



DRENAJES ÁCIDOS MINEROS



La NUEVA ENERGÍA

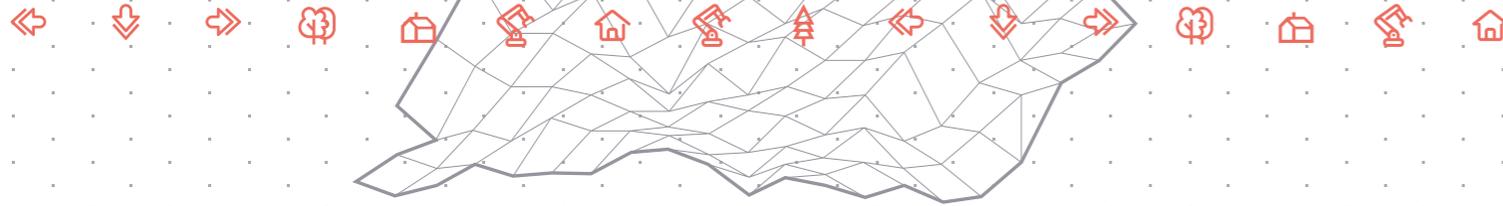
Propuesta de **Lineamientos Técnicos**  
de **Política de Buenas Prácticas** para



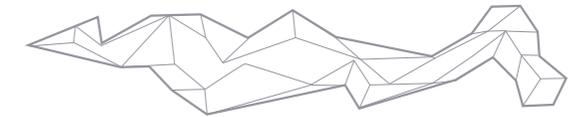
Estandarizar los procesos relacionados con  
**DRENAJES ÁCIDOS MINEROS (DAM)**



**ATG** ASESORÍAS TÉCNICAS  
GEOLÓGICAS  
ATG LTDA.



Propuesta de **Lineamientos Técnicos**  
de **Política de Buenas Prácticas** para



# Estandarizar los procesos relacionados con **DRENAJES ÁCIDOS MINEROS (DAM)**

Contrato de Consulta **GGC-468-2020**

Ministerio de Minas y Energía  
Dirección de Minería Empresarial  
Asesorías Técnicas Geológicas ATG Ltda.

@ Propuesta de Lineamientos Técnicos de Política  
de Buenas Prácticas para Estandarizar los procesos  
relacionados con Drenajes Ácidos Mineros (DAM)

## Elaboración

Equipo Técnico //

**Mauricio Alfonso R.** Gerencia del Proyecto  
**Olga López M.** Dirección del Proyecto  
**Paola Martínez A.** Ingeniería Ambiental  
**Ruber Teherán G.** Ingeniería de Minas  
**Nubia Barragán G.** Geotecnia  
**Rafael Meneses R.** Control y Aseguramiento  
de Calidad

**Oscar Herrán T.** Ingeniería Ambiental  
**Jorge Bonilla L.** Ingeniería Ambiental  
**Natalia Velandía P.** Profesional Transversal

Equipo Diseño Editorial e Ilustración //

**Daniel Jiménez** Dirección de Arte  
**Hansel Martínez** Diseño & Diagramación

Marzo de 2021

40 páginas : ilustraciones ; 21 x 18 cm

Contacto:  
[menergia@minenergia.gov.co](mailto:menergia@minenergia.gov.co)

© Prohibida la reproducción parcial en cualquier medio,  
sin permiso escrito de los titulares del copyright.



LA NUEVA  
ENERGÍA

**ATG** ASERORÍAS TÉCNICAS  
GEOLÓGICAS  
ATG LTDA.

# CONTENIDO

01



## Drenajes Ácidos

Página 06

02



## Tipo de Drenaje

Página 10

03



## Generación del Potencial Ácido

Página 12

04



## Prevención, control y tratamiento

Página 20

05



## Monitoreo y Vigilancia

Página 24

06



## Gestión del Riesgo

Página 29

07



## Buenas Prácticas

Página 32

08



## Economía Circular

Página 36

09



## Conclusiones

Página 38





# 01

## Drenajes Ácidos Mineros (DAM)

### ¿Qué es el Drenaje Ácido?

¿Sabía que hay un drenaje ácido conocido como Drenaje Ácido de Roca (DAR) y que se presenta de manera natural?

El DAR se forma por la oxidación natural de minerales sulfurosos cuando son expuestos al aire y al agua. Pero si las actividades que son desarrolladas en el proyecto minero exponen el material sulfuroso al agua y al aire, el drenaje resultante es Drenaje Ácido Minero (DAM).



Imágen tomada de: twitter//Fernando Berdugo @fercho\_27



Figura 1

Trayectoria del DAM Fuente: ATG Ltda., 2020.

## ¿Cómo manejar el DAM a lo largo del ciclo de vida del proyecto minero?

### Convenciones

#### 1 Prevención, control y tratamiento

Limitar la interacción de los factores en el proceso del DAM.  
Controlar proceso de generación de DAM.  
Tratar aguas residuales con DAM.

#### 2 Monitoreo y Vigilancia

Fuentes potencialmente generadoras /  
Rutas de exposición / Receptores

#### 3 Gestión del Riesgo

Conocimiento, reducción y manejo del riesgo.

#### 4 Predicción

Figura 2

Manejo del DAM en el ciclo de vida del proyecto. Fuente: ATG Ltda., 2020.



