

Juan Herrera Herbert

Introducción a la Biominería

Madrid - 2019



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Escuela Técnica Superior
de Ingenieros de Minas y Energía

www.minasyenergia.upm.es





Introducción a la Biominería

Autor: Juan Herrera Herbert (juan.herrera@upm.es).

ADVERTENCIA

El presente documento ha sido preparado con una finalidad exclusivamente divulgativa y docente. Las referencias a productos, marcas, fabricantes y estándares que pueden aparecer en el texto, se enmarcan en esa finalidad y no tienen ningún propósito comercial.

Todas las ideas que aquí se desarrollan tienen un carácter general y formativo y el ámbito de utilización se circunscribe exclusivamente a la formación de los estudiantes de la UPM. La respuesta ante un caso particular requerirá siempre de un análisis específico para poder dictaminar la idoneidad de la solución y los riesgos afrontados en cada caso, además de las incidencias en los costes de explotación. Consulte siempre a su ingeniería, consultor, distribuidor y fabricante de confianza en cada caso.

Foto de portada: Minería Chilena (<https://www.mch.cl>)

Copyright © 2019. Todos los derechos reservados

DC: <https://oa.upm.es/89380/>

OAI: [oai:oa.upm.es:89380](https://oa.upm.es/89380/)



Universidad Politécnica de Madrid
Departamento de Ingeniería Geológica y Minera
Laboratorio de Tecnologías Mineras

Calle Ríos Rosas 21
28003 Madrid (España)



Este documento ha sido formateado para su visualización y uso en dispositivos electrónicos y permitir ahorrar en el consumo de papel y tóner.
Antes de imprimirlo, piense si es necesario hacerlo.

Antecedentes

- Hay una gran variedad de microorganismos que han participado, bien directamente o por la acción de sus productos metabólicos, en:
 - La generación de depósitos minerales.
 - La solubilización y movilización de metales en la corteza terrestre, especialmente en relación con los ciclos del hierro y el azufre.
 - Alteración de rocas y minerales.
 - Formación de sedimentos.
- No fue hasta 1947, a partir de los trabajos de Colmer & Hinkle (1947), cuando los geoquímicos que hasta entonces pensaban que en la naturaleza la movilización de metales a partir de sulfuros era un proceso abiótico, se dieron cuenta que la oxidación de hierro asociada a la formación de drenajes ácidos era un proceso que involucraba ciertos microorganismos, los cuales aumentaban la oxidación y solubilización de los sulfuros presentes en las zonas mineras de West Virginia (EE.UU.).
- Los esfuerzos para caracterizar la flora microbiana de estos efluentes de mina dieron sus resultados cuando finalmente se logró aislar un grupo de microorganismos semejantes (pero no idénticos) a los ya conocidos como **Thiobacillus thiooxidans** y que tenía la capacidad de aumentar la velocidad de oxidación de las inclusiones de pirita en el carbón.



- Entre 1950 y 1951, Colmer, Temple y sus colaboradores de la Universidad de West Virginia, aislaron bacterias quimiolitotróficas a partir de drenajes ácidos de una mina de carbón de las cercanías de la ciudad de Pittsburgh. Estas son microorganismos con la habilidad de derivar energía, necesaria para la producción de ATP, de la catálisis oxidativa de compuestos inorgánicos además de fijar el carbono necesario para su metabolismo a partir del CO₂ atmosférico.
- Estas bacterias fueron consideradas como los microorganismos responsables de la oxidación del ion Fe²⁺ hasta el ion Fe³⁺, para lo cual ellos propusieron el nombre de **Thiobacillus ferrooxidans sp.**
- En adelante, y debido al gran interés económico y a la relevancia en diversas áreas de la actividad humana, muchas investigaciones se han focalizado en el papel de los microorganismos en la oxidación y lixiviación de sulfuros.

