

# Los relaves mineros y la tecnología del ambiente

---

Max Schwarz

Ingeniero industrial por la Universidad de Lima.  
Gerente de marketing de Earth Corporation del Perú

---

*Actualmente las actividades de extracción y procesamiento generan residuos que van directamente al mar o a la atmósfera o penetran en el subsuelo, por lo que es necesario actuar frente a este problema sin incurrir en costos excesivamente elevados, utilizando las herramientas de tecnología combinada, es decir, las tecnologías modernas y ancestrales de acuerdo con la realidad geográfica específica que plantea cada caso. Todo esto servirá para lograr la solución más adecuada y evitar que se deteriore progresivamente la calidad ambiental, teniendo como meta generar una industria moderna, eficiente y ambientalmente sustentable.*

Las actividades de extracción y procesamiento generan una gran cantidad de residuos que muchas veces pasan directamente hacia los cursos de agua, se diluyen en la atmósfera o penetran en el subsuelo contaminando incluso la napa freática. La moderna concepción para una adecuada gestión de residuos pasa necesariamente por generar una estrategia adecuada que permita tener la capacidad de respuesta específica para cada contingencia.

La experiencia desarrollada en América Latina sugiere utilizar técnicas basadas en la combinación adecuada de tecnologías modernas con técnicas ancestrales de acuerdo con la realidad geográfica específica que plantea cada caso. Es así como se deben utilizar materiales propios de cada lugar, restaurando y recuperando los canales más antiguos para administrar eficientemente los cursos de agua.

Hoy en día, las leyes modernas no permiten grado alguno de contaminación sobre los cursos de agua que no sean un permisible consumo de oxígeno de la misma. La tecnología de nuestro tiempo nos indica que estamos en condiciones de actuar sin necesidad de incurrir en costos excesivamente elevados, haciendo uso de las herramientas de la tecnología combinada. En general el tratamiento de los cursos de agua contaminada o relaves industriales pasa por seis etapas básicas, a saber:

1. Caracterización del contenido del curso contaminado.
2. Reducción de volumen y aislamiento de agentes contaminantes.
3. Neutralización de aguas contaminadas.
4. Igualación y proporcionalidad.
5. Eliminación de sólidos en el curso de agua.
6. Disposición final de desechos líquidos.

La *caracterización del curso contaminado* constituye la primera etapa, y es fundamental porque permite determinar específicamente el tipo y el grado de contaminación del relave. Para ello se recurre a un laboratorio especializado, en el cual se realizan pruebas mecánicas y químicas, llegando a utilizarse la espectrofotometría con absorción atómica y la cromatografía líquida de alta presión. El éxito del tratamiento dependerá de la caracterización adecuada, para lo cual debe tenerse en cuenta la calidad de cada muestra. Es por ello que se requiere de especialistas con amplia experiencia.

La necesidad de *reducción de volumen* radica en la complejidad de manejo de gigantescos volúmenes para los cursos excesivamente contaminados. Existen múltiples estrategias para la reducción de volumen, como la separación de los vertidos por diferencia de caudales, desigualdad de presiones o cambios bruscos del curso en cuestión, también es posible lograr tal reducción por medio de retención de aguas residuales, reutilización de flujos líquidos o el aislamiento integral de los puntos de descarga.

La *neutralización de aguas contaminadas* se logra ya sea haciendo uso de mezclas de vertidos para obtener un pH neutro o agregando agentes específicos, como lo sugieren los procesos de carbonatación (agregado de  $\text{CaCO}_3$ ) y el baño de soda cáustica (agregado de  $\text{NaOH}$ ) para los vertidos ácidos, o el proceso de gasificación (agregado de  $\text{CO}_2$ ) para vertidos caracterizados como alcalinos.

La *igualación* es el método empleado para retener los vertidos en un depósito, de forma que el efluente pueda mantenerse uniforme en sus características sanitarias (pH, color, turbiedad, DBO, etc.); de este modo la concentración de contaminantes se reduce por reacciones físicas, químicas y biológicas. En estos casos es muy importante controlar el tiempo de permanencia de los residuos en las pozas o lagunas, igualándolo con el tiempo del ciclo de producción de descargas en cada mina. De igual forma la *proporcionalidad* es el mecanismo que permite descargar los vertidos industriales remanentes de la minería en proporción con los posibles sistemas de alcantarillados locales por medio de controles manuales o automáticos (control electrónico).

La *eliminación de sólidos* constituye una etapa sumamente delicada y depende del tipo de sólidos que se pretende eliminar según la caracterización del relave. Para ello se procede a utilizar las técnicas más adecuadas según se trate de sólidos en suspensión, sólidos coloidales, material inorgánico y material orgánico.