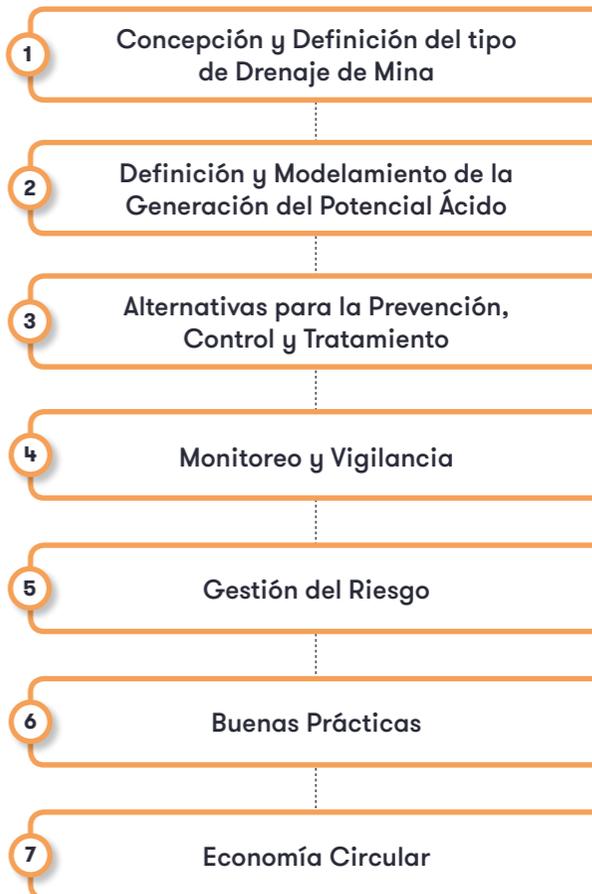
## Todos los proyectos mineros deben implementar medidas asociadas a DAM

Independiente del estado de avance de nuestro proyecto minero, todos podemos ayudar a prevenir y controlar el DAM:



## Quiero prevenir y controlar al DAM, pero ¿qué debo hacer?

Se han definido las siguientes **líneas estratégicas** que les pueden ayudar a identificar las actividades específicas a desarrollar. Para cada línea estratégica se establecieron lineamientos.





# 02

## Tipo de Drenaje

Reúne las técnicas que permiten definir el tipo de drenaje presente en un depósito mineral y determinar su nivel de acidez o solubilidad.

### Lineamiento 1

Categorizar el tipo de drenaje

#### Al inicio del proyecto



Determinar preliminarmente el **grado de acidez** o solubilidad de un depósito mineral.

#### ¿Cómo determinar el tipo de drenaje?

- ✓ En las áreas o zonas a explorar se debe realizar muestreo de rocas mineralizadas.
- ✓ Prueba de titulación de pH y de ser necesario, análisis estático.



Imagen tomada de: flick // Miguel Gonzalez Novo



Tenga en cuenta que el drenaje mineral (DM) se puede clasificar en:

- ✓ **Drenaje Mineralico Ácido (DMA):**  
Rangos de pH **menores a 6**, elevados contenidos de sulfatos y frecuentemente un contenido significativo de metales disueltos.
- ✓ **Drenaje Mineralico Neutro (DMN):**  
pH **mayor a 6** y elevada concentración de metales en solución en pH cercanos al neutro.
- ✓ **Drenaje Mineralico Alcalino (DMAL):**  
pH **mayor a 6**.
- ✓ **Drenaje Mineralico Salino (DMS):**  
Contiene elevados niveles de sulfato en rangos de pH **cercanos al neutro** sin una carga significativa de metales en solución, siendo sus principales constituyentes el sulfato, magnesio y calcio.



# 03

## Generación del Potencial Ácido

### Definición y modelamiento de la generación del potencial ácido

Hace referencia a las técnicas que permiten predecir y caracterizar la generación del DAM y los procedimientos para determinar los factores involucrados en la generación de este potencial, provenientes tanto de las explotaciones como de las diversas fuentes generadoras de drenaje ácido durante las diferentes etapas de un proyecto minero, desde el inicio de la exploración hasta el cierre y post cierre de la operación minera.

#### Lineamiento 1

Definir, caracterizar y modelar la generación del potencial ácido **durante la etapa de exploración**

#### Lineamiento 2

Definir, caracterizar y modelar la generación del potencial ácido **durante la etapa de construcción y montaje**

#### Lineamiento 3

Definir, caracterizar y modelar la generación del potencial ácido **durante la etapa de explotación**

#### Lineamiento 4

Definir, caracterizar y modelar la generación del potencial ácido **durante la etapa de cierre y post cierre.**

### Durante la Exploración



Se debe realizar la **caracterización fisicoquímica** de la roca y del mineral.

#### ¿Cómo hacerlo?

- ✓ **Recolección selectiva y espacial de muestras en:** Núcleos, afloramientos, túneles exploratorios, rocas encajantes o respaldos, intervalos litológicos.
- ✓ **Determinar:** Litología, alteraciones, mineralogía, pH.
- ✓ **Análisis ácido - base descriptivo, para obtener:** Potencial de acidez [PA] / Potencial de Neutralización [PN].



Recuerde que:

Si PN/PA < 3 **Hacer análisis cinético**  
Si PN/PA < 1 **Debes hacer prueba de toxicidad**



También se debe realizar la **caracterización hidrológica** del área a intervenir.

#### ¿Qué factores intervienen?

- ✓ Delimitación de la cuenca hidrográfica.
- ✓ Caudales multianuales.
- ✓ Registros de precipitación.
- ✓ Registro diario de temperatura.
- ✓ Estimación de periodos de sequía, evapotranspiración.
- ✓ Variabilidad climática.
- ✓ Procesos por cambio climático.
- ✓ **Se obtiene** Modelo hidrológico conceptual y Balance hídrico del área.

## Al finalizar la Exploración



Es importante **definir el estado de la predicción**: Se debe conocer y determinar el nivel de generación de potencial ácido.

### ¿Cómo se define el estado de predicción?

- ✓ Resultados del análisis mineralógico.
- ✓ Desarrollo del modelo geológico.
- ✓ Resultados de pruebas estáticas.
- ✓ Modelo geoquímico conceptual.
- ✓ Simulación de la generación del potencial ácido.



**Tenga en cuenta que:**

Estos resultados preliminares permitirán que en la fase de planeamiento de la mina **se considere o no** el tratamiento de los drenajes ácidos que podrían generarse en la fase de explotación y cierre de la operación minera.

