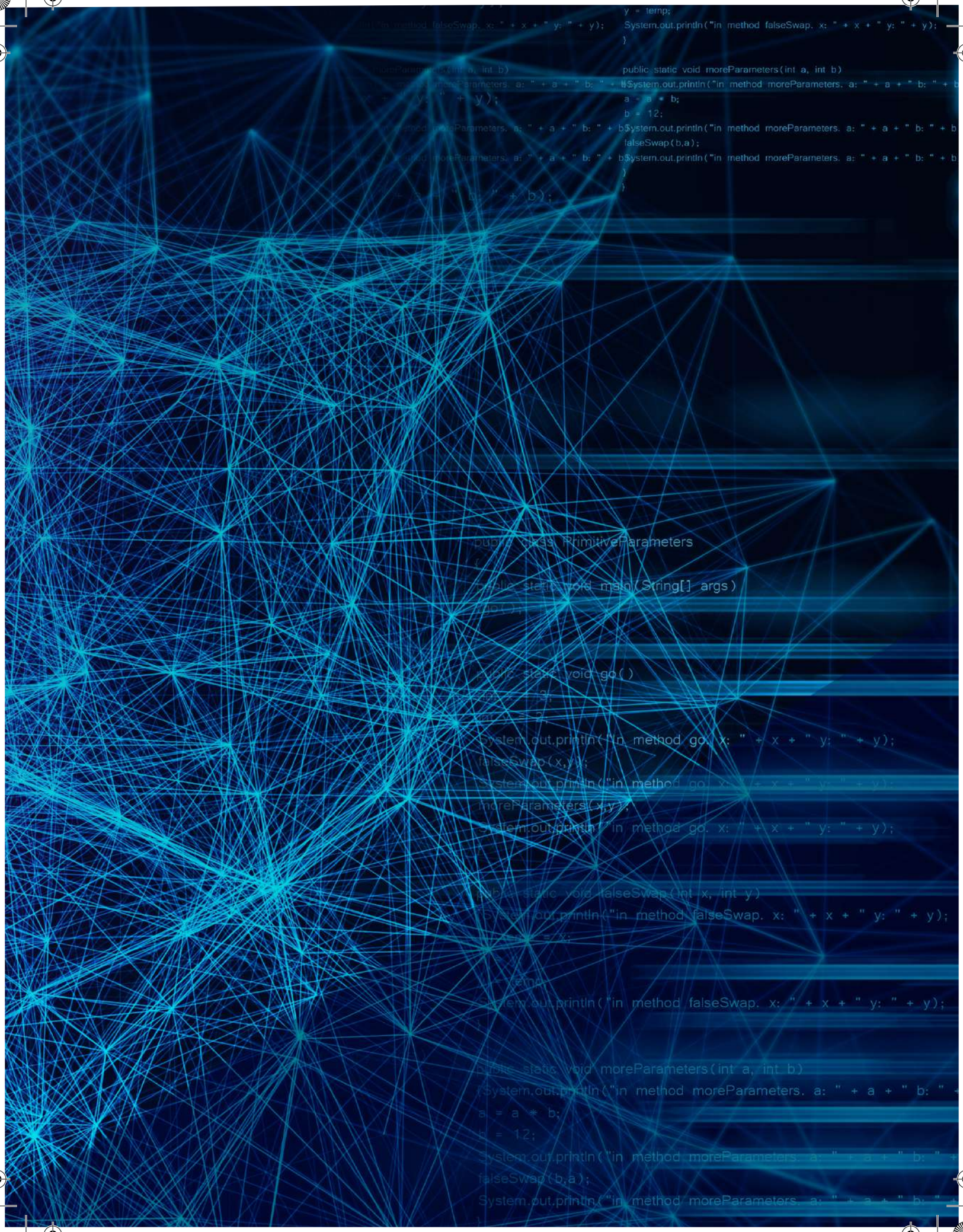
programa tranque

Monitoreo de avanzada para una minería responsable

DOCUMENTO CONFIDENCIAL

ESTÁNDAR DE MONITOREO Y EVALUACIÓN PARA LA GESTIÓN DE LAS AGUAS CIRCUNDANTES A LOS DEPÓSITOS DE RELAVES

UNA PROPUESTA DE CHILE



DOCUMENTO CONFIDENCIAL

programa tranque

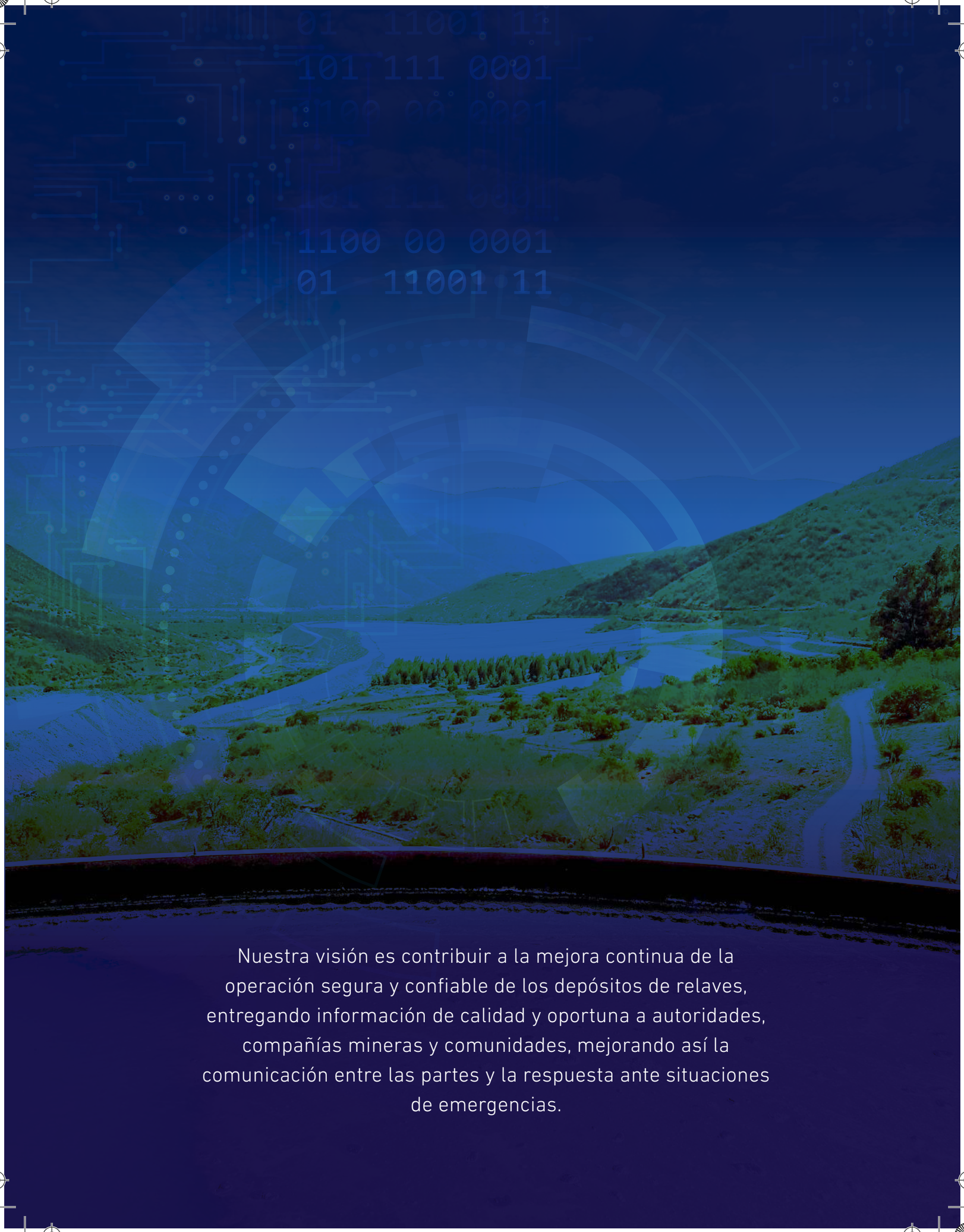
Monitoreo de avanzada para una minería responsable

ESTÁNDAR DE MONITOREO Y EVALUACIÓN PARA LA GESTIÓN DE LAS AGUAS CIRCUNDANTES A LOS DEPÓSITOS DE RELAVES. UNA PROPUESTA DE CHILE

Visita: www.fch.cl/proyecto/sustentabilidad/tranque/
Documento recomendado: Estándar de monitoreo y evaluación para la estabilidad física de los depósitos de relaves. Una propuesta de Chile

Autores: Equipo Programa Tranque
Edición: Equipo Programa Tranque
Traducción: Patricia Soto Ramos
Diseño y diagramación: Verónica Zurita Villena

Este documento está sujeto a nuevas modificaciones hasta el término del programa.
Reservados todos los derechos. Queda autorizada la reproducción total o parcial con previa autorización y citando fuente.
Actualizado a noviembre 2019, Santiago de Chile.



Nuestra visión es contribuir a la mejora continua de la operación segura y confiable de los depósitos de relaves, entregando información de calidad y oportuna a autoridades, compañías mineras y comunidades, mejorando así la comunicación entre las partes y la respuesta ante situaciones de emergencias.