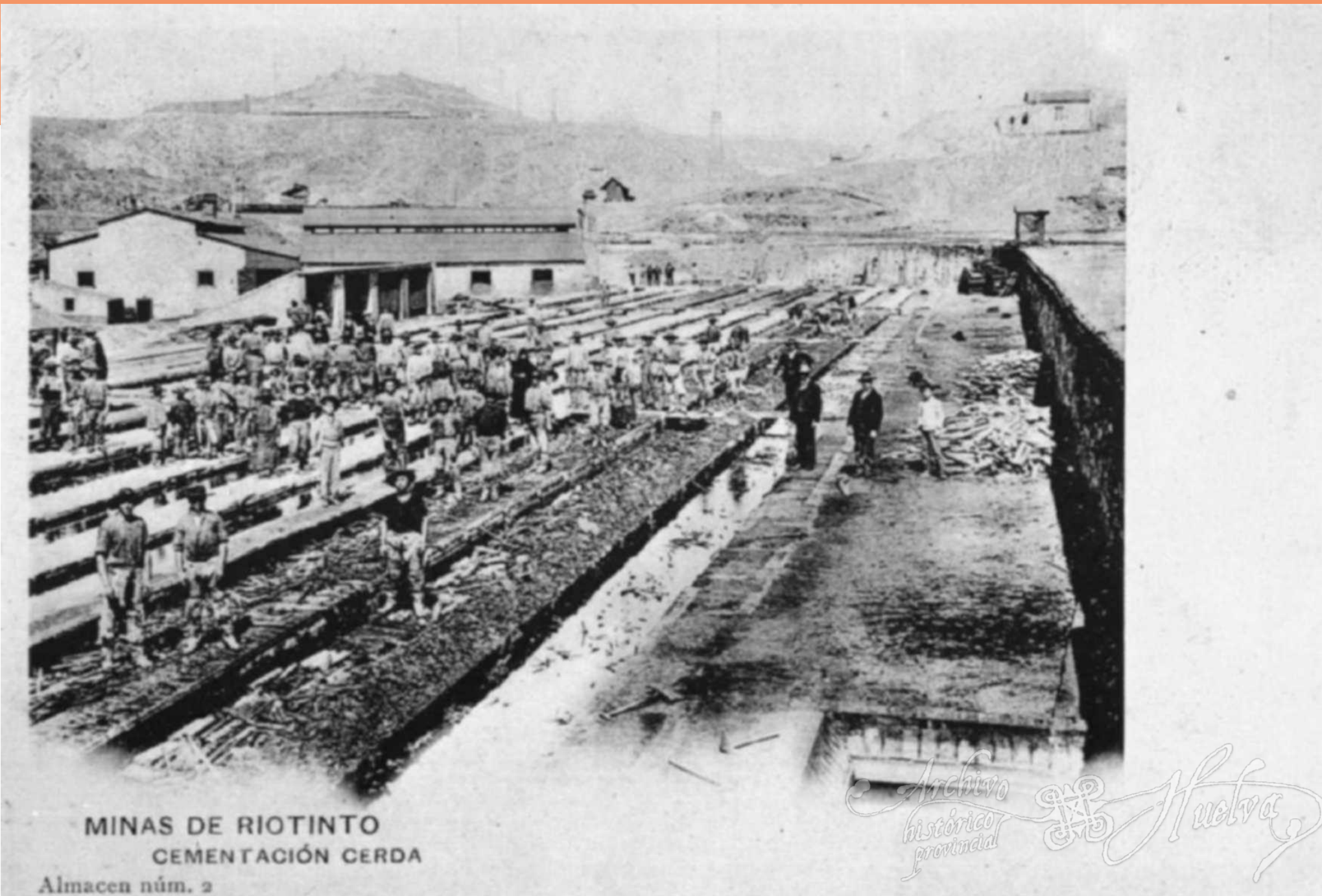
Disolución bacteriana

- Durante siglos se biolixivió cobre de minerales de baja ley, sin tener conocimiento de que esta extracción es imposible sin la presencia de una bacteria que crece en las zonas mineras.