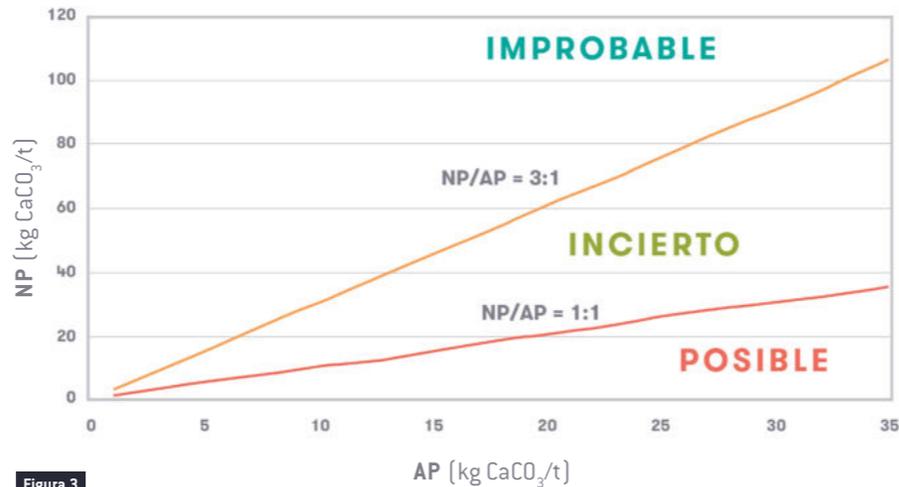
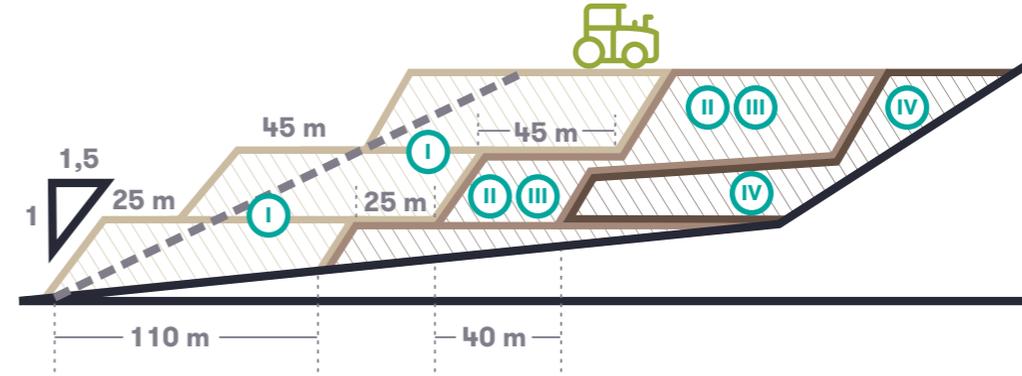


Figura 3

Relación entre los potenciales de neutralización y acidez de residuos mineros. Fuente: Drenaje ácido de mina, generación y tratamiento, España [2006]

Figura 4

Diseño de una escombrera de mina teniendo en cuenta la relación ácida/base de los materiales a depositar. Fuente: Drenaje ácido de mina, generación y tratamiento, España [2006]



### Convenciones

- I No forma acidez.
- II Bajo formador de acidez.
- III Alto formador de acidez.
- IV Extremo formador de acidez.

## Planeamiento y Diseño



Establecer los **planes de caracterización y predicción** durante la etapa de explotación y cierre de la operación minera

### ¿Cómo establecer los planes?

- ✓ Programación para manejo selectivo del material con capacidad de reacción.
- ✓ Programa de muestreo en roca y mineral y del agua.
- ✓ Programación de las pruebas (estáticas y cinéticas).
- ✓ Elaboración de línea base de calidad de agua.
- ✓ Evaluación de incertidumbres y riesgos

- ✓ Diseño y programación del monitoreo durante la vida de la mina.

### ¿Qué información se requiere?

- ✓ Volúmenes de roca y de mineral.
- ✓ Modelo geológico.
- ✓ Modelo geoquímico.
- ✓ Modelamiento de bloques.
- ✓ Balance de agua y carga.
- ✓ Modelo hidrogeológico.



**Tenga en cuenta que:** Se hace necesario que los planes de caracterización y predicción del DAM, sean **tenidos en cuenta en el Programa de Trabajos y Obras (PTO)**.

## En Construcción y Montaje



**Determinar** la generación de potencial ácido en la construcción y montaje de obras y facilidades mineras.

### ¿Cómo determinar el DAM en las obras?

- ✓ Mapeo de zonas mineralizadas y zonas estériles.
- ✓ Litología, alteraciones, mineralogía.
- ✓ Determinar pH.
- ✓ Volúmenes de estéril y mineral.
- ✓ Información hidrológica e hidrogeológica.
- ✓ Pruebas estáticas y cinéticas.



*Tenga en cuenta que: Se debe **caracterizar el material** en obras de excavación u otros procesos de movimiento de tierras.*



## Durante la Explotación



Determinar la generación de potencial ácido en explotaciones a cielo abierto y/o explotaciones subterráneas.

### ¿Cómo determinar el DAM en las explotaciones?

- ✓ Geología regional y de los frentes de explotación.
- ✓ Mapeo de zonas mineralizadas y zonas estériles.
- ✓ Volúmenes de estéril y mineral.
- ✓ Muestreo de superficies descubiertas, (taludes, bancos, etc.), como bajo tierra (galerías, cruzadas, chimeneas, etc)
- ✓ Determinación de minerales capaces de producir ácido y/o neutralizar.
- ✓ Información hidrológica y climatología.
- ✓ Determinación de caudales e información sobre permeabilidad e impermeabilidad del sistema.
- ✓ Pruebas estáticas y cinéticas.



*Tenga en cuenta: Determinar el material de reacción para su **posterior manejo selectivo**.*

Fuente Imágenes ▶

Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras, Chile (2015)

## Potencial ácido en otras fuentes

### Botaderos



**Historia del depósito:** Método de disposición del material y edad del botadero, volúmenes depositados, secuencia de llenado, granulometría.

**Planificación del depósito:** Diseño del botadero y disposición del material con capacidad de reacción, según tipo de material proveniente del yacimiento (oro, cobre, hierro, carbón).

**Geología:** litología, alteración y mineralogía del material en deposición.

**Modelo de bloques y leyes:** Sectores que contienen cuerpo mineralizado. Información sobre coordenadas, nivel, mineral total, mineral soluble, mineralizaciones, densidad, leyes.