PRÓLOGO

Aunque los mundos de la ciencia y la filosofía aún debatan sobre si la frase que Isaac Newton escribió a Robert Hooke en 1676 es de su autoría o si la tomó de un escrito de Juan Salisbury en 1159, lo cierto es que la mencionada frase: *"Si he visto más lejos es porque estoy sentado sobre los hombros de gigantes"* bien describe una característica relevante de Programa Tranque. El mundo que la frase nos trae a la mano, resalta la naturaleza colectiva de la iniciativa donde nos hemos apoyado; en los esfuerzos de muchos técnicos, científicos, empresas mineras, líderes comunitarios y políticos que, con su esfuerzo, a lo largo de ya hace unos tres años han dado vida al programa que describimos en este documento.

Nuestra organización, el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) se ha trazado como desafío revisar su plan estratégico, elaborando una propuesta para el período 2020 – 2023. En este sentido, estamos poniendo nuestro esfuerzo en la adaptación de nuestros procesos al influjo creciente de la industria 4.0 y priorizando las iniciativas de mejora en los productos estratégicos orientados a la comunidad y autoridades.

Hemos encontrado en los objetivos del Programa Tranque un alineamiento absoluto con nuestros objetivos y producto de ese alineamiento hemos planteado como nuestro, el desafío de la creación y administración del futuro Observatorio Nacional de Relaves, que permitirá advertir preventivamente los impactos frente a diferentes eventos que puedan ocurrir en estas instalaciones.

Este sistema es una herramienta fundamental para la gestión y control remota, entregando al Servicio información relevante respecto de los compromisos de cada depósito y cómo estos se monitorean durante la operación a modo de detectar potenciales desviaciones respecto del diseño aprobado. Este flujo de información y comunicación entre el Servicio y las compañías mineras permitirá orientar mejor los esfuerzos de fiscalización en terreno y la gestión de alertas preventivas, lo que es sin duda un gran avance para nuestro quehacer diario.

En esta misma línea, el sistema entregará información a las comunidades, que requieren entender y asumir que son actores activos de lo que ocurre en sus territorios.

El estándar de monitoreo de Programa Tranque que se presenta en este documento es relevante no solamente porque define técnicamente herramientas para monitorear todos los depósitos de relaves del país, sino que además, es un avance significativo para estandarizar mejores prácticas en la industria minera chilena, convirtiéndola en un referente mundial de la gestión de los depósitos.

Por esta razón, y por estos importantes avances, seguiremos apoyando y trabajando en la iniciativa, hasta que se implemente gradualmente a nivel nacional.

Jorge Vargas

Jefe del Departamento de Grandes Proyectos y Depósitos de Relaves, SERNAGEOMIN

PRESENTACIÓN

Uno de los resultados relevantes obtenidos en el marco de Programa Tranque **es el estándar de monitoreo para depósitos de relaves**. Este documento es producto de un trabajo colectivo y validado por todos los actores públicos y privados que participan del programa, e incluye las herramientas para evaluar el desempeño de la estabilidad física de estas instalaciones, así como el monitoreo y la evaluación de sus aguas circundantes.

Este estándar de carácter voluntario propone las variables críticas requeridas para el monitoreo, incluyendo frecuencia y densidad muestral/instrumental, y propone herramientas de evaluación. Los resultados obtenidos permitirán gestionar tempranamente potenciales situaciones de alerta o de emergencias a través de una plataforma de gestión de información.

El presente documento, contiene una versión técnica del estándar para el monitoreo y evaluación de las aguas circundantes a los depósitos de relaves, en adelante EMAC, que explica en detalle las herramientas de monitoreo y su funcionamiento, desde la obtención de los datos, su procesamiento y análisis, hasta la gestión y comunicación de alertas.

En la introducción se describe brevemente la iniciativa Programa Tranque y se presenta un resumen de las herramientas de monitoreo para el desempeño de su estabilidad física y la evaluación de sus aguas circundantes y del sistema de monitoreo y alerta temprana.

En su segunda parte se detalla el sistema de monitoreo EMAC con una definición general de las herramientas, sus objetivos, alcances, componentes y flujo general desde la entrada de datos hasta la generación de alertas.

Finalmente, se describe el funcionamiento y operación de las herramientas EMAC, las circunstancias que gatillan diferentes alertas y la gestión y comunicación de éstas.

Este estándar se alinea con la visión común de todos los participantes de Programa Tranque, que es el desarrollo de una minería sustentable, que permita conciliar el desarrollo de la industria con las vocaciones territoriales, a través de la ampliación del conocimiento sobre las operaciones de los depósitos de relaves.

PARTE I
INTRODUCCIÓN

La minería ha impulsado el desarrollo de Chile en su historia reciente, convirtiéndose en una de las principales actividades económicas del país. Hoy, los desafíos que impone el contexto mundial y nacional, han llevado a la industria a reflexionar sobre sus prácticas y estándares de operación, logrando que diversas iniciativas estén poniendo foco en elaborar lineamientos y llevar a cabo acciones que fomenten un desarrollo sustentable de la minería.

Considerando que Chile es el tercer país con más depósitos de relaves en el mundo, y que estas instalaciones son fundamentales para la industria, es ineludible el desarrollo de soluciones que fortalezcan su gestión para mejorar el control de su desempeño y su relación con el entorno donde están insertos. Además, debido a los últimos acontecimientos catastróficos registrados a nivel internacional, no solamente se deben abordar aspectos de carácter ambiental regulados bajo diferentes normativas, o aspectos sociales que le otorguen licencia social para operar, sino que además se enfrenta al desafío de mantener la confianza de inversionistas, que proveen a la industria la licencia financiera para mantener su desarrollo.

Para contribuir a la operación segura de los depósitos de relaves del país, mejorando la coordinación y las relaciones de confianza entre los diferentes actores involucrados, y posicionar a Chile como referente mundial en la gestión de estas instalaciones, nace el Programa Tecnológico de Monitoreo en Línea de Depósitos de Relaves (PROGRAMA TRANQUE).

Programa Tranque es una iniciativa pública-privada, iniciada a fines del año 2016, cuyo fin es el desarrollo de un bien público correspondiente a un sistema estandarizado de monitoreo y alerta temprana para depósitos de relaves, el que a través de una plataforma de gestión de información, proporcione a los actores involucrados (autoridades, compañías mineras y comunidades) información de calidad, confiable y oportuna sobre el desempeño de los depósitos en ámbitos de estabilidad física y monitoreo de aguas circundantes. La iniciativa, bajo el alero del Programa Alta Ley, es co-diseñada e implementada por Fundación Chile, CORFO, Ministerio de Minería, Servicio Nacional de Minería y Geología (SERNAGEOMIN), Oficina Nacional de Emergencias (ONEMI), Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), Dirección General de Aguas (DGA), Antofagasta Minerals (AMSA), BHP, Corporación Nacional del Cobre (CODELCO), Empresa Nacional de Minería (ENAMI), Sociedad Nacional de Minería (SONAMI), INRIA Chile, Centro Avanzado de Tecnología para la Minería de la Universidad de Chile (AMTC) y Valor Compartido.

En 2018, esta iniciativa tomó un nuevo impulso al ser considerada dentro de la Política Nacional de Relaves anunciada por el Ministerio de Minería, que dentro de sus pilares considera la implementación de herramientas para la gestión de depósitos activos, por medio de la creación del Observatorio Nacional de Relaves.

El sistema diseñado incorpora dos componentes que se relacionan entre sí: (1) el sistema de monitoreo que incluye los métodos y tecnologías de captura de datos, su recolección, procesamiento, análisis o cálculo y visualización diferenciada de la información obtenida para la definición del desempeño del depósito, y (2) el sistema de alerta temprana considera la comunicación de eventos y alertas hacia los principales actores; organismos públicos, compañías mineras y comunidades, en situaciones de eventuales emergencias, homologadas a la nomenclatura que utiliza ONEMI, para su mejor comprensión.

El sistema de monitoreo desarrollado en el marco de Programa Tranque se sustenta en un estándar que define una serie de criterios técnicos para el monitoreo y evaluación de la estabilidad física de los depósitos y de sus aguas circundantes. Este estándar, ha sido consensuado con todos los participantes de esta alianza público-privada.

Para evaluar el desempeño de la estabilidad física de un depósito de relaves, Programa Tranque ha desarrollado una herramienta que evalúa la condición del depósito en base a los tres principales mecanismos de falla (rebalse, erosión interna e inestabilidad de taludes) que pueden afectar la estabilidad física, dentro de los cuales hay diferentes módulos secuenciales de evaluación, que se diferencian por la frecuencia, cantidad y complejidad de la información requerida. El propósito de la herramienta de evaluación de estabilidad física es conocer y comunicar el desempeño del depósito frente a factores como: el lugar de emplazamiento, el diseño escogido y la operación, con el fin de tener una representación integral que permita fortalecer la gestión preventiva de los depósitos de relaves.

El desempeño de un depósito de relaves en relación con sus aguas circundantes es abordado por Programa Tranque mediante el desarrollo de cuatro herramientas que permiten monitorear el comportamiento y evaluar tempranamente las potenciales afectaciones de una serie de variables definidas como críticas, tanto en aguas subterráneas como superficiales. Estas herramientas son: índice de riesgo, índice de impacto, sistema de gestión temprana y análisis de tendencias.