Canaleo

- Proceso de cementación natural, donde el agua de mina ya preparada para precipitar el cobre, pasa a unas balsas y canales de precipitación, que son de una sección variable con la cantidad de agua que se ha de tratar y, para abreviar distancias, se construyeron en línea o zig-zag, con lados de unos 50 metros.
- La pendiente de los canales es creciente, pues conviene que en los primeros metros pase el agua lentamente y rápido en los últimos. Se les suele dar dos o tres pendientes distintas, comprendidas entre el 0,33% para el primer trozo y 1,80% para el último.
- Las paredes y los fondos de los canales están protegidos con tablones de madera y la chatarra se transportaba en vagonetas o sirviéndose de una grúa con potentes electroimanes.
- Fundamento:
 - La Cementación consistía en colocar el mineral, una vez calcinado, en unos estanques de mampostería embetunada con asfalto artificial o de madera embreada llamados pilones de disolución y precipitación, añadiéndole agua vitriólica de la mina y habiendo colocado previamente lingotes de hierro en forma de castillejo.
 - El hierro precipitaba el cobre, convirtiendo en subsales a los sulfatos, arseniatos y antimoniatos férricos, ácidos que por esta razón se precipitan también y abandona silíceo, grafito, azufre y fósforo al cobre cementado, que recibe el nombre de "cáscara" y que tiene el aspecto de una tierra pesada y oscura.