**Pruebas de material y de agua:** Pruebas estáticas de los materiales, determinar pH, concentración de sulfuros y minerales, detallando los metales y metaloides presentes. Realización de pruebas cinéticas en el agua presente o circulante en el depósito.

### Presas o Depósito de Relaves



**Historia de la construcción:** Etapa en que se encuentra el proyecto, análisis de la información histórica del depósito y su variabilidad en el tiempo, volúmenes depositados y secuencia de llenado.

**Diseño del depósito de relave:** Clasificación y disposición del material con capacidad de reacción, según tipo de yacimiento (oro, cobre, hierro) y tipo de depósito (embalse, tranque, espesado, filtrado, etc.).

**Balance metalúrgico:** Cantidad de mineral presente en el depósito, que pueda ser utilizado o despreciado. De ser necesario, realizar modelos matemáticos considerando la fracción flotable.

**Balance Hidrológico:** Considerando el clima y su variabilidad y manejo de agua (circulación, recirculación, lugar de entrada y salida, etc.).

**Pruebas de material estéril y de agua:** Pruebas estáticas de los sedimentos, que permitan determinar pH y metales y metaloides presentes. Realización de pruebas cinéticas en el agua presente o circulante en el depósito.

### Depósito de Lixiviación



**Historia del depósito:** Análisis de la información histórica del depósito y su variabilidad en el tiempo, volúmenes depositados y secuencia de llenado.

**Diseño de la pila:** Clasificación y disposición del material con capacidad de reacción, según tipo de ripio proveniente del yacimiento (oro, cobre, hierro, carbón).

**Información metalúrgica:** Cantidad de mineral presente en el depósito y tipo y cantidad de material flotable, determinando leyes de recuperación y estimación de leyes remanentes.

**Balance Hidrogeoquímico:** Relación de calidad de agua y geoquímica del material, que incluye el manejo de agua (circulación, recirculación, lugar de entrada y salida, Información de lavados del depósito o lavado final)

**Pruebas de material y de agua:** Realización de pruebas estáticas de los sedimentos, que permitan determinar pH, concentración de sulfuros y minerales. Realización de pruebas cinéticas en el agua proveniente o circulante en el depósito.

## Durante el Cierre



Ejecutar el **plan monitoreo** durante el cierre de la operación minera.

### Análisis de generación del DAM

Mapeo y análisis de la generación de DAM durante la etapa de explotación, tanto en frentes de explotación y en fuentes generadoras como en la trayectoria de efluentes, determinando puntos críticos y posibles impactos.

### Plan de monitoreo

Se deberá revisar y actualizar el plan de monitoreo al término de la explotación, determinando el alcance de muestreo tanto de las fuentes generadoras como de efluentes y receptores.

### Ejecución del monitoreo

Selección de muestreo representativo en los frentes de explotación y en los depósitos (botaderos, relaves, lixiviación) y se procederá a realizar las pruebas estáticas y cinéticas respectivas.

### Evaluación de Resultados

Se adelantará una evaluación sobre resultado del monitoreo, definiendo posibles anomalías.

## Durante el Post Cierre



Ejecutar el **plan monitoreo** durante el post cierre de la operación minera.

### Análisis de generación del DAM

Mapeo y análisis de la generación de DAM durante la etapa de cierre, tanto en frentes de explotación y en fuentes generadoras desmanteladas, como en la trayectoria de efluentes, determinando puntos críticos y posibles impactos.

### Ejecución del monitoreo

Selección de muestreo representativo en los frentes de explotación y en los depósitos desmantelados (botaderos, relaves, lixiviación) y en receptores y se procederá a realizar las pruebas estáticas y cinéticas respectivas.

### Evaluación de resultados

Se adelantará una evaluación de resultados del monitoreo, definiendo posibles anomalías.

### Administración

Desarrollo de un plan de capacitación para realizar el monitoreo y creación de un fondo post cierre.



Imagen 1

Laguna de Pozuelos, Argentina  
[Octubre 17 / 2016]  
Twitter Fernando Berdugo  
@fercho\_27



# 04

## Prevención, control y tratamiento

### Alternativas para la prevención, control y tratamiento

Reúne las técnicas que permiten prevenir el DAM limitando la interacción entre los diferentes factores involucrados (material con capacidad de reacción, agua, oxígeno atmosférico y/o microorganismos), y aquellas técnicas y sistemas de tratamiento que, una vez generado el DAM, permiten controlar y minimizar sus potenciales impactos.

#### Lineamiento 1

Evitar y/o limitar la interacción de los factores involucrados en el proceso generador de DAM

#### Lineamiento 2

Controlar el proceso de generación del DAM

#### Lineamiento 3

Tratar las aguas residuales mineras con potencial de generación de DAM



*Tenga en cuenta:* En sus manos está controlar el DAM dentro de la instalación minera. No olvide **evaluar cambios** en las fuentes potencialmente generadoras de DAM, así como revisar y mejorar de ser necesario las alternativas de prevención y/o control en la generación de DAM.

### ¡Lo más importante!, la Prevención



**Evitar y/o limitar** la interacción de: Material de mina con contenido de sulfuros, agua y/o oxígeno ya que se puede presentar DAM.

#### ¿Cómo hacerlo?

- ✓ Planificación de la explotación
- ✓ Manejo selectivo del material
- ✓ Control del nivel del agua
- ✓ Cubiertas y barreras para impedir el contacto
- ✓ Inhibir la actividad bacteriana involucrada en el proceso de generación de DAM.



Fuente Imagen

Liners [geotextil] en un depósito de relaves. Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras, Chile (2015)

## ¿Cómo puede tratar las aguas residuales mineras asociadas con DAM?

Analizar la calidad del agua asociada a los DAM y establecer parámetros que deban ser tratados para cumplir con la normatividad ambiental vigente, solo así se puede seleccionar la tecnología de tratamiento más apropiada para su proyecto.