Las propuestas técnicas de estas herramientas fueron realizadas por los equipos de AMTC y de Fundación Chile, y su elaboración y aprobación contó con la participación de los especialistas de todas las instituciones participantes de Programa Tranque.

El presente documento presenta en detalle el estándar de monitoreo de Programa Tranque y su funcionamiento desde el ingreso de datos, su análisis, gestión y comunicación de alertas.

PARTE II
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTÁNDAR EMAC Y SUS HERRAMIENTAS

Las principales preocupaciones asociadas a los depósitos de relaves tienen relación con los distintos impactos ambientales que estas instalaciones mineras pueden tener en el entorno donde se ubican. Estos impactos pueden ser puntuales y entonces de fácil detección, o de carácter difuso sobre las aguas naturales circundantes con las que interactúan. Esto requiere una mirada integral del depósito y su entorno, considerando una visión territorial.

En este contexto, Programa Tranque tiene dos objetivos claros:

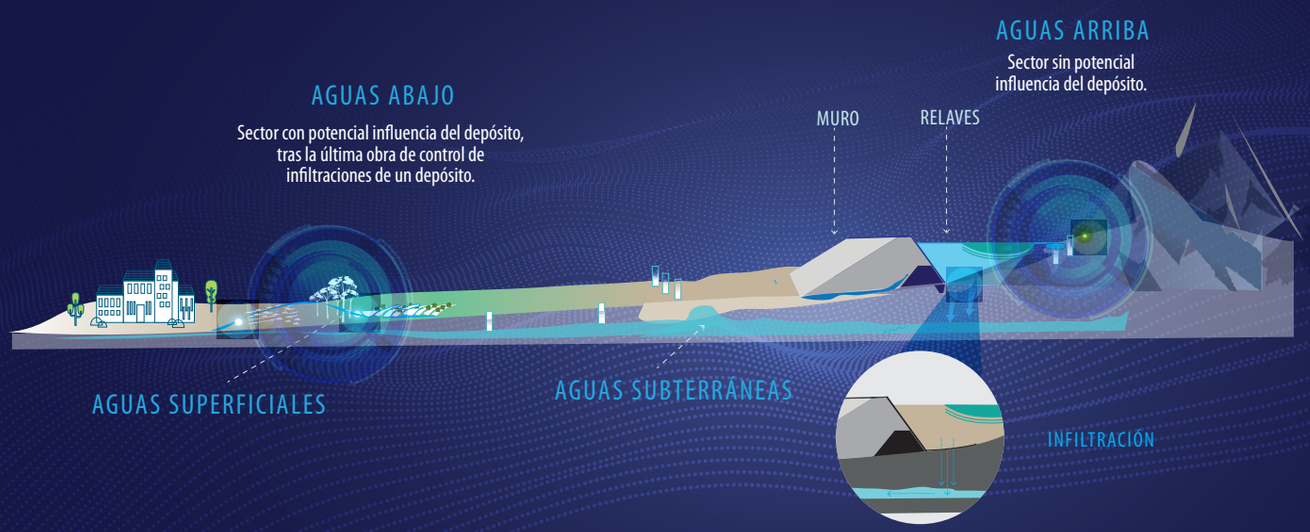
(1) monitorear tanto las aguas subterráneas que pueden entrar en contacto con infiltraciones provenientes desde el depósito, así como los cursos de agua superficial próximos, que pueden verse afectados, por ejemplo, por una descarga directa; y

(2) evaluar el impacto y los riesgos asociados a esta potencial interacción.

El monitoreo y la evaluación de las aguas, son dos acciones internacionalmente consolidadas como parte de las buenas prácticas en la industria minera, que permiten a las compañías mineras, autoridades y comunidades, tener un diagnóstico sobre la eficacia de la construcción, operación y cierre de un depósito. Este diagnóstico puede llegar a evidenciar cambios en las aguas circundantes que **pueden significar un riesgo para la salud de las personas o el medio ambiente.** La detección temprana de anomalías no sólo permite tener un mejor conocimiento del estado del depósito, sino que es parte fundamental de la toma de decisiones sobre las medidas de gestión que minimicen los impactos mencionados.

En la Figura 1, se presenta un esquema tipo de un depósito de relaves y las aguas superficiales y subterráneas que podrían encontrarse en su entorno, identificando un sector sin influencia directa del depósito como "aguas arriba", frente a otro sector que se localiza tras la última obra de control de infiltraciones del depósito, en el sentido de escurrimiento de las aguas, identificado como "aguas abajo", y que potencialmente puede verse afectado.

FIGURA 1.
Esquema tipo de un depósito de relaves y su relación con las aguas circundantes.



Los principales procesos que pueden llegar a conectar los fluidos provenientes del depósito de relaves con las aguas del entorno son: (1) infiltraciones desde la cubeta del depósito o muro de contención, conectando hidráulicamente ambos medios, y (2) descarga directa por derrame del relave o de aguas claras. Asimismo, también es factible que por erosión eólica se transporte material particulado desde el depósito hasta los canales de contorno que transportan agua natural, pudiendo modificar su composición aguas abajo del depósito.

Con la finalidad de cumplir los objetivos anteriormente mencionados, Programa Tranque ha definido un **estándar** de monitoreo de las aguas circundantes a un depósito de relaves. Los requerimientos levantados entre los distintos *stakeholders* durante el desarrollo del programa, cada uno con su propia mirada, ha significado que este estándar esté configurado por varias herramientas, de manera de contar con un sistema de monitoreo completo sobre las aguas, que permita no sólo tomar medidas frente a situaciones no deseadas sino prever futuras anomalías que puedan significar un riesgo para la salud de las personas y/o el medio ambiente.

En este contexto el estándar contempla 4 herramientas de evaluación y monitoreo de las aguas circundantes, cada una de las cuales tiene un **objetivo específico** y las cuales han sido trabajadas en conjunto en diversas instancias de la gobernanza público-privada del programa, hasta alcanzar consenso en sus definiciones. Muy resumidamente las herramientas EMAC son las siguientes:

HERRAMIENTAS EMAC

II

ÍNDICE DE IMPACTO
que identifica potenciales afectaciones aguas abajo del depósito, comparando concentraciones de variables en este sector con sus concentraciones en situación sin influencia del depósito.

IR

ÍNDICE DE RIESGO
que determina si el agua, aguas abajo del depósito, puede significar un riesgo para la salud de las personas o el medio ambiente, a través de la comparación de variables con valores de referencia establecidos para los diferentes usos que el agua puede tener en el entorno del depósito.

ADT

ANÁLISIS DE TENDENCIAS
que predice el comportamiento en el tiempo de las variables, permitiendo identificar potenciales afectaciones en el largo plazo.

SGT

SISTEMA DE GESTIÓN TEMPRANA
que muestra información en línea de ciertas variables permitiendo identificar anomalías por la influencia del depósito en el momento.

Asimismo, el estándar define una serie de criterios en cuanto a: tipo de matriz de monitoreo, número mínimo y ubicación de puntos de monitoreo, variables, frecuencia de monitoreo, tipo de medición, valores de referencia, especificaciones para la definición de eventos y alertas, consideraciones de los compromisos ambientales ya existentes y consideraciones de visualización, entre otros.

En la Figura 2 se muestran los pasos que conforman el estándar de monitoreo de las aguas circundantes a un depósito de relaves, definiendo de este modo la metodología de trabajo, que incorporando los criterios anteriormente mencionados, busca cumplir con todos los objetivos establecidos.

Es importante mencionar que la información resultante de la implementación de este estándar se visualiza en una **plataforma** de monitoreo, que considera interfaces propias para cada usuario (compañía minera, autoridad y comunidad), en pro de la transparencia y generación de confianza entre las partes sobre la gestión de los depósitos de relaves y en específico, en relación con el monitoreo de las aguas circundantes.

FIGURA 2.
Pasos del estándar de monitoreo de las aguas circundantes a un depósito de relaves.

