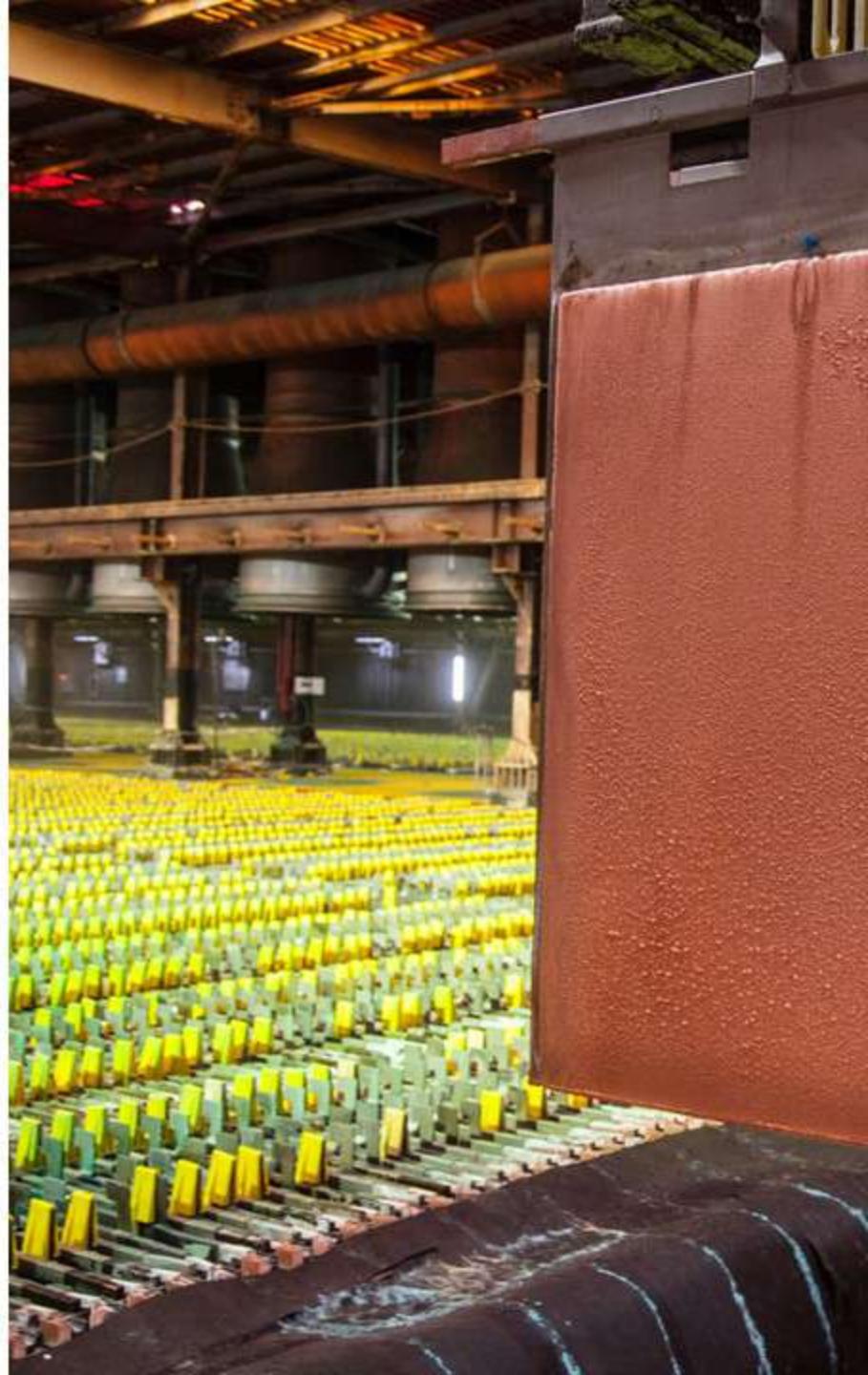
1. Conceptualización de una concentradora multi-mineral y multi-producto para recursos polimétalicos.
2. Análisis del impacto de diferentes calidades de aguas en el proceso de flotación (pros/cons)
3. Desarrollo de estrategias para el aumento de recuperación de Cu/Mo.



Desafíos

Fundición y Refinación

1. Aumentar la robustez operacional de hornos/convertidores frente a variabilidad de concentrados (mezcla de concentrado), optimizando combustión y extendiendo la vida útil de los equipos.
2. Caracterizar y gestionar la capacidad de escoria para retener impurezas críticas en ventanas de operación industrial.
3. Predecir y controlar nivel de baño, espuma y eventos de sobrepaso con mediciones no invasivas y analítica integrada al control, reduciendo pérdidas y riesgos.
4. Elevar la productividad en refinería mediante gestión activa de impurezas en electrolitos (monitorización/purificación en línea) con metas de calidad y optimización de capacidad.