### ¿Qué se debe tener en cuenta?

- ✓ Particularidades de la zona
- ✓ Calidad requerida del efluente
- ✓ Volumen y caudal por tratar
- ✓ Costos
- ✓ Condiciones del medio (clima, altitud, etc.)
- ✓ Disponibilidad de insumos



Figura 5

Rango óptimo de aplicación de los sistemas de tratamiento de aguas ácidas  
Fuente: Drenaje ácido de mina, generación y tratamiento, España (2006)

## ¿Qué tecnologías de tratamiento puedo usar?

### ✓ Tratamientos pasivos

No requieren el uso de insumos químicos ni energía para operar. [Humedal artificial, Lagunas de sedimentación, Barreras reactivas permeables, entre otras]

### ✓ Tratamientos activos

Necesitan de energía externa para su funcionamiento además de un aporte constante de reactivos y el uso de mano de obra. [Sistemas de aireación, Neutralización/Hidrólisis, Tratamiento de membranas, entre otras]



Tenga en cuenta que: Se debe **garantizar el adecuado tratamiento** de los DAM, dando cumplimiento a la normatividad ambiental vigente.



Recuerde que se debe:

- Realizar monitoreo periódico de calidad de agua.
- Verificar la eficiencia del sistema de tratamiento.
- Realizar análisis de riesgos.
- Evaluar, durante la operación, la factibilidad técnica-económica
- Medir el cumplimiento de los objetivos



Imagen 2

Travertinos férricos. Arroyo de la Peña de Hierro, Nerva [Huelva, España]  
[Julio 25 / 2013]  
Autor: Dickens Rondán de Wikimedia Commons



# 05

## Monitoreo y Vigilancia

### Monitoreo y vigilancia

El objetivo principal de esta línea estratégica es realizar el seguimiento de las condiciones tanto de las fuentes potencialmente generadoras, los medios de exposición y de los potenciales receptores durante el desarrollo de todas las fases del proyecto minero. El monitoreo incluye además las acciones que permiten evaluar, validar y realizar seguimiento de las medidas implementadas en las etapas de cierre y post cierre.

#### Programa de Monitoreo



Se deben definir las acciones que permitan **evaluar, validar y realizar el seguimiento** a la trayectoria del DAM en todas las etapas del ciclo minero.

#### ¿Qué se debe realizar?

- ✓ Seguimiento y control a las condiciones de las fuentes potencialmente generadoras, los medios de exposición y de los potenciales receptores durante el desarrollo de todas las fases del proyecto minero.

#### Lineamiento 1

Diseñar y ejecutar un programa de monitoreo y seguimiento a la trayectoria del DAM

#### Lineamiento 2

Diseñar y ejecutar un programa de muestreo a la trayectoria del DAM

**Durante el monitoreo en las fuentes potencialmente generadoras de DAM se debe:**

**Prevenir y/o controlar** la generación de los DAM.

#### ¿Cómo hacerlo?

- ✓ Seguimiento a los factores o condiciones llevadas a cabo en la caracterización, predicción y evaluación de riesgo ambiental.
- ✓ Seguimiento a las condiciones llevadas a cabo durante la etapa de prevención y control de DAM.



**Tenga en cuenta:** Las características físicas y geoquímicas propias de cada una de las fuentes potencialmente generadoras **hacen necesaria una caracterización específica** para cada una de ellas e independiente para cada proyecto, considerándolas como unidades únicas.

Durante el monitoreo en **los Medios de exposición (transporte)** de DAM se debe:

**Impedir y/o controlar** la movilidad de los DAM.

### ¿Cómo hacerlo?

- ✓ Realizar un Seguimiento a las medidas y tecnologías implementadas en las etapas de prevención, control y tratamiento, dando cumplimiento a la normatividad ambiental vigente resolución 631 del 2015-Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).

Durante el monitoreo en **los potenciales Receptores de DAM** se debe:

**Prevenir el impacto** a posibles receptores de DAM

### ¿Cómo hacerlo?

- ✓ Realizar un seguimiento periódico a la calidad del agua y sedimento de las fuentes receptoras de drenajes.

### Evaluando

- ✓ Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, dando cumplimiento a la normatividad ambiental vigente resolución 0631 del 2015-Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible)

## Programa de Muestreo



**Muestreo en las fuentes potencialmente generadoras de dam:** Determinar las condiciones físicas y geoquímicas en las explotaciones y en todo tipo de depósitos.

### Fase 1: Muestreo Inicial

Se considera como una fase exploratoria, que sirve como levantamiento de la información más relevante de los materiales en estudio (caracterización preliminar).

### Fase 2: Muestreo Detallado

Validar los datos obtenidos en la fase inicial, enfocar el muestreo a definir nuevos parámetros que permitan desarrollar una caracterización más detallada de la fuente.

### Próximas fases del Muestreo

Por ejemplo, muestreo específico para un programa geoquímico en la fase de operación.

#### Fuente

Fases de muestreo en las fuentes potencialmente generadoras de DAM. Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras, Chile [2015]

Durante el muestreo en **los Medios de exposición (transporte)** de DAM se debe:

**Determinar la calidad** del medio con potencial de afectación de DAM durante su flujo.



*Tenga en cuenta:* Metodologías, guías, protocolos aplicados al desarrollo de muestreo en los medios de exposición de DAM aprobados a nivel nacional.

- Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento del Agua. IDEAM 2007.
- Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. IDEAM 2002.
- Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales. IDEAM 2007



#### Fuente

Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras, Chile [2015]

Durante el muestreo en **los Receptores de DAM** se debe:

Determinar **posibles afectaciones** a los receptores potenciales de DAM



*Tenga en cuenta:*

- Las condiciones del área, los posibles receptores y los criterios de valoración de la evaluación determinarán los protocolos de recolección de muestras para este componente.
- Metodologías, guías, protocolos aplicados al desarrollo de muestreo en los medios de exposición de DAM a nivel nacional (Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt 2004)



Recuerde que:  
El monitoreo **se debe contemplar** desde la construcción y montaje hasta la etapa de post cierre.



# 06

## Gestión del Riesgo

### Gestión del Riesgo

#### Lineamiento 1

Gestionar el riesgo asociado al DAM durante todo el ciclo minero

Hace referencia a las técnicas a emplear con el riesgo asociado a la generación del drenaje ácido minero, para lo cual los lineamientos y componentes se abordan dentro del decreto 2157 de 2017.