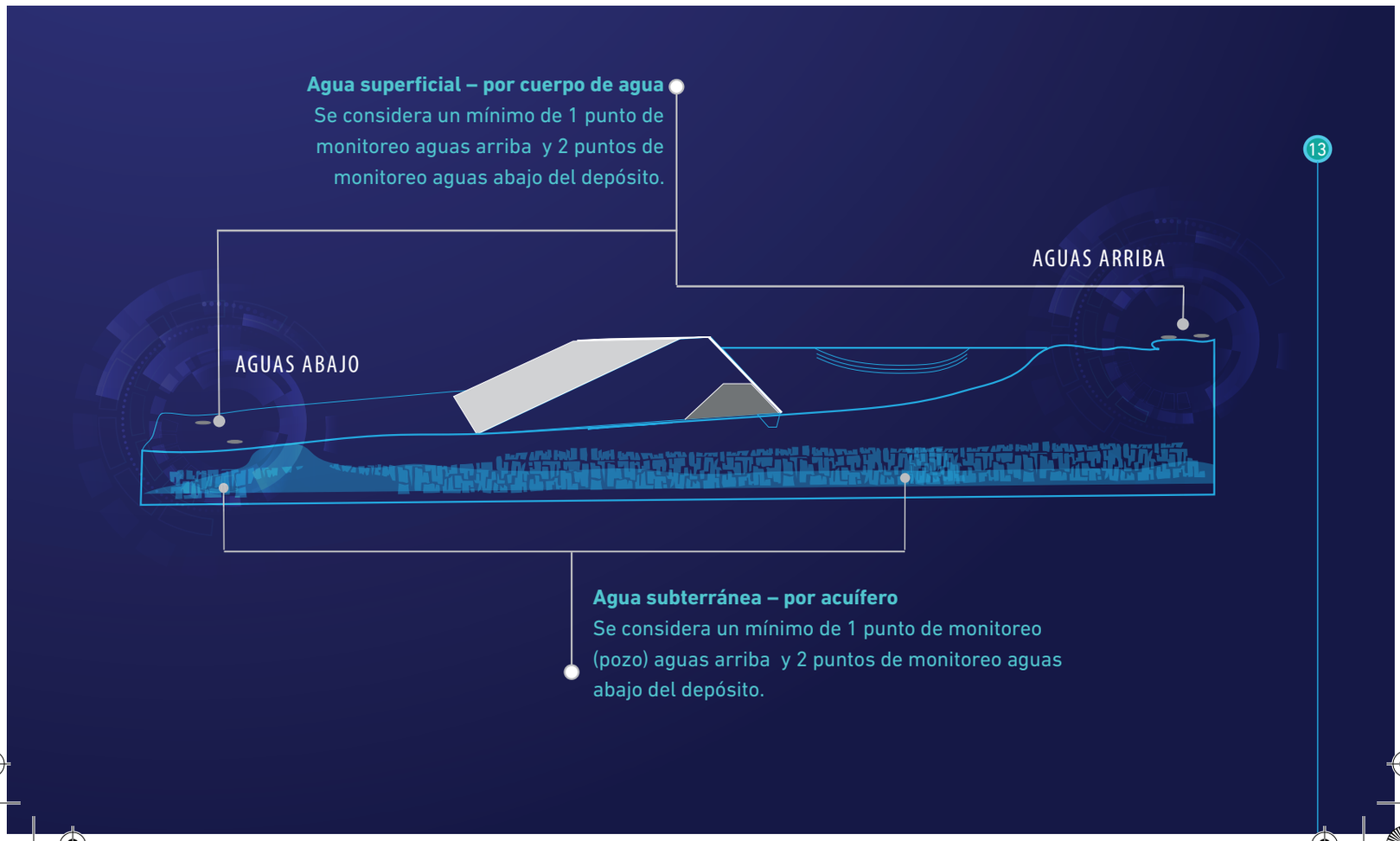
PARTE III
OPERACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO Y ALERTA TEMPRANA

A continuación, se detallan cada uno de los pasos del estándar de monitoreo de las aguas circundantes a un depósito de relaves.

1. DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO

En el entorno del depósito de relaves, el estándar considera dos sectores:
1. Aguas arriba, sin influencia del depósito y,
2. Aguas abajo, que se considera con potencial influencia del depósito, y que por ende, es objeto de la evaluación y monitoreo de sus aguas.
Tal como se ha mencionado, Programa Tranque considera el monitoreo tanto de las aguas superficiales como subterráneas circundantes a un depósito de relaves (Figura 1), estableciendo un mínimo de puntos de monitoreo para ambas matrices, tal como se indica en la Figura 3. Si bien estos son criterios mínimos, se recomienda incorporar el mayor número de puntos de monitoreo de manera de ampliar el conocimiento sobre el estado de las aguas en relación al depósito.

FIGURA 3.
Puntos de monitoreo para aguas superficiales y aguas subterráneas.



2. DATOS DE MONITOREO

Uno de los aspectos clave del estándar son las **variables**, que definidas como críticas, se requieren continuamente como *input* para el cálculo de las herramientas EMAC. Programa Tranque establece un total de 28 variables críticas, químicas y fisicoquímicas. Los criterios de selección que han definido el listado final, han sido principalmente dos: en primer lugar, son variables presentes en relaves asociados a la minería de cobre y oro, por ende, podrían estar presentes en una amplia mayoría de los depósitos en Chile; y en segundo lugar tienen asociados efectos toxicológicos para la salud de las personas o el medio ambiente según instituciones internacionales con competencia reconocida en la temática (RAIS[3], ATSDR[4] , IARC[5]). Asimismo, se han definido una serie de variables fisicoquímicas cuyos cambios permiten detectar tempranamente anomalías asociadas al desempeño de este tipo de instalaciones.

El estándar requiere datos en dos formatos diferentes, por un lado, datos ingresados por el usuario (compañía minera u otros responsables) mediante una planilla de carga masiva, y por otro lado aquellos que son transmitidos desde sensores instalados en los puntos de monitoreo en terreno. Ambos tipos se detallan a continuación:

(a) Datos ingresados por el usuario

Los datos ingresados por el usuario corresponden al reporte de 23 variables críticas, 21 analizadas en laboratorio y 2 medidas en terreno. El estándar permite únicamente que la toma de muestras, la medida de variables en terreno y los posteriores análisis, sean realizados por laboratorios acreditados como Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental (ETFA), en el Registro Nacional de Entidades Técnicas de la Superintendencia del Medio Ambiente de Chile. La calidad de los datos es de responsabilidad del laboratorio y de la compañía minera, respectivamente, siendo requerido adjuntar los certificados de análisis correspondientes.

Las variables críticas ingresadas directamente por el usuario son:

21 **Variables analizadas en laboratorio**: aluminio, antimonio, arsénico, berilio, boro, cadmio, cianuro, cloruros, cobalto, cobre, cromo, fluoruros, hierro, mercurio, manganeso, molibdeno, níquel, plomo, selenio, sulfatos, zinc (Unidades: mg/L).

2 **Variables medidas en terreno**: pH (Adimensional), conductividad eléctrica (Unidades: µS/cm).

La frecuencia para el ingreso de datos por el usuario es mensual y cualquier anomalía es debidamente notificada por la plataforma al usuario.

(b) Datos ingresados desde sensores

Los datos que ingresan directamente desde sensores instalados en terreno tienen mayor frecuencia de medición, permitiendo detectar tempranamente (en tiempo real) cambios en el agua. Las variables críticas que son monitoreadas mediante sensores son: nivel freático (Unidades: m), conductividad eléctrica (Unidades: µS/cm), ORP (Unidades: mV), temperatura (Unidades: °C), pH (Adimensional).

La frecuencia de medición en los sensores varía en función de si se monitorea agua superficial o subterránea, ya que ambos tipos de agua tienen comportamientos hidrodinámicos diferentes. Actualmente se considera el monitoreo cada 1 hora para las aguas superficiales y cada 8 horas para aguas subterráneas.

3. RAIS, por sus siglas en inglés The Risk Assessment Information System
4. ATSDR, por sus siglas en inglés Agency for Toxic Substances and Disease Registry
5. IARC, por sus siglas en inglés International Agency for Research on Cancer

3. VERIFICACIÓN

El siguiente paso es verificar que los datos de entrada para el cálculo de las herramientas EMAC son suficientemente fiables para su uso. Los mecanismos de verificación varían según el tipo de dato:

(A) VERIFICACIÓN DE DATOS INGRESADOS POR EL USUARIO

En el caso de las variables de laboratorio, la verificación se realiza a través del cálculo del **balance iónico** (BI) de la muestra analizada, siendo ésta una metodología rutinaria en el estudio de las aguas. Para este cálculo se consideran los cationes y aniones mayores presentes en la muestra (calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, carbonatos o nitratos, cloruros y sulfatos). Tanto la ecuación para el BI, como los posibles resultados se muestran a continuación:

$$BI\ (\%) = 100 \times \frac{(\Sigma\ \text{cationes} - \Sigma\ \text{aniones})}{(\Sigma\ \text{cationes} + \Sigma\ \text{aniones})}$$

BI ≤ 5%

Situación en que todos los datos de ese punto de monitoreo en la fecha de análisis son válidos y, por ende, entran al cálculo de las herramientas EMAC.

5% < BI ≤10%

Situación en que los datos en ese punto de monitoreo en la fecha de análisis son aún válidos y, por ende, entran al cálculo de las herramientas EMAC. La plataforma informa al usuario de esta situación y recomienda evaluar su inclusión en función de si es una desviación puntual o frecuente para la muestra.

BI > 10%

Situación en que los datos en ese punto de monitoreo en la fecha de análisis no son válidos, por lo que no podrán ser utilizados para el cálculo de las herramientas EMAC. La plataforma informa al usuario de esta situación.

Es importante tener en consideración que el BI entregado por el laboratorio no reemplaza el calculado de acuerdo al estándar, por lo que los datos requeridos para su cálculo deben ser entregados en forma conjunta con los datos ingresados por el usuario, a través de la planilla de carga masiva de datos.

(B) VERIFICACIÓN DATOS INGRESADOS DESDE SENSORES

En el caso de las variables medidas por sensores en terreno, su verificación se basa en el cumplimiento del plan de mantención y calibración de cada uno de los sensores que forman parte del sistema de monitoreo.

4. CÁLCULO HERRAMIENTAS EMAC

A continuación, se detallan las herramientas EMAC:

ÍNDICE DE IMPACTO (II)

sobre las aguas circundantes a un depósito de relaves

LÓGICA DE CÁLCULO

La lógica de cálculo del II está basada en la comparación de la concentración actual de cada una de las variables críticas, en cada punto de monitoreo aguas abajo del depósito (sector con potencial influencia), con la línea base de cada variable, en las aguas sin influencia del depósito. Entendiendo por línea base como la concentración representativa para cada variable calculada de acuerdo a datos históricos (previos a la construcción del depósito) y/o actuales (coetáneos a la operación del depósito) según sean las aguas subterráneas o superficiales.

