

MINERÍA DE SULFUROS

Salud ambiental

María Reyes Paredes Hinojosa

Salud ambiental

La actividad minera tiene un enorme impacto ambiental. Produce toda una serie de contaminantes gaseosos, líquidos y sólidos al medio, originando consecuencias negativas en el medio ambiente, tales como:

- **Daño a la tierra**
- **Emisiones de polvo.** Para minas donde se genere polvo silíceo. El control del polvo es importante puesto que puede producir silicosis y enfermedades pulmonares asociadas. Las personas que sufren de silicosis corren mayor riesgo de adquirir otros problemas de salud, tales como: tuberculosis, bronquitis crónica, neumonía, asma o artritis reumatoide, entre otras.
- **Ruido.** Las operaciones mineras tienen altos niveles de ruido. Los trabajadores deben ser adecuadamente protegidos.
- **Generación de residuos y liberación de sustancias tóxicas:** cadmio, mercurio, arsénico, antimonio son altamente tóxicos y pueden ser ingeridos por organismos vivos. También se incluyen el plomo y el cianuro.
- **Destrucción de la cubierta vegetal**



Figura 1. Destrucción de cubierta vegetal.

- **Alteración de suelos, fauna y flora.** La construcción de vías y oleoductos para sacar el producto explotado altera el suelo, fauna y flora de todos los ecosistemas por los que el producto tiene que pasar.
- **Modificación de los cursos de ríos,** lo que genera inundaciones, transformación del paisaje y pérdida de cultivos.



Figura 2. Transformación del paisaje por modificación de cursos de ríos.

- **Modificación del pH y contaminación de suelos, aguas superficiales y subterráneas,** causado por la generación de aguas ácidas o drenaje ácido de minas. El drenaje ácido es uno de los principales problemas asociados a la minería de sulfuros metálicos. Además de la modificación del pH, el carácter

ácido de estas aguas conlleva una mayor capacidad para poner en disolución metales (hierro, manganeso, arsénico, cobre, cinc, níquel, etc.). Este drenaje se produce por la oxidación de sulfuros, principalmente pirita (FeS_2) en presencia de aire, agua y bacterias. Este hecho es característico de las explotaciones de menas metálicas, carbones, uranio y en general, cualquier explotación cuyas escombreras sean ricas en sulfuros.

Estas aguas ácidas pueden producir decoloración de suelos o llegar a una extensa contaminación de ríos y tierras de cultivo. Por tanto, sería imposible el uso de las aguas para abastecimiento, no solo urbano sino industrial, debido al carácter corrosivo que presentan. Además, producen daño a los peces y otros organismos acuáticos.



Figura 3. Drenaje ácido de minas.

En cuanto a la salud de las personas, la actividad minera provoca efectos negativos en la población que se encuentre próxima al lugar donde se realice dicha actividad. La emisión de vapores ácidos que origina la minería de sulfuros puede provocar graves problemas de salud en las personas, ya que estos vapores se pueden adherir a nuestra garganta y provocar una enfermedad denominada meningitis.

La meningitis es una infección bacteriana grave que produce la inflamación de las membranas que rodean el cerebro y la médula espinal. Está causada por una bacteria denominada *Neisseria meningitidis* (o también llamada meningococo), la cual se muestra en la figura 4. Puede causar importantes daños cerebrales y es mortal en el 50% de los casos no tratados.

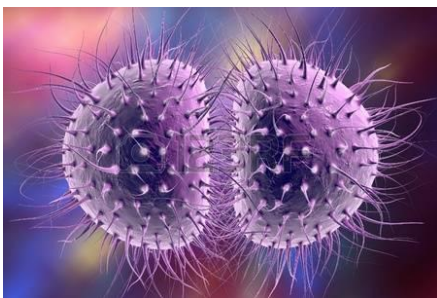


Figura 4. Bacteria *Neisseria meningitidis*.

Se han identificado 12 serogrupos de *Neisseria meningitidis*, seis de los cuales (A, B, C, W, X e Y) pueden causar epidemias. La distribución geográfica y el potencial epidémico varían según el serogrupo.

La enfermedad se transmite por contacto directo a través de la saliva y las secreciones respiratorias emitidas en forma de gotas por las personas infectadas al toser, besar o estornudar por ejemplo. Para tratarla se utilizan diferentes antibióticos, como la penicilina, ampicilina, cloranfenicol o ceftriaxona, y también existen algunas vacunas para prevenir esta infección bacteriana. El riesgo de enfermedad es mayor durante los diez días posteriores al contacto y luego disminuye.

Existen tres tipos de vacunas para la prevención de meningitis:

1. Las vacunas a base de polisacáridos están disponibles desde hace más de 30 años. Dichas vacunas pueden ser bivalentes (grupos A y C), trivalentes (grupos A, C y W) o tetravalentes (grupos A, C, Y y W135).
2. La primera vacuna contra el grupo B (NmB), integrada por una combinación de cuatro componentes proteínicos, salió a la luz en 2014. No se pueden desarrollar vacunas contra el grupo B a base de polisacáridos por el mimetismo antigénico de estos con polisacáridos del tejido nervioso humano.
3. Desde 1999 disponemos de vacunas conjugadas contra el meningococo del grupo C que han sido ampliamente utilizadas. Desde 2005 se ha autorizado en Estados Unidos de América, Canadá y Europa una vacuna conjugada tetravalente (grupos A, C, Y y W135) para niños y adultos.

Los síntomas más frecuentes son: fiebre elevada, fuerte dolor de cabeza, rigidez en el cuello, náuseas o vómitos.

Un sitio de alta incidencia de meningitis es Nerva (Huelva). La falta de cubierta vegetal en este término municipal, el entorno cercano y las minas de sulfuros pone en riesgo permanente a la población cercana, expuesta continuamente a grandes cantidades de partículas metálicas en suspensión.

FACTORES DE RIESGO DE LA MENINGITIS

- Edad: los bebés son los que presentan mayor riesgo de contraer meningitis.
- Entornos comunitarios: las enfermedades infecciosas tienden a transmitirse cuando se reúnen grupos grandes de personas.
- Ciertos problemas médicos: existen ciertos medicamentos y procedimientos quirúrgicos que aumentan el riesgo de las personas de contraer esta enfermedad.
- Viajes: viajeros que visitan el cinturón negro de la meningitis en el África subsahariana tienen alto riesgo de contraer meningitis.

La generación de aguas ácidas de minas es la causa principal de esta enfermedad bacteriana. Este problema puede enfocarse desde dos perspectivas: prevención y tratamiento.

TÉCNICAS DE PREVENCIÓN

Existen varias técnicas de prevención para tratar de evitar que se den las condiciones que propician la oxidación de los sulfuros, ya que esta oxidación es lo que originará los vapores ácidos que son tan perjudiciales para las personas y para el medio ambiente. Estas técnicas son las siguientes:

- **Barreras aislantes:** restauración de la cubierta vegetal del terreno y las barreras frente al agua y el oxígeno.
El acondicionamiento y revegetación atenúa la llegada de agua y oxígeno a los sulfuros, conociéndose casos en los que se reduce hasta un 50% la generación de aguas ácidas.

Las barreras frente al agua pasan por la impermeabilización de la superficie y los taludes de las escombreras. Normalmente es necesario además regularizar las pendientes para disminuir la erosión. Los materiales usados para cubrir son diversos: tierras compactadas, arcillas, láminas sintéticas, etc. Estas dos últimas son los materiales que más garantía ofrecen como impermeabilizantes, siendo el coste de la arcilla inferior al de las láminas.

Además, podrían ser necesarios unos canales de guarda (perimetrales), con el objeto de que las aguas de escorrentía que fluyan desde las laderas colindantes no entren en contacto con los residuos.

A parte de lo anterior, el aislamiento respecto al aire se consigue fundamentalmente mediante lámina de agua. Este método se aplica en las balsas y presas de residuos, así como en explotaciones abandonadas, tanto a cielo abierto como subterráneas. La inmersión de los residuos bajo lámina de agua tiene como objetivo aislar a los sulfuros del contacto con el oxígeno atmosférico y para ello, es necesario que no exista renovación (flujo) de las aguas en contacto con los residuos.

Inicialmente, el oxígeno disuelto en el agua reaccionará con los sulfuros. El consumo de este oxígeno, la ausencia de renovación y la baja difusividad de este elemento en el agua, impiden el avance del proceso.

- **Métodos químicos:** adición alcalina, para neutralizar aguas ácidas (hidróxido sódico, roca caliza, cal y carbonato sódico) y adición de fosfatos, para ralentizar el proceso de oxidación de la pirita.
La disposición de compuestos alcalinos puede llevarse a cabo interstratificándolos con los materiales de la escombrera o mezclados con ellos. Pueden igualmente colocarse como material de cobertura, facilitando la revegetación de la superficie de la escombrera y es conveniente, en todo caso,

mezclar compuestos alcalinos de diferente solubilidad, de manera que haya una adición de álcalis continua en el tiempo.

El aporte de fosfatos en escombreras que contengan sulfuros, propicia la formación de fosfatos de hierro insolubles, lo que disminuye el hierro férrico disponible y por tanto, se ralentiza la oxidación de la pirita.

- **Inhibición bacteriana:** en concreto, se trata de inhibir la actividad de la bacteria *Thiobacillus ferrooxidans*, responsable en gran medida del proceso de generación de aguas ácidas. Esta inhibición se lleva a cabo mediante la aplicación a la masa de residuos de surfactantes aniónicos o ácidos orgánicos.

SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS

Cuando por algún motivo los métodos de prevención no pueden usarse o se muestran insuficientes para combatir la generación de aguas ácidas, estas pueden analizarse y tratarse como cualquier agua residual industrial. Los sistemas de tratamiento más usados son:

- **Neutralización química:** como agente neutralizante puede emplearse cal o roca caliza.
 - Neutralización con cal: $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
 - Neutralización con roca caliza: $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{CO}_2$
- **Ósmosis inversa:** consiste en hacer pasar las aguas a tratar por una membrana (de acetato de celulosa) que retiene en gran medida los contaminantes, dejando pasar el agua. Los metales pesados llegan a quedar retenidos en un 99% y se reduce la acidez entre el 81 y 92%. El rendimiento de la membrana decae con el tiempo en función de la carga contaminante y debido a que esta se satura, por tanto hay que sustituirla, lo que supone un inconveniente de este método por su repercusión económica.
- **Intercambio iónico:** consiste en hacer pasar las aguas ácidas por una masa porosa de resinas sintéticas de alto peso molecular. El contacto propicia el intercambio iónico, permitiendo la obtención de un agua con un alto grado de depuración e incluso la recuperación de metales pesados. Los inconvenientes son los mismos que en el caso anterior y se refieren principalmente a los costes de mantenimiento.

Como técnica innovadora en la minería de sulfuros se podría aplicar la biolixiviación o lixiviación bacteriana, que consiste en la extracción de metales desde minerales o menas a través del uso de organismos vivos, generalmente microorganismos. Esto es más rentable económicamente y menos perjudicial para el medio ambiente y la salud de las personas que la tradicional lixiviación que utiliza compuestos químicos, alta temperatura y/o alta presión. La lixiviación tradicional es un proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido.

En la biolixiviación se utilizan microorganismos (catalizadores) que obtienen su energía de la oxidación de compuestos inorgánicos, es decir, se trata de bacterias que literalmente comen piedras. Son organismos que viven en condiciones extremas, en este caso, pH ácido y altas concentraciones de metales, condiciones normales en los minerales.

Ventajas de la tecnología bacteriana:

- Disminución de contaminación atmosférica. La biolixiviación no implica emisiones directas de material particulado fino, óxidos de azufre ni de otros gases contaminantes.
- Consumos energéticos reducidos, ya que el proceso no requiere de molienda cuando se trabaja con mineral de granulometría gruesa.
- Bajo consumo de reactivos
- Más rentable económicamente. Conlleva bajos costes de operación.
- Reducción de residuos. El consumo de agua se realiza en circuitos cerrados, con recuperación del agua aproximadamente en un 95% y sin generación de residuos.
- Flexibilidad en cuanto al tamaño de las instalaciones

Sin embargo, una desventaja de esta tecnología es que ofrece velocidades lentas. El proceso de biolixiviación es un proceso más lento donde el catión metálico se obtiene en periodos de tiempo mayor en comparación con el método tradicional.

La biolixiviación puede ser directa o indirecta:

- **Biolixiviación directa:** ocurre por el ataque enzimático de las bacterias sobre los componentes del mineral que son susceptibles a la oxidación. La bacteria está en contacto directo con la superficie del mineral, promoviendo la oxidación del azufre de los sulfuros metálicos a sulfatos. La oxidación proporciona la energía para el crecimiento de las bacterias.
- **Biolixiviación indirecta:** no ocurre un ataque frontal de la bacteria sobre la estructura atómica del mineral. En su lugar la bacteria oxida el hierro soluble (ferroso) a hierro férrico y a su vez a sulfato férrico, que es un poderoso oxidante que reacciona con los metales transformándolos a una forma soluble.