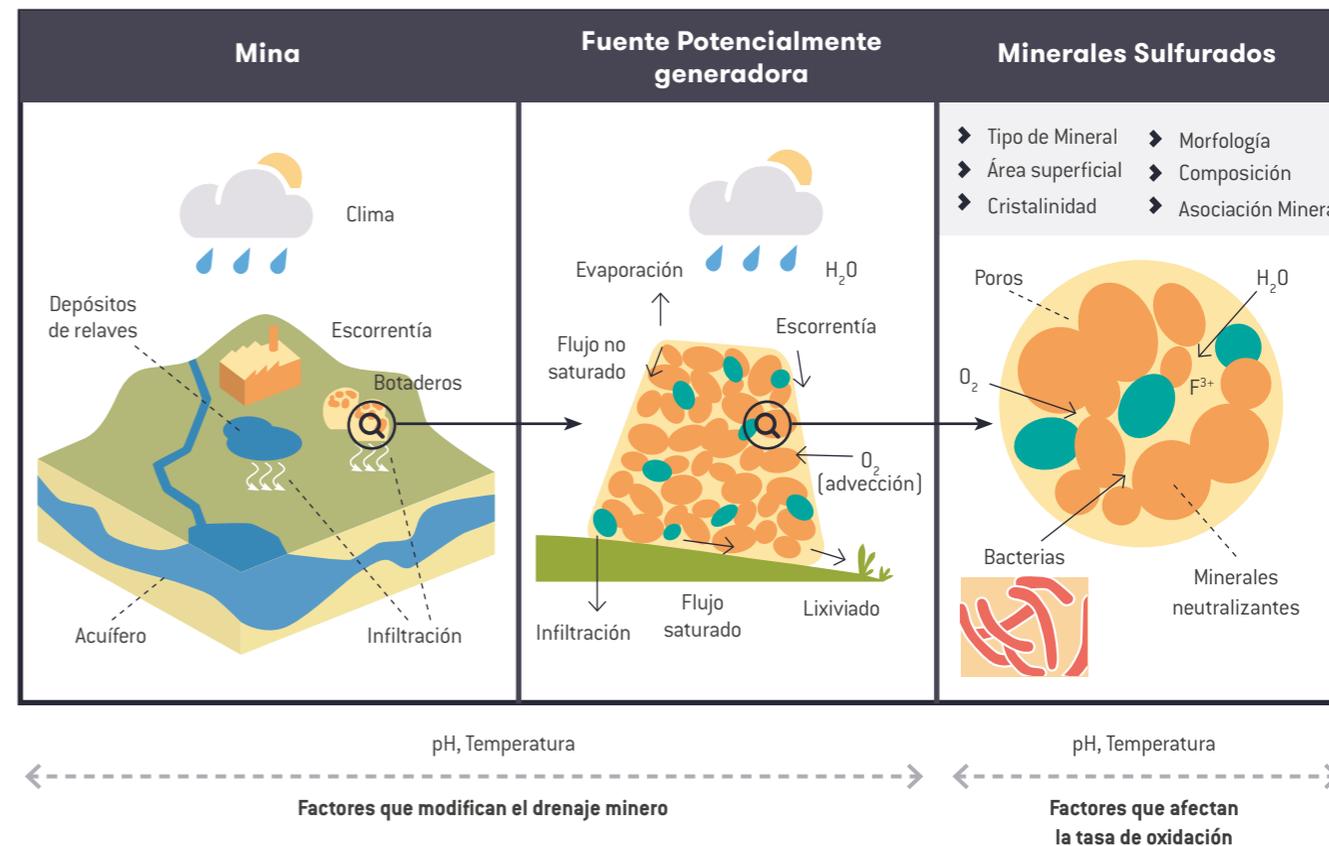


Figura 5

Factores que afectan la oxidación de sulfuros y que modifican el DM durante la migración.  
Fuente: Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras, Chile (2015)

## Conocimiento del Riesgo

Determinar **posibles impactos o afectaciones** por generación del DAM.

- Evaluación de riesgos (en fuentes generadoras, rutas de exposición y receptores).
- Estimación de la magnitud de contaminantes generados y transportados.
- Definición de la significancia de los riesgos detectados.
- Elaboración de mapa de riesgos.

### Información requerida

- ✔ Propiedades físicas del material.
- ✔ Propiedades químicas del material.
- ✔ Propiedades físicas del agua.
- ✔ Propiedades químicas del agua.
- ✔ Caracterización del hábitat y receptores.

## Reducción del Riesgo

Establecer **opciones preventivas**, de control y tratamiento.

- Acciones para minimizar la contingencia.
- Formulación de planes de emergencia.
- Preparar planes de contingencia.
- Plan de monitoreo y revisión de riesgos.

### Información requerida

- ✔ Mapa de riesgos.
- ✔ Impactos ambientales, sociales y de salud.

## Manejo del Riesgo o contingencia

Definir y ejecutar plan de acción para atender y controlar cualquier contingencia relacionada con el DAM

- Capacitación de personal.
- Implementación y ejecución de los planes.
- Banco de información para la administración de riesgos.

### Información requerida

- ✔ Plan de emergencia.
- ✔ Plan de contingencia.
- ✔ Procesos de Consulta.
- ✔ Recursos y apoyo interinstitucional.



Imagen 3

Gours estromatolíticos. Río Tinillo, El Campillo [Huelva, España] Abril 27 / 2019  
Autor: Banco de imágenes geológicas  
Tomada de Flickr



# 07

## Buenas Prácticas

### Buenas prácticas

Las buenas prácticas relacionadas con el manejo del DAM se asocian principalmente con las medidas que se pueden implementar para prevenir y disminuir la generación del DAM y con el seguimiento permanente a la calidad del agua de las fuentes potencialmente generadoras de DAM. Las mejores prácticas disponibles están asociadas a la gestión preventiva del DAM.