DESCRIPCIÓN

Esta herramienta permite identificar cambios en la composición de las aguas circundantes aguas abajo del depósito, tanto superficiales como subterráneas, potencialmente afectadas por un depósito de relaves. Los datos requeridos para su cálculo corresponden a aquellas variables críticas ingresadas por el usuario (Ver detalle en el Punto 2. Datos de monitoreo), y la frecuencia de cálculo en condiciones normales es mensual. Finalmente, se debe considerar que hay tantos índices (II) como variables y puntos de monitoreo evaluados, tanto para aguas subterráneas como para superficiales.

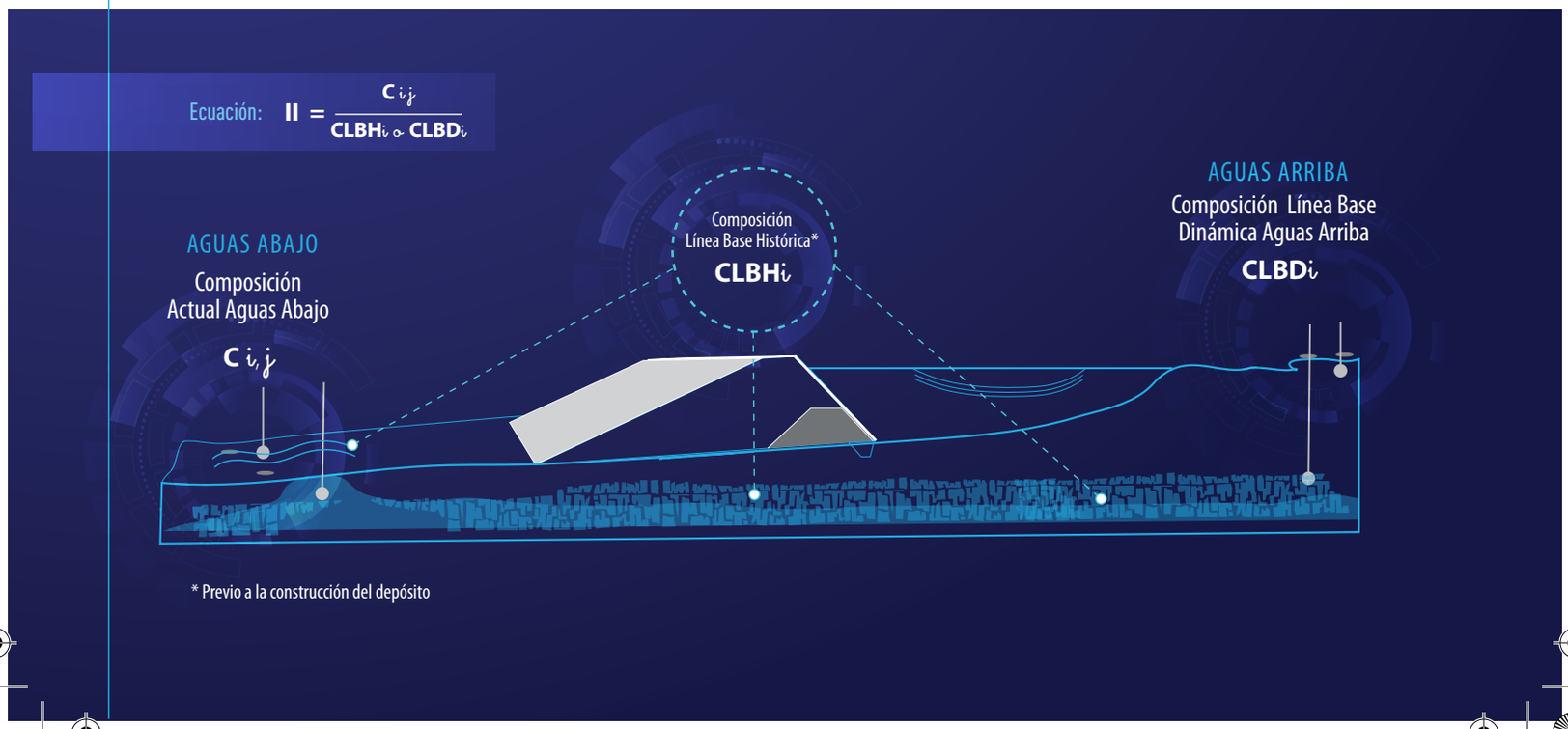
El cálculo del II está definido por la siguiente ecuación:

$$II_{ij} = C_{ij} / CLB_i$$

Donde:

II_{ij} es el índice de impacto para la variable crítica "**i**" en el punto de monitoreo "j" aguas abajo del depósito de relaves.

FIGURA 4.
Fuentes de datos para aplicación de indice de impacto en aguas circundantes.



C_{ij} es la concentración de la variable crítica "i" en el punto de monitoreo "j" aguas abajo del depósito de relaves.

CLB_i es la concentración línea base de la variable crítica "i".

• Aguas superficiales

En el caso de las aguas superficiales, la concentración representativa para cada variable crítica "i", CLBi se calcula con datos históricos (previos a la construcción del depósito) y actuales (coetáneos a la operación del depósito):

CLBHi – Concentración Línea Base Histórica para la variable "i"[6]

CLBDi – Concentración Línea Base Dinámica para la variable "i"

La compañía minera debe entregar disponer a la plataforma datos históricos de puntos de monitoreo previos a la construcción y operación del depósito, pudiendo incluir puntos localizados tanto aguas arriba como aguas abajo. Con esta información se calcula la CLBHi, mediante el percentil 97,7 ó 90 dependiendo del número de datos (n) según se indica en la siguiente tabla.

Percentil (P)[7]	Número de datos (n)
P 97,7	$n \geq 60$
P 90	$60 > n \geq 24$

Asimismo, para asegurar la representatividad de la data se exige un mínimo de 24 mediciones en un periodo de tiempo mínimo de 2 años, respetando que al menos haya una medición cada 6 meses para aguas subterráneas y cada 3 meses para aguas superficiales.

Para el cálculo de la CLBDi, se sigue la misma lógica expuesta que para la CLBHi, pero utilizando datos actuales en puntos de monitoreo aguas arriba del depósito (sector sin influencia) por un periodo móvil de 24 meses (siendo el último mes el mes del cálculo del II). En este caso el usuario debe cerciorarse de la conectividad hidráulica entre los puntos de monitoreo aguas arriba y abajo del depósito.

Si bien lo óptimo es contar con las 24 mediciones requeridas, para el cálculo de CLBDi se acepta una ausencia de 2 datos consecutivos o de 3 datos no consecutivos en la serie completa, admitiendo 21 mediciones para el cálculo.

La comparación entre ambas líneas bases permite tener un conocimiento completo de las condiciones en el tiempo del agua superficial.

• Aguas subterráneas

En el caso de las aguas subterráneas, el cálculo de la CLBi se realiza en primer lugar según la metodología presentada anteriormente para CLBHi en aguas superficiales. Para aquellas variables críticas cuyos datos no cumplen con los condicionantes mencionados respecto a la serie de tiempo o cuentan con un número de datos inferior a 24, el estándar considera como línea base, la CLBDi, definida para las aguas superficiales, completando de este modo el total de variables críticas consideradas en el cálculo del II.

ESCENARIOS

SIN IMPACTO

Cuando la concentración de la variable crítica "i", es igual o menor a su respectiva concentración de línea base, es decir $C_{i,j} \leq CLB_i$, entonces $II \leq 1$.

CON POTENCIAL IMPACTO

Cuando la concentración de la variable crítica "i", supera su respectiva concentración de línea base, es decir $C_{i,j} > CLB_i$, entonces $II > 1$. La interpretación de este escenario y sus implicancias se detallan en el Punto 5. Generación de eventos y alertas.

6. Aquellos proyectos que cuenten con RCA aprobadas, antes de la implementación del estándar Programa Tranque, podrán considerar las concentraciones indicadas en dichos documentos como CLBi, completando las concentraciones de las variables faltantes con la metodología del estándar para CLBHi o CLBDi.
7. Para la variable pH, además del cálculo de P 97,7 ó P 90, se calcula el P 2,3 ó P 10, por tratarse de una variable bidireccional y, por ende con dos límites, superior e inferior.