Desafíos

Relaves

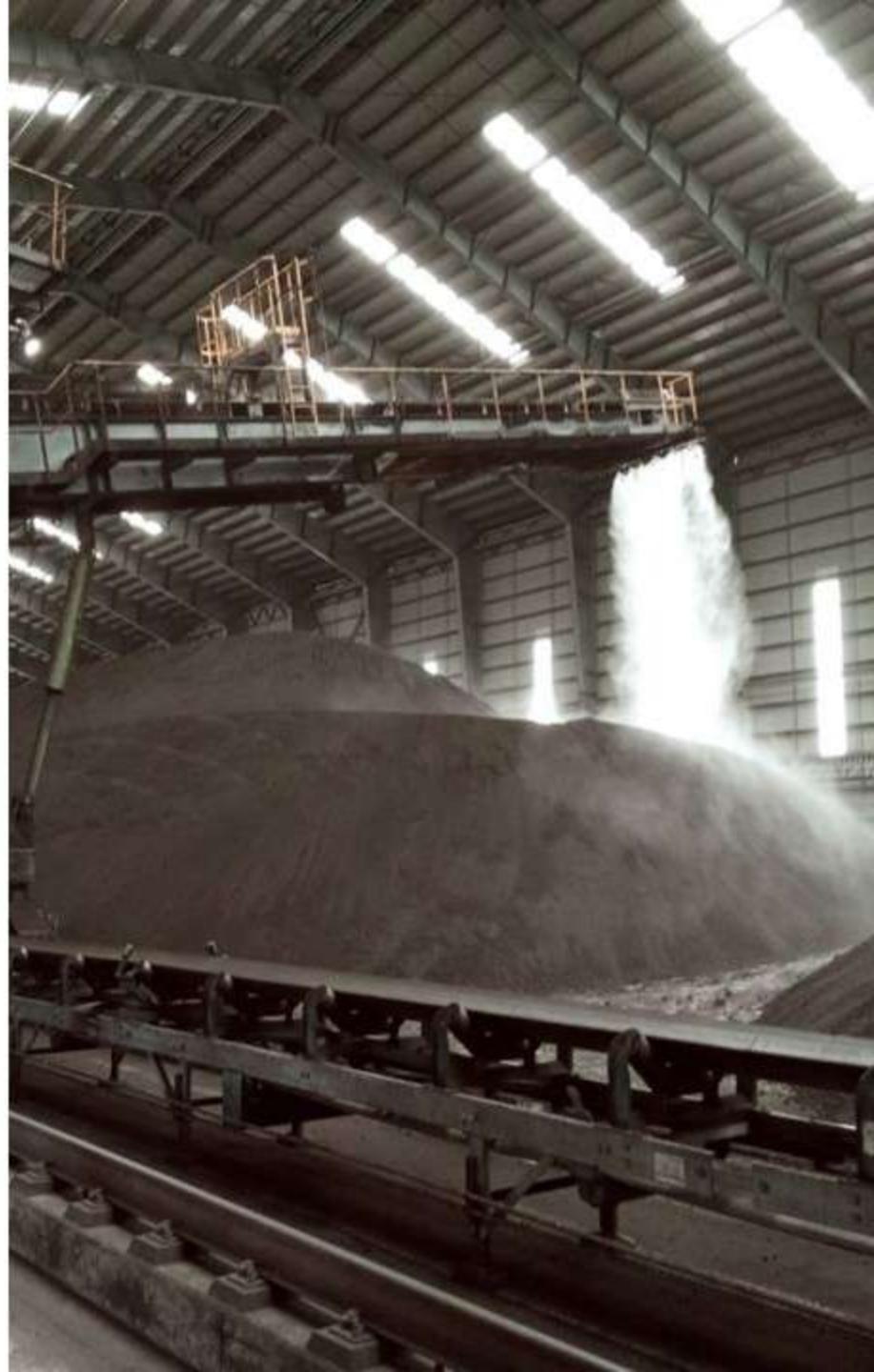
1. Liberar el agua atrapada en relaves depositados sin comprometer la estabilidad geotécnica del depósito, considerando reología de pulpas, gradiente hidráulico e inventarios hídricos.
2. Optimizar el equilibrio entre tamaño de partícula, reología y deposición para reducir el consumo y la recirculación de agua en transporte y disposición de relaves.
3. Habilitar técnicas innovativas de caracterización integral de relaves para habilitar rutas de valorización bajo principios de economía circular (metálicos y no metálicos).
4. Controlar infiltraciones y flujos no deseados en depósitos de relaves¹ mediante medidas pasivas compatibles con operación y cierre, asegurando cumplimiento ambiental.

¹Si bien el foco principal está en relaves, también se considerarán ideas que aporten a la solución de desafíos relacionados con infiltraciones y flujos no deseados en operaciones mineras.



Desafíos Circularidad

1. Estabilizar arsénico en corrientes gaseosas y líquidas logrando residuos no peligrosos y costos de estabilización sostenibles a escala industrial.
2. Recuperar metales críticos/estratégicos (p.ej., Renio, Ag, Zn, Ge) desde polvos y corrientes de proceso con balances de masa/pureza que viabilicen el negocio.
3. Revalorizar residuos mineros industriales y relaves depositados bajo modelos de economía circular con rutas técnico-económicas claras.





*Los desafíos aquí presentados reflejan las necesidades que se han levantado con las divisiones y son la base para **el llamado a proyectos de tesis de magister y doctorado del concurso Piensa Minería 2025-2026.***