#### Lineamiento 1

Disminuir la generación de DAM

#### Lineamiento 2

Prevenir la generación de DAM

#### Lineamiento 3

Realizar seguimiento regular de la calidad de agua en fuentes potencialmente generadoras



Fuente: Drenaje ácido de mina, generación y tratamiento, España (2006)

### Vamos a prevenir y disminuir la generación de DAM

#### Es importante:

- Limitar el contacto de aguas de escorrentía con aguas que puedan tener contacto con fuentes potencialmente generadoras de DAM.
- Reducir el volumen de agua en relaves (colas).
- Incluir desde la etapa de exploración la caracterización sistemática de fuentes potencialmente generadoras.

#### ¿Cómo hacerlo?

- ✓ Canales perimetrales.
- ✓ Cunetas y sistemas de drenaje.
- ✓ Canales de coronación.
- ✓ Revegetalización de áreas expuestas.
- ✓ Clasificación de tipos de agua dentro del proyecto minero (aguas no contacto- aguas contacto).
- ✓ Reducción de la humedad de relaves (colas).
- ✓ Drenaje de relaves (colas).



Tenga en cuenta: Contemplar en el diseño y planeamiento minero las **obras para el manejo de aguas** y realizar la **revegetación y reconfiguración** de las zonas liberadas en el menor tiempo posible.



Recuerde que:

- ▶ Realizar mediciones de calidad de agua periódicas en fuentes potencialmente generadoras para detectar anomalías en etapas tempranas.
- ▶ Establecer algunos parámetros asociados a generación de DAM en el agua del proceso minero (pH, temperatura, sulfatos) y realizar seguimiento a estos, lo que disminuye costos de seguimiento.
- ▶ Con simples inspecciones visuales al color del agua y precipitados, vegetación dañada o muerta, biota o peces muertos, puede detectar comportamientos inesperados, para iniciar las acciones correctivas adecuadas.
- ▶ Establezca estaciones de control y seguimiento de calidad de agua en zonas representativas dentro del proyecto minero.



Imagen 4

Gours estromatolíticos, Río Tintillo, El Campillo  
(Huelva, España) Abril 27 / 2019  
Autor: Banco de imágenes geológicas  
Tomada de Flickr



# 08

## Economía Circular

La línea estratégica de economía circular contempla las acciones que permiten evaluar el potencial desarrollo de minería secundaria para el material que fue dispuesto en fuentes potencialmente generadoras de DAM (botaderos, depósitos de relave, minas a cielo abierto y subterráneas); al retirar el material de las fuentes se disminuye el potencial de generación de DAM. Así mismo se contempla el reúso o reutilización de agua residual tratada asociada a DAM en las actividades desarrolladas dentro del proceso minero.

### Lineamiento 1

Evaluar el potencial desarrollo de minería secundaria

### Lineamiento 2

Evaluar posible reúso del agua residual

### Evalúe la posibilidad en su proyecto minero de la implementación de **economía circular**

¿Existe la posibilidad de reactivar operaciones para **extracción de minerales** dispuestos en fuentes potencialmente generadoras de DAM?

¿Hay **viabilidad del reúso o reutilización de agua** asociada a DAM dentro del proyecto minero?

### ¿Cómo puede gestionar el **reuso minerales** dispuestos en fuentes potencialmente generadoras de DAM?

- ✓ Investigación de las características de los minerales dispuestos en operaciones anteriores.
- ✓ Análisis para determinar características de peligrosidad de los materiales depositados en la fuente potencialmente generadora.
- ✓ Evaluar relación beneficio/costo de la extracción de minerales y de la implementación de medidas para el control o tratamiento de efluentes mineros

### ¿Cómo puede **disminuir el volumen de agua residual** asociada a DAM que deba ser tratada y vertida?

- ✓ Análisis para determinar características de peligrosidad del agua
- ✓ Reúso dentro del proceso realizado en instalaciones mineras (torres de enfriamiento, entre otros)
- ✓ Riego de vías



Imagen 5

*Mina a cielo abierto*  
Fuente: Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras, Chile (2015)



Imagen 6

*Mina subterránea*  
Fuente: Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras, Chile (2015)