ÍNDICE DE RIESGO (IR)

asociado al uso de las aguas circundantes a un depósito de relaves

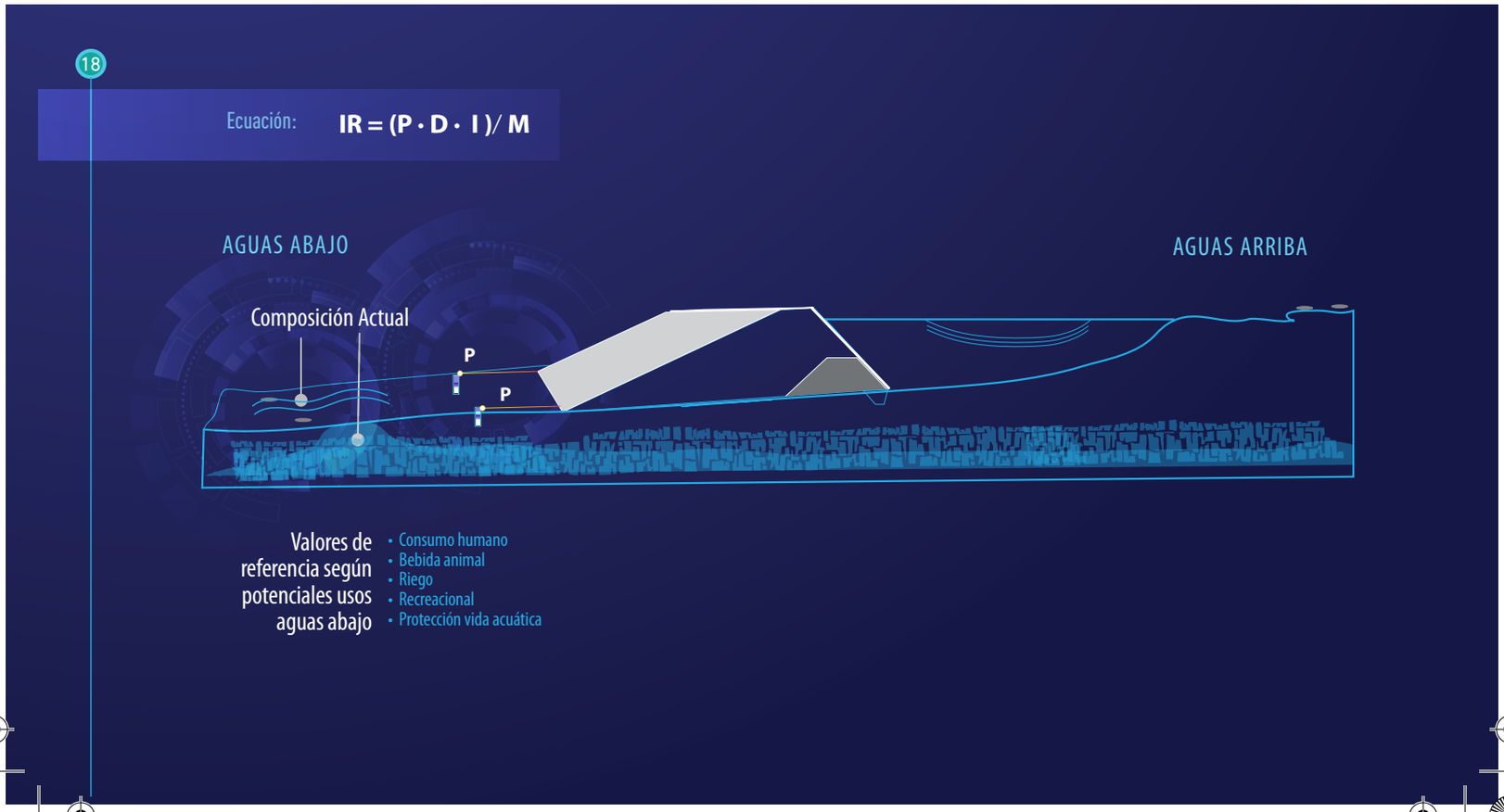
DESCRIPCIÓN

Este índice busca identificar una potencial situación de riesgo para la salud de las personas o el medio ambiente, aguas abajo de un depósito de relaves. Los datos requeridos para su cálculo corresponden a aquellas variables críticas ingresadas por el usuario (Ver detalle en el Punto 2. Datos de monitoreo), y la frecuencia de cálculo en condiciones normales es mensual. Finalmente, se debe tener en cuenta que el IR es independiente para cada matriz evaluada, es decir, se tiene un IR para aguas subterráneas y otro para superficiales.

LÓGICA DE CÁLCULO

La lógica de cálculo de esta herramienta considera la comparación de las concentraciones de las variables críticas aguas abajo del depósito (datos actuales), según se muestra en la Figura 5, con valores de referencia (VR) según uso, que representan los límites máximos permitidos según normativa chilena y en algunos casos, complementados con normativa peruana. En el estándar se evalúan un total de cinco posibles usos: riego, consumo humano, bebida animal, recreacional y protección de la vida acuática y son configurados por la compañía minera en la plataforma según acordado a los usos efectivos de las aguas naturales aguas abajo del depósito, pudiendo ser distintos para aguas subterráneas o superficiales.

FIGURA 5.
Fuentes de datos para aplicación de índice de riesgo asociado al uso de aguas circundantes.



El cálculo del IR está definido por la siguiente ecuación:

$$IR^{8} = (P \times D \times I)/M$$

Donde:

IR IR es el índice de riesgo.

P es la sumatoria de las distancias entre el muro del depósito y los puntos de monitoreo donde se produce superación del VR. La distancia entre el muro y los puntos de monitoreo debe ser parametrizado en la interfaz de la compañía minera.

D es el contador de superación que corresponde al número total de veces (o situaciones) que un VR es excedido. Este contador vuelve a cero (0) cada vez que el valor de "I" sea cero (0), por el contrario si esto no es así, el contador seguirá aumentando.

M es la sumatoria de las distancias de todos los puntos de monitoreo considerados en el cálculo, hasta el depósito.

I es la severidad de la superación, cuyo cálculo se especifica a continuación:

$$I = \frac{1}{2}\left(\tanh\left(\frac{C_{ij} - C_{fi}}{C_{fi}/2}\right) + 1\right)$$

Donde:

C_{ij} es la concentración de la variable crítica "i" en el punto de monitoreo "j".

C_{fi} es la concentración del VR considerado para la variable crítica "i", según el uso de las aguas superficiales o subterráneas aguas abajo del depósito.

El cálculo de "I" responde a una normalización de las concentraciones, que depende de la variable a normalizar, por lo que el valor de "I" se encuentra entre 0 y 1. Tal como se ha indicado, "I" representa la severidad de la superación. En el caso que sean varios valores de referencia superados, el valor a utilizar corresponde a la superación más elevada.

Es importante considerar que no todas las variables críticas entran al cálculo del IR, si no que esto va a depender de sus concentraciones en el sector sin influencia del depósito. De este modo previamente se comparan las concentraciones de las variables críticas aguas arriba con los valores de referencia (VR) determinados según el uso aguas abajo, de modo que si algún VR es superado, dichas variables quedan excluidas del cálculo. Esta comparación se hace por variable y por punto de monitoreo, por lo que es suficiente que la condición se dé en un solo punto de monitoreo para que dicha variable no sea considerada. En el caso de que en un mes no se cuenten con datos o de que directamente no existan puntos de monitoreo aguas arriba, la comparación se realiza con las concentraciones aprobadas en la línea base del proyecto, aprobada según permisos ambientales (RCA). Esta exclusión quedará debidamente registrada en la plataforma e informada a los correspondientes usuarios.

8. Adaptado de Development of water quality management indices. Truttt et al., 1975.

En la Tabla 1, se detallan los valores de referencia establecidos por el estándar para cada variable crítica de acuerdo al uso del agua aguas abajo del depósito.

Tal como se ha mencionado, en el estándar el cálculo del IR se considera para el total de las variables críticas según el uso que sea definido aguas abajo del depósito, esto mediante la comparación de sus concentraciones con los VR indicados[9].

ESCENARIOS

SIN RIESGO

Cuando la concentración de la variable crítica "i", es menor a la concentración del VR considerado para la variable "i", según el uso de las aguas superficiales o subterráneas aguas abajo del depósito, es decir, el IR=0.

CON POTENCIAL RIESGO

Cuando la concentración de la variable crítica "i", supera la concentración del VR considerado para la variable "i", según el uso de las aguas superficiales o subterráneas aguas abajo del depósito, es decir, el IR>0. La interpretación de este escenario y sus implicancias se detallan en el Punto 5. Generación de eventos y alertas.

9. Este estándar acoge aquellos depósitos que adquieran sus compromisos ambientales (RCA) posterior a la implementación a nivel nacional del estándar Programa Tranque (situación greenfield). Por el contrario, los proyectos que ya cuentan con compromisos ambientales en ese momento tendrán que calcular el IR para dos escenarios: 1) Cálculo de acuerdo a estándar completo (para comunicación a usuario Autoridad) y 2) Cálculo parcial del estándar acorde a sus compromisos RCA (para comunicación a usuario Comunidad); es decir considerando sólo aquellas variables, usos, frecuencias y VR establecidos por sus respectivas RCA (situación brownfield).

Tabla 1. Valores de referencia (VR) establecidos por el estándar para cada variable crítica.