MINAS DE RIOTINTO
CEMENTACIÓN CERDA
Almacén núm. 2

Archivo
histórico
provincial

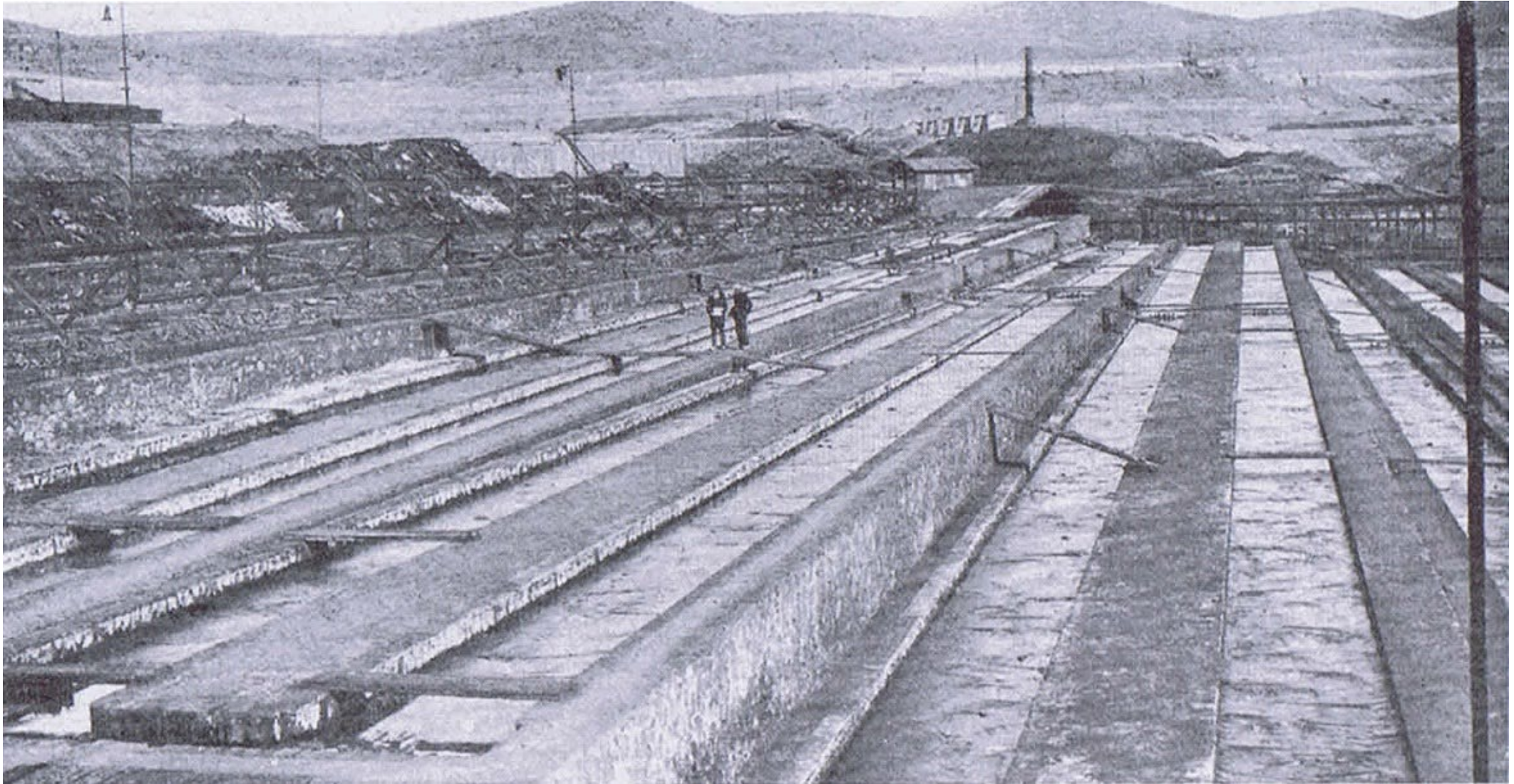


Huelva



Canales de Cementación Cerdá en Minas de Riotinto







Canales cementación Planes en Nerva. Huelva





Canales de Minas Peña del Hierro en Nerva. Huelva



Canaleos de Mina Lagunazo en Minas de Tharsis. Alosno

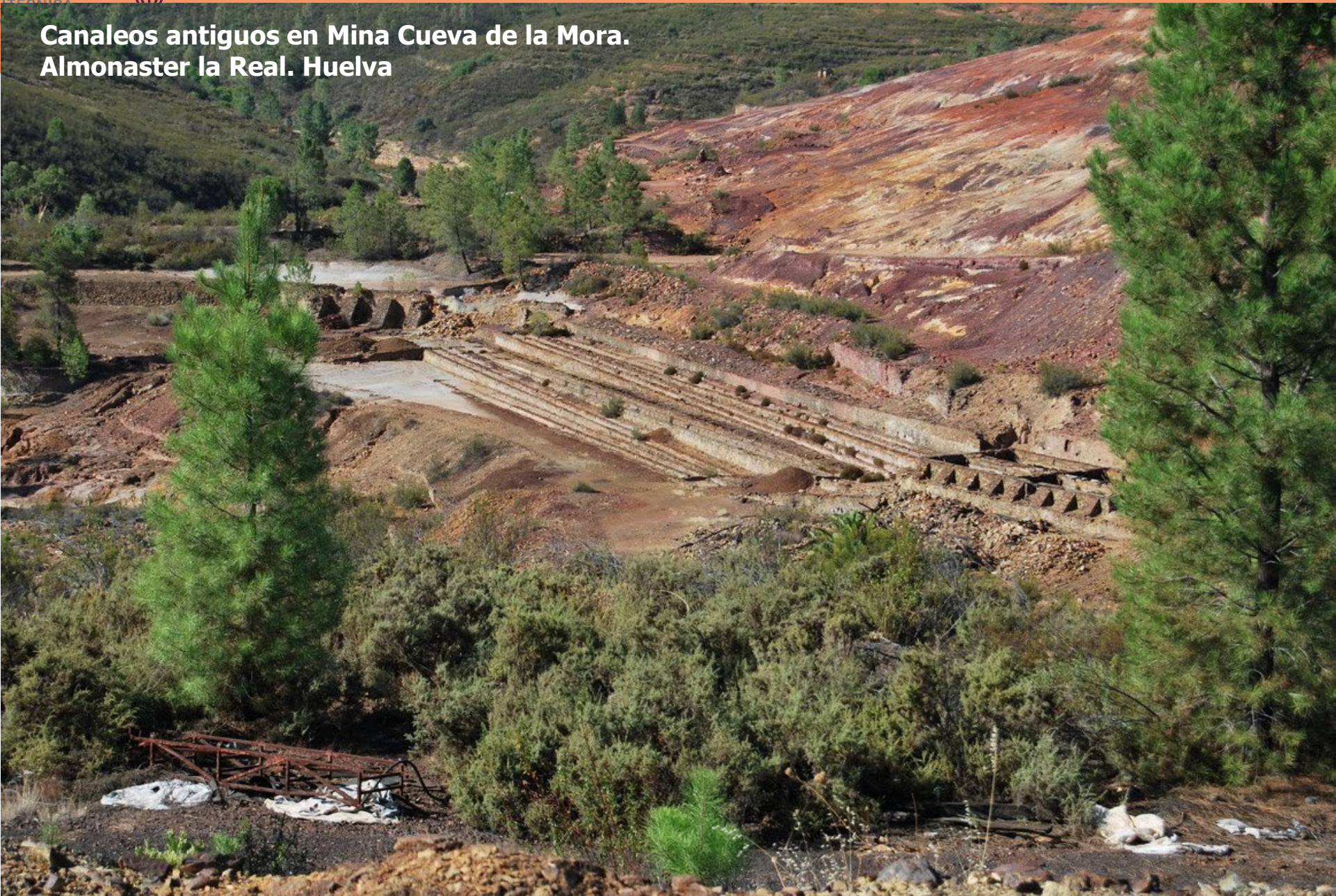




Canales de Mina La Zarza en Calañas. Huelva



Canales antiguos en Mina Cueva de la Mora. Almonaster la Real. Huelva







serafin 09











Biotecnología

- Se entiende por tal el uso de la microbiología, la bioquímica y la ingeniería con el fin de lograr aplicaciones tecnológicas industriales provenientes de microorganismos o de células de cultivo de tejidos y sus partes.
- Se incluye en ésta definición la explotación industrial del potencial de microorganismos, células vegetales y animales en beneficio del hombre, plantas y animales.



Uso de técnicas biológicas en ingeniería minera

- Creciente complejidad y empobrecimiento de los minerales
- Agotamiento de las reservas de minerales oxidados
- Aumento en los costes de producción
- Severas legislaciones anti-contaminación

Avance actual

- En las últimas décadas, **los procesos biotecnológicos en minería** se han convertido en una **tecnología comercialmente viable** para la **extracción de metales base y de metales preciosos**, enmarcándose dentro de una gran área conocida como la **biohidrometalurgia**.
- **Biohidrometalurgia:**
 - Se encarga del estudio y la aplicación del potencial económico que puede obtenerse de la interacción entre los microorganismos y los minerales.