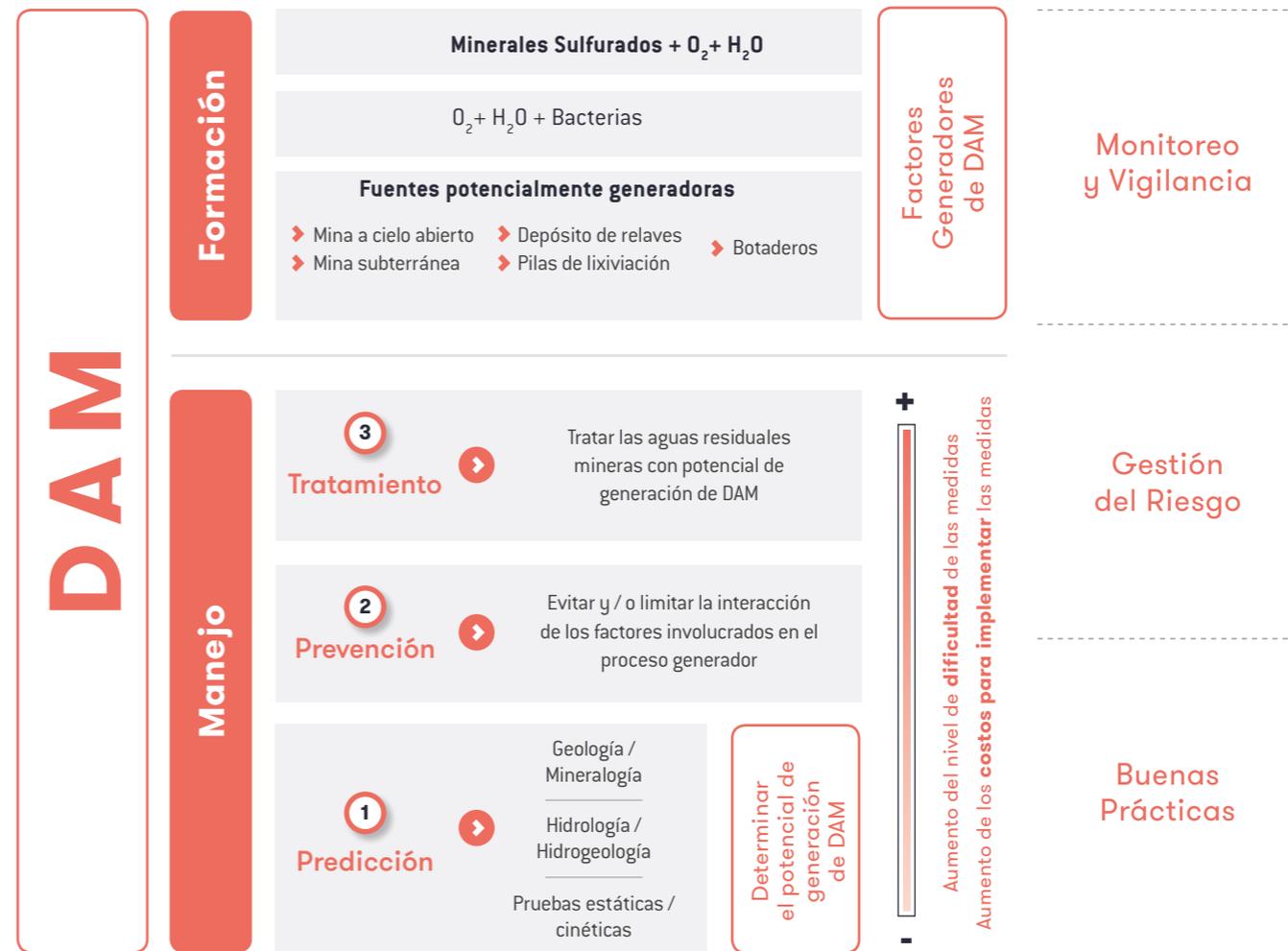


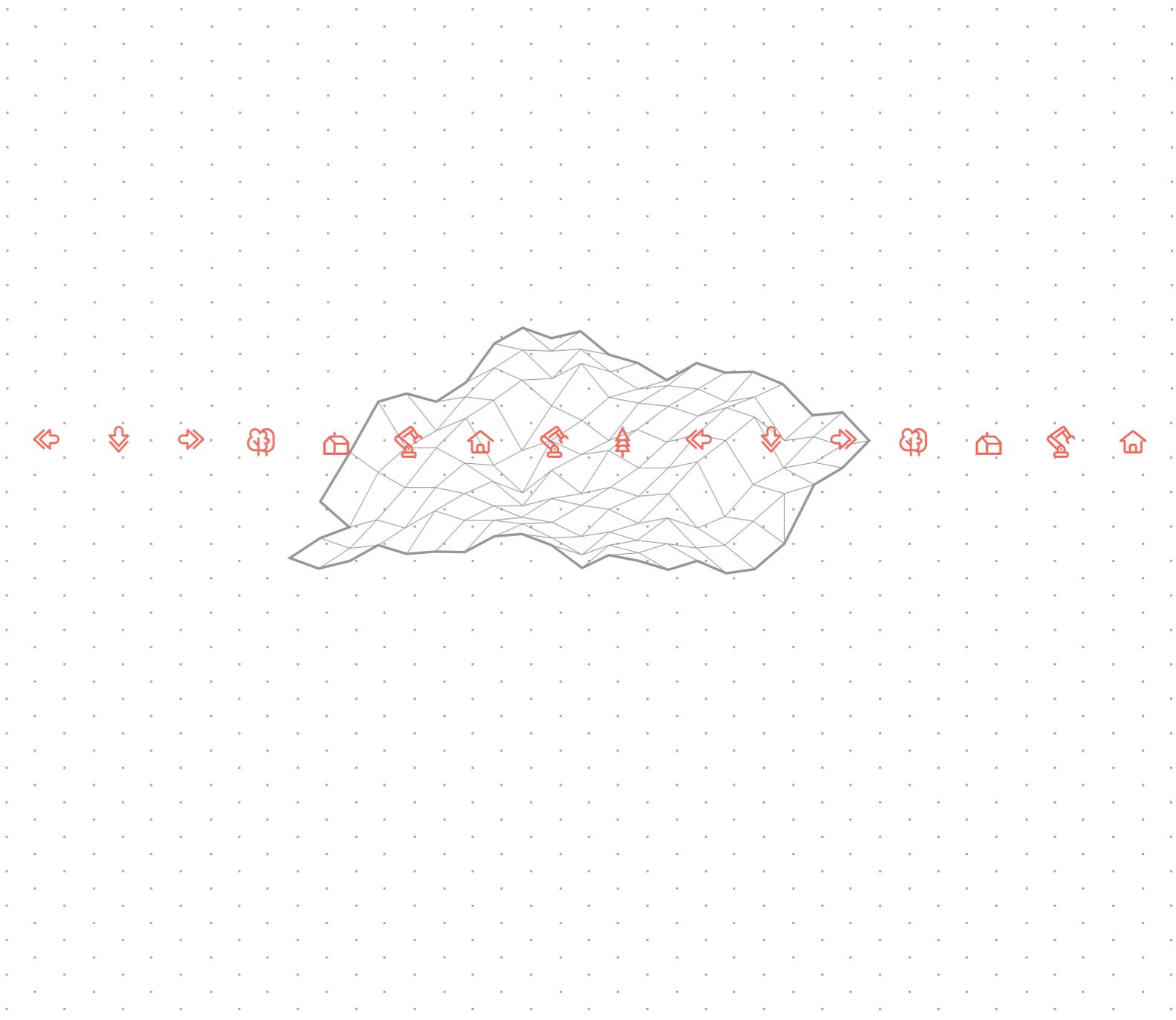
# 09

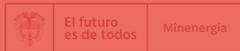
# Conclusiones

## Esquema general de formación y manejo del DAM

Ahora que conoce el DAM puede implementar todas las medidas para su predicción, control y manejo. Tenga en cuenta el siguiente esquema:







*La NUEVA  
ENERGÍA*

**ATG** ASESORÍAS TÉCNICAS  
GEOLÓGICAS  
ATG LTDA.