Variables y unidades consideradas para el IR		Valores de referencia (VR) según diferentes usos			
		Uso Consumo humano Bebida animal (A)	Uso Riego (B)	Uso Recreacional (C)	Uso Protección vida acuática (D)
CE (terreno)	µS/cm a 25°C	1500 (*)	750	-	1000 (***)
pH (terreno)	Adimensional	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	6,0 – 8,5	6,0 – 9,0
Aluminio (Al)	mg/L	0,9 (*)	5	0,2 (**)	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0,02 (*)	-	0,006 (**)	0,61 (***)
Arsénico (As)	mg/L	0,01	0,1	0,11	0,15 (***)
Berilio (Be)	mg/L	0,012 (*)	0,1	0,04 (**)	-
Boro (B)	mg/L	2,4 (*)	0,75	0,5 (**)	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0,01	0,01	0,033	0,00025 (***)
Cianuro (CN^-)	mg/L	0,05	0,2	0,77	0,0052 (***)
Cloruros (Cl^-)	mg/L	400	200	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	-	0,05	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	2	0,2	2 (**)	0,1 (***)
Cromo (Cr)	mg/L	0,05	0,1	0,55	0,011 (***)
Fluoruros (F^-)	mg/L	1,5	1	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0,3	5	0,3 (**)	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0,1	0,2	0,1 (**)	-
Mercurio (Hg)	mg/L	0,001	0,001	0,011	0,0001 (***)
Molibdeno (Mo)	mg/L	0,07 (*)	0,01	-	-
Níquel (Ni)	mg/L	0,07 (*)	0,2	0,02 (**)	0,052 (***)
Plomo (Pb)	mg/L	0,05	5	0,11	0,0025 (***)
Selenio (Se)	mg/L	0,01	0,02	0,01 (**)	0,005 (***)
Sulfatos (SO_4^{2-})	mg/L	500	250	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	3	2	3 (**)	0,12 (***)

(A) NCh 409/1 Of.2005: Norma de calidad de agua para uso potable.
(B) NCh 1333 Of.1978: Requisito de calidad de aguas para diferentes usos. 6 Requisitos del agua para riego.
(C) NCh 1333: Of.1978: Requisito de calidad de aguas para diferentes usos. 7.2 Recreación con contacto directo. DS 143: Norma de calidad primaria para las aguas continentales superficiales aptas para recreación con contacto directo.
(D) NCh 1333: Of.1978: Requisito de calidad de aguas para diferentes usos. 8 Requisitos para agua destinada a vida acuática.
(*) Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM Perú- Categoría 1: Poblacional y Recreacional. Subcategoría A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.
(**) Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM Perú- Categoría 1: Poblacional y Recreacional. Subcategoría B: Aguas Superficiales destinada a Recreación.
(***) Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM Perú- Categoría 4: Conservación del ambiente acuático. Subcategoría E1: Lagunas y Lagos. Subcategoría E2: Ríos.

SISTEMA DE GESTIÓN TEMPRANA (SGT)

DESCRIPCIÓN

Esta herramienta entrega información en tiempo real de las características fisicoquímicas de las aguas a través del seguimiento de las variables críticas ingresadas desde los sensores en terreno (Ver detalle en el Punto 2. Datos de monitoreo), permitiendo identificar tempranamente desviaciones respecto a las condiciones esperadas. La frecuencia de medición es variable, según se monitorea agua superficial o subterránea.

LÓGICA DE ANÁLISIS

La lógica de análisis se basa en la comparación continua de las mediciones en situación actual de las variables críticas (dato actual) respecto de su comportamiento en el tiempo (dato histórico).

El seguimiento de estas variables críticas se realiza con sensores ubicados en puntos de monitoreo aguas arriba y abajo del depósito, de manera de poder evaluar el depósito en su conjunto, considerando siempre tanto las aguas superficiales como subterráneas. La frecuencia de cálculo establecida por el estándar para el SGT es de 1 hora en el caso de las aguas superficiales, coincidiendo con la frecuencia que la DGA utiliza en sus estaciones de monitoreo, y de 8 horas para las aguas subterráneas.

La compañía minera está en la obligación de calibrar y mantener los equipos de monitoreo operativos, de manera de asegurar la calidad de los datos.

ESCENARIOS

SIN DESVIACIÓN

Si la medición de la variable crítica "i" se ajusta a la situación histórica.

CON POTENCIAL DESVIACIÓN

Si la medición de la variable crítica "i" no se ajusta a la situación histórica, entonces el SGT indica una potencial desviación que puede constituir un evento relacionado con la operación del depósito. La interpretación de este escenario y sus implicancias se detallan en el Punto 5. Generación de eventos y alertas.

ANÁLISIS DE TENDENCIAS (ADT)

DESCRIPCIÓN

Esta herramienta busca detectar eventos no deseados en el tiempo asociados al desempeño de los depósitos de relaves en su relación con el medio donde se emplaza, mediante el seguimiento y la evaluación continua de todas las variables críticas definidas por el estándar para el monitoreo de las aguas circundantes, es decir tanto de las variables críticas ingresadas por el usuario como por sensores (Ver detalle en el Punto 2. Datos de monitoreo). La frecuencia de medición varía, según la variable crítica que se monitorea.

LÓGICA DE CÁLCULO

La lógica del ADT es la proyección en el tiempo de las variables críticas, mediante el análisis de series de tiempo aplicando Modelos Autorregresivos Integrados de Media Móvil (ARIMA). Una vez que se ha determinado el tipo de relación de las variables, es posible predecir su comportamiento y determinar las posibles periodicidades del sistema, de manera de poder identificar tempranamente posibles afectaciones futuras comparando las series con valores de referencia según el uso definido por el usuario. Las proyecciones se basan en una relación 4:1, siendo la recomendación contar con 4 años de datos para predecir 1 año. Los resultados del ADT son más robustos y confiables cuando más datos alimenten la herramienta.

La frecuencia para el cálculo de esta herramienta depende de la entrada de datos a la plataforma. Tal como se ha indicado, para los datos ingresados por el usuario a través de la planilla de carga masiva, la frecuencia es mensual, mientras que las frecuencias de los datos ingresados desde sensores son de 1 hora para aguas superficiales y de 8 horas para aguas subterráneas.

ESCENARIOS

SIN SUPERACIÓN

Si en la proyección estimada para la variable crítica "i", su concentración no supera el VR para un uso determinado.

CON POTENCIAL SUPERACIÓN

Si en la proyección estimada para la variable crítica "i", su concentración supera el VR para un uso determinado, entonces el ADT indica potencial superación. La interpretación de este escenario y sus implicancias se detallan en el Punto 5. Generación de eventos y alertas.

5. GENERACIÓN DE EVENTOS Y ALERTAS

El estándar define como **evento** cualquier condición de superación o desviación de alguna de las herramientas EMAC. A su vez define como **alerta** cuando estas superaciones o desviaciones adquieren un carácter significativo al darse una serie de criterios predefinidos.

Los tipos de alerta considerados son:

- **Alerta preventiva temprana**: condición de las aguas circundantes aguas abajo del depósito bajo la cuál no se activa la respectiva herramienta EMAC y se mantiene el monitoreo permanente de las aguas.
- **Alerta amarilla**: condición de las aguas circundantes aguas abajo del depósito bajo la cuál se activa la respectiva herramienta EMAC, se intensifica el monitoreo, se evalúan las causas y eventualmente se establecen nuevas medidas de control por parte de la compañía minera y la autoridad.
- **Alerta roja**: condición de las aguas circundantes aguas abajo del depósito bajo la cuál se activa la respectiva herramienta EMAC y se requiere la implementación urgente de medidas de control por parte de la compañía minera y de la autoridad para el resguardo de las comunidades que habitan en el territorio o el medio ambiente del entorno.

Son varios los escenarios que pueden arrojar como resultado las herramientas EMAC, siendo los deseados aquellos que indican que no hay potenciales superaciones o desviaciones.

Si bien la plataforma indica al usuario potenciales situaciones anómalas del sistema, no todos los eventos, anteriormente mencionados, gatillan una alerta, sino que en el estándar se han establecido una serie de criterios que deben cumplirse antes de generar una alerta propiamente tal.

Los criterios para generar alertas difieren para cada herramienta según se detalla a continuación.

ÍNDICE DE IMPACTO (II)

sobre las aguas circundantes a un depósito de relaves

En el II, tanto los estados como los criterios que generan una alerta dependen de si se evalúa el agua subterránea o superficial.

Estados "alerta preventiva temprana" y "alerta amarilla" en aguas subterráneas

De acuerdo a los posibles escenarios para el II, que han sido indicados en el punto anterior (Punto 4. Cálculo de herramientas EMAC), los estados generados pueden ser:

- Alerta preventiva temprana. Sucede en escenario sin impacto (II ≤ 1).
- Alerta preventiva temprana indicando un evento. Sucede en escenario con potencial impacto (II > 1).
- Alerta amarilla. Sucede en escenario con potencial impacto (II > 1) y ocurriendo cualquiera de las dos situaciones indicadas a continuación:

1. **Alerta por repetición**. Sucede cuando existe superación de 1 variable crítica "i" en el mismo punto de monitoreo al menos 3 meses consecutivos.
2. **Alerta por extensión**. Sucede cuando existe superación de 1 variable crítica "i" en más de 1 punto de monitoreo el mismo mes.

Estados "alerta preventiva temprana" y "alerta amarilla" en aguas superficiales

En este caso los estados de alerta preventiva temprana son coincidentes con el agua subterránea, pero no así en el caso de alerta amarilla, que tal como se indica, se genera de manera inmediata.

- Alerta amarilla. Sucede en escenario con potencial impacto (II > 1) y ocurriendo la siguiente situación:

1. **Alerta por superación**. Sucede cuando se supera 1 variable crítica "i" en un punto de monitoreo "j". En esta situación se solicita una contramuestra en 48 horas, de manera de confirmar tal superación.

ÍNDICE DE RIESGO (IR)

asociado al uso de las aguas circundantes a un depósito de relaves

En el IR, tal como ocurre en el II, los estados y criterios que generan una alerta dependen de si se evalúa el agua subterránea o superficial.