 - En ella están involucradas áreas que, directa o indirectamente, están comprometidas con la explotación de recursos minerales y protección ambiental (biogeoquímica, geomicrobiología, la hidrometalurgia, etc.).
 - Se apoya en áreas como la geología, geología económica, ingeniería de minas, metalurgia e ingeniería química y de materiales.
 - Es conocida por su utilización en:
 - Tratamiento de drenajes ácidos o bio-remediación: remoción de metales pesados presentes en áreas mineras, suelos y sedimentos contaminados o residuos industriales como cenizas de incineración.
 - También en la degradación de cianuro, adecuación de concentrados para separación, etc.

- El procesamiento de minerales utilizando microorganismos viene siendo utilizado principalmente para **la extracción de oro, cobre, uranio y cobalto**, ganando gran atención a nivel internacional.
- En el caso del cobre en Chile, dentro de las siete plantas de biolixiviación que operan comercialmente, se procesan alrededor de ochenta cuatro mil toneladas al día de concentrado.
- Actualmente, **del 10 al 15% de la producción mundial de cobre** es obtenida mediante **biolixiviación de minerales de cobre de baja ley**.
- Sin embargo, **el conocimiento de los mecanismos de estos procesos es incompleto**. Además se trata de sistemas muy heterogéneos, con diseño, ingeniería y control difíciles.



Aplicaciones extractivas de la biotecnología

- La mayoría de los elementos de la tabla periódica, por supuesto los metales, son transformables microbiológicamente, por lo que estos procesos pueden ser aplicables a escala biotecnológica.
 - Biogénesis
 - Biolixiviación
 - Biocorrosión
 - Bioacumulación

Participación de los elementos en reacciones que se producen en la interfase biotecnología-materiales.

I a		II a																III a		IV a	
Na 11	Mg 12															Al 13	Si 14				
		Ba	Bg	Ba	III b	IV b	V b	VI b	VII b	VIII		I b	II b	Bg	Ba	Bg	Ba	V a	VI a		
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34						
	Bl		Bl	Bl	Bl	Bl	Bl Bc	Bl	Bl Bc	Bl Bc	Bl Bc	Bl	Bl	Bl							
	Ba	Bg	Ba	Ba	Bg	Ba	Bg	Ba	Bg	Ba	Bg	Ba	Bg	Ba	Ba	Bg	Ba	Ba	Bg	Ba	
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42		Ru 44	Rh 45		Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52						
	Ba	Bg	Ba	Ba	Ba	Bl				Bl	Bl	Bl	Bl	Bl							
	Bg	Ba	Ba	Ba			Ba	Ba		Bg	Ba	Ba	Ba	Ba	Bg	Ba	Ba	Bg	Ba	Ba	
Cs 55	Ba 56	57-71	Hf 72				Re 75	Os 76				Au 79	Hg 80			Pb 82	Bi 83				
	Ba	Bg	Ba	Ba			Bl					Bl				Bl	Bc	Bl			
	Bg	Ba	Ba				Ba	Ba				Bg	Ba	Bg	Ba	Bg	Ba	Ba			
	Ra 88	89-103																			
	Ba																				
			Lantánidos			La 57	Ce 58	Eu 63													
						Ba	Ba	Ba													
			Actínidos			Th 90	U 92	Pu 94													
						Bl	Bl														
						Ba	Bg	Ba	Ba												

Clave:	
Elemento	No. Atómico
Bl: Biolixiviación	Bc: Biocorrosión
Bg: Biogénesis	Ba: Bioacumulación



Procesos biotecnológicos relacionados con la Industria Minero-Metalúrgica

- Biorremediación.
- Biotecnología minera.
- Biogénesis.
- Biocorrosión.
- Generación de drenajes ácidos de mina.



Biotecnología minera

- Beneficio de minerales:
 - Biofloculación y biooxidación.
- Extracción hidrometalúrgica de metales:
 - Biolixiviación de minerales.
- Remediación de residuos:
 - Biodegradación y biosorción.

Biolixiviación

- La biolixiviación es una tecnología que emplea bacterias específicas para extraer un metal, de un cierto valor económico y que está presente en la mina o en un concentrado mineral, como:
 - Uranio.
 - Cobre
 - Zinc
 - Níquel
 - Cobalto
- El producto final de la biolixiviación es una solución ácida que contiene metal en su forma soluble. El residuo se desecha y la solución se procesa para obtener los metales.
- Se están haciendo esfuerzos importantes para conseguir su implantación a escala industrial en el tratamiento de otros minerales.
- Se investigan también otros procesos biotecnológicos de aplicación en la industria minero-metalúrgica.







- La tecnología se basa en el proceso de lixiviación bacteriana, que es un proceso natural de disolución llevado a cabo por un grupo de bacterias que tienen la habilidad de oxidar minerales sulfurados, permitiendo la liberación de los contenidos metálicos.
- Antiguamente se pensaba que la disolución o lixiviación de metales era un proceso netamente químico gracias al agua y oxígeno atmosférico.
- El descubrimiento de bacterias acidófilas, ferro y sulfooxidantes, ha sido primordial en la definición de la lixiviación como un proceso catalizado biológicamente.

- En la biolixiviación se utilizan microorganismos que obtienen su energía de la oxidación de compuestos inorgánicos. Se trata de bacterias que viven en condiciones extremas: pH ácido y altas concentraciones de metales.
- A modo de ejemplo, tal y como los seres humanos oxidan la glucosa para conseguir energía y a partir de ésta fabrican todos los componentes celulares, estas bacterias quimiolitotróficas utilizan la oxidación de compuestos inorgánicos para generar todos los componentes de la célula.
- Esta capacidad metabólica es la que se aprovecha para solubilizar cobre.

- La más conocida es la "Acidithiobacillus ferrooxidans"; su nombre nos indica varias cosas: "acidithiobacillus" es acidófilo porque crece en pH ácido, es "thio" porque es capaz de oxidar compuestos de azufre, es un "bacillus" porque tiene forma de bastón y "ferrooxidans", porque además puede oxidar el hierro. Además, son denominados extremófilos por vivir en condiciones extremas, que son normales en el caso de los minerales: pH ácido, altas temperaturas y concentraciones de metales.
- Estos microorganismos se alimentan principalmente de dos impurezas que hay que extraer del mineral para producir cobre: el azufre, que las bacterias pueden oxidar y convertir en ácido sulfúrico y el hierro, el cual es precipitado sobre el mineral de descarte, lo que permite lograr una disolución más barata y