Para eliminar los sólidos en suspensión generalmente se procede a la sedimentación tradicional, en la cual las partículas caen por acción de su propio peso en condiciones de equilibrio o a la flotación, que es una operación por la cual los sólidos en suspensión se convierten en materias flotantes que son fáciles de colectar. Para ello se hace uso de aire disuelto o aire comprimido, ayudándose de paletas agitadoras o espumas especiales para facilitar la flotación de sólidos.

En el caso de la eliminación de sólidos coloidales se utiliza mucho la coagulación química controlada, en la cual se desestabilizan los coloides uniéndolos para facilitar la sedimentación. Ello implica la adición de reactivos coagulantes cuya función es la de aglomerar las partículas coloidales en grumos o flóculos de mayor tamaño, que puedan sedimentar. Se utiliza comúnmente el sulfato de aluminio hidratado ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ), el poli-acril-amida ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_2$ ), el sulfato ferroso hidratado ( $\text{Fe}(\text{SO}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) y el cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ). Existe además la posibilidad de recurrir adicionalmente a tratamientos electroquímicos para sedimentar algunos coloides o hacer uso de la absorción, que es la operación por la cual se logra retener los contaminantes presentes en el relave al hacerlos pasar por un sólido higroscópico. En muchos casos se utiliza carbón activado para tales fines.

Para eliminar *material inorgánico* se hace uso de procesos convencionales de evaporación controlada, diálisis, intercambio iónico y osmosis inversa para el tratamiento final. De igual forma pueden utilizarse los llamados cultivos de algas, ya que éstas, por su naturaleza, requieren de elementos esenciales como C, N, P, S, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Si, Zn, Cu, Co, Mo, B y Va, por lo que se les aprovecha para asimilar los minerales de los relaves y otros vertidos industriales. Las algas son sumamente resistentes y su residuo final puede ser utilizado como suplemento de la alimentación animal.

La eliminación de *material orgánico* se hace tradicionalmente con las lagunas de oxidación que permiten oxidar biológicamente los contenidos orgánicos de las aguas residuales, dejando a la acción de la descomposición bacteriana la reducción de los contaminantes a compuestos fácilmente solubles e inertes. La utilización de lodo activado ha dado incluso mejores resultados, ya que las poblaciones biológicamente activas hacen su trabajo al absorber la materia orgánica y oxidarlas por adición de enzimas en productos finales solubles e inertes como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_3$  y/o  $\text{SO}_4$ . Este proceso puede variarse haciendo uso de técnicas de aireación y estabilización para activar el lodo de manera permanente. Adicionalmente se puede hacer uso de los llamados discos biológicos, que son grandes cilindros paralelos cubiertos con una flora activada capaz de captar la materia orgánica al cual se le proporciona el torque necesario para que al girar permita la aireación y haga posible una oxidación aerobia en la superficie anaerobia en los fondos del relave.

Sin embargo, el tratamiento de la materia orgánica pasa por la adición de nuevos materiales de origen biológico, que se añaden al relave y en general a los cursos de agua para alcanzar los niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que se requieren. Estos materiales se encuentran actualmente en el mercado para el tratamiento de aguas en forma rápida y segura, logrando una economía inmediata.

La *disposición final de residuos líquidos* dependerá del grado de esterilización y el volumen que ocupen los desechos a fin de ser manejados eficientemente. Los cursos tratados pueden regenerarse en la combinación con aguas frescas, utilizarse para riego en las zonas aledañas, generar vapor y/o llegar a las grandes fuentes de manera limpia para cumplir el ciclo natural del agua. Existen varias decenas de mecanismos de disposición de vertientes líquidas que trascienden los objetivos del presente artículo y que requieren un manejo aún más especializado para controlar adecuadamente su actividad.

Es necesario recordar que la combinación de técnicas es la que da lugar al proceso más eficiente, de acuerdo con cada realidad. Por ello se hace imperativo un análisis previo de cada caso a fin de hacer las inversiones adecuadas y establecer los planes de remediación para cada caso. La utilización de unidades *Explorer* de última generación permiten alcanzar un alto grado de detalle tanto en el monitoreo como en el cálculo y simulación de los impactos ambientales en las operaciones minero-metalúrgicas. Estas unidades están provistas de equipos biosensores y geoposicionadores integrados por satélite que permiten identificar inmediatamente las actividades permanentes de suelo, calidad del aire, poblaciones aledañas, especies de flora y fauna locales hasta los 35 kilómetros de radio en los alrededores y control de calidad del agua a través de *testing* y monitoreo ambiental digital. Sin duda existen hoy en día técnicas aun más avanzadas, como la utilización de robots y biorrobots así como sistemas inteligentes de monitoreo ambiental en espera de determinar la solución más adecuada para evitar el deterioro progresivo de la calidad ambiental, en armonía con las necesidades del sector industrial, con miras a generar una industria moderna, eficiente, tecnológicamente limpia y ambientalmente sustentable.