1. Estados "alerta preventiva temprana" y "alerta amarilla" en aguas subterráneas

De acuerdo a los posibles escenarios para el IR, que han sido indicados en el punto anterior (Punto 4. Cálculo de herramientas EMAC), los estados generados pueden ser:

- Alerta preventiva temprana. Sucede en escenario sin riesgo (IR = 0).
- Alerta preventiva temprana indicando un evento. Sucede en escenario con potencial riesgo (IR > 0).
- Alerta amarilla. Sucede en escenario con potencial riesgo (IR > 0) y ocurriendo cualquiera de las dos situaciones indicadas a continuación:

• **Alerta por repetición**. Sucede cuando existe superación de 1 VR en el mismo punto de monitoreo al menos 3 meses consecutivos.

• **Alerta por extensión**. Sucede cuando existe superación de 1 VR en más de 1 punto de monitoreo el mismo mes.

2. Estados "alerta preventiva temprana" y "alerta amarilla" en aguas superficiales

Del mismo modo, los estados de alerta preventiva temprana son coincidentes con el agua subterránea, pero no así en el caso de alerta amarilla, que tal como se indica, se genera de manera inmediata.

- Alerta amarilla. Sucede en escenario con potencial riesgo (IR > 0) y ocurriendo la siguiente situación.

• **Alerta por superación**. Sucede cuando se supera 1 VR. En esta situación se solicita una contramuestra en 48 horas, de manera de confirmar tal superación.

3. Estado de "alerta roja"

El estándar de monitoreo considera que este tipo de alerta será declarada únicamente por la autoridad, quién tiene la competencia para modificar el estado de alerta amarilla a roja, si lo estima necesario[10].

SISTEMA DE GESTIÓN TEMPRANA (SGT)

La plataforma emite notificaciones en calidad de eventos, sobre las potenciales desviaciones que se generan tras el cálculo del SGT, a las compañías mineras, para su conocimiento y gestión interna. Esta herramienta por sí sola no es conducente a generación de alertas.

ANÁLISIS DE TENDENCIAS (ADT)

La plataforma emite notificaciones en calidad de eventos, sobre las potenciales superaciones que se generan tras el cálculo del ADT, a las compañías mineras, para su conocimiento y gestión interna. Esta herramienta por sí sola no es conducente a generación de alertas.

10. Es responsabilidad del Estado comprobar que las situaciones de alerta arrojadas en los pozos y punto de monitoreo de las compañías mineras se manifiestan también en los pozos y punto de uso de las aguas circundantes en el territorio aguas abajo.

6. VISUALIZACIÓN Y COMUNICACIÓN

El estándar ha desarrollado una **plataforma** que cuenta con interfaces específicas para cada usuario que permiten la visualización de la información generada en el proceso de evaluación y monitoreo de las aguas circundantes a un depósito de relaves. El sistema contempla un diseño específico a nivel de contenido y funcionalidad por usuario (compañía minera, autoridad y comunidad). Las diferencias para cada interfaz se detallan a continuación:

- **Interfaz compañía minera**: interfaz de gestión interna preventiva de la compañía minera que tiene por objetivo la evaluación y monitoreo de las aguas circundantes a su depósito mediante las 4 herramientas EMAC (IR, II, SGT, ADT). La interfaz permite a este usuario revisar los resultados, en la plataforma, para cada una de las herramientas, pudiendo detectar exactamente qué variables críticas superan un VR, la desviación en una tendencia o cualquier anomalía en los datos provenientes de los sensores instalados en terreno, entre otros. Asimismo, cumple otras funciones importantes como repositorio de datos de monitoreo, certificados de calidad de los laboratorios y cartillas de mantención de equipos; estado de los puntos de monitoreo y sensores en terreno; registro de eventos y alertas asociadas a los distintos escenarios posibles y a qué usuarios son comunicados. Finalmente, la plataforma tiene la capacidad de ser un sistema de comunicación activa entre la compañía minera y el resto de los usuarios.

Cada uno de los módulos funcionales de la interfaz debe ser parametrizado por la compañía minera para su funcionamiento. La parametrización considera entre otros, información de los puntos de monitoreo, uso o VRs con qué compararse.

Finalmente, indicar que los acuerdos tomados para el IR en relación a las situaciones *greenfield/brownfield* se reflejan directamente en la visualización y comunicación de resultados de esta herramienta (Ver detalle en el Punto 4. Cálculo herramientas EMAC).

- **Interfaz autoridad**: interfaz de gestión interna de la autoridad que tiene por objeto conocer la situación en los que se encuentran los distintos depósitos de relaves del país, en relación al II e IR. La autoridad cuenta con un repositorio completo de los eventos y alertas asociados a estas dos herramientas en el tiempo, y puede solicitar datos a las compañías mineras que aseguren el control de los depósitos. Tal como se ha mencionado anteriormente, la plataforma permite tener una comunicación directa tanto con la compañía minera ya que le permite solicitar información en el caso de que así lo considere, como con las comunidades pudiendo emitir mensajes informativos sobre las situaciones visibles en la interfaz comunidad. Finalmente, se debe recordar que la plataforma permite a la autoridad declarar una alerta roja asociada al estado de las aguas circundantes al depósito, si así es determinado.

- **Interfaz comunidad**: web de información pública que tiene por objeto informar a las comunidades cercanas a los depósitos de relaves sobre su situación respecto al IR. Los depósitos en situación *greenfield* reportan al completo la herramienta en base al estándar, mientras que aquellos en situación *brownfield* reportan la herramienta en base a sus compromisos ambientales. Asimismo, la comunidad tiene información de cuáles son los puntos de monitoreo o de cuáles son los valores de referencia considerados el cálculo.

Todas las interfaces tienen la capacidad de visualizar y desplegar información apropiada a cada usuario en situación de alerta.

programa tranque

Monitoreo de avanzada para una minería responsable

AGRADECIMIENTOS

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

Este documento es un aporte para llevar su gestión a los más altos niveles, convirtiendo a Chile en un líder en esta materia. Un trabajo que fue posible gracias a la colaboración y esfuerzo de muchos profesionales a los que queremos agradecer:

- Nélida Heresi, Asesor Independiente
- Verónica Gautier, Profesional de proyectos, Fundación Chile (*)
- Bryan Casanova, Independiente
- Jutta Hoppe, Profesional de Proyectos, Fundación Chile (*)
- Iván Honorato, Jefe Unidad de Programación División de Fiscalización, SMA (*)
- Patricio Walker, Jefe Sección de Recursos Hídricos y Territorio, División de Fiscalización, SMA
- Sergio Vilches, Profesional de la División de Fiscalización, Sección de Recursos Hídricos y Territorio, SMA
- Leandro Herrera, Ingeniero de Estabilidad Química de Depósitos de Relaves, SERNAGEOMIN (*)
- Gullibert Novoa, Coordinador Unidad de Relaves, SERNAGEOMIN
- Jorge Vargas, Jefe del Departamento Grandes Proyectos y Relaves, SERNAGEOMIN
- Mariano Gajardo, Ingeniero de proyectos, Departamento de evaluación de Proyectos Mineros, SERNAGEOMIN
- René Orellana, Gerente Corporativo de Aguas, Relaves y Proyectos, CODELCO
- René Pérez, Superintendente de Recursos Hídricos, División Andina, CODELCO
- Patricio Chávez, Vicepresidente de Asuntos Corporativos y Sustentabilidad, CODELCO (*)
- Daniela Fredes, Analista Unidad de Desarrollo Ambiental, Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos, DGA
- Carlos Quintana, Analista de Evaluación y Fiscalización Ambiental, Departamento Conservación y Protección de Recursos Hídricos, DGA
- Víctor Valdebenito, Jefe de Monitoreo Ambiental, Minera Los Pelambres
- Rodrigo Moya, Gerente Proyecto Desarrollo, AMSA
- Jaime Henríquez, Gerente de Permisos Compañía Minera Spence Limitada, BHP (*)
- Cleve Lightfoot, Gerente de Tecnología Cobre de Metales Base, BHP
- Claudia Hernández, Principal Strategy Minerals Americas, Technology and Innovation, BHP
- Bárbara Morchio, Principal Medio Ambiente, BHP
- María de la Luz Vásquez, Profesional Departamento de Medio Ambiente, División de Desarrollo Sustentable, Ministerio de Minería
- Valeria Berríos, Ingeniero de Relaves, ENAMI
- Sebastián Urbano, Jefe de Ingeniería, ENAMI
- Osvaldo Alarcón, Ingeniero de Proyectos Procesos Metalúrgicos – Industrial, ENAMI
- Juan Ignacio Olivares, Ingeniero de Procesos, ENAMI

Fundación Chile

Equipo Desarrollador

- Angela Oblasser, Subgerente Sustentabilidad
- Carla Calderón, Profesional de Proyecto
- Raquel Charte, Profesional de Proyecto
- Cristóbal Girardi, Jefe de Proyecto
- Andrés Delzo, Profesional de Proyecto

Equipo de Apoyo

- Cecilia Vidal, Líder Sustentabilidad
- Martín Fuentes, Profesional de Proyecto
- Débora Gomberoff, Profesional de Proyecto
- Víctor Moral, Profesional de Proyecto

(*) A la fecha de esta publicación, estas personas ya no trabajan en las instituciones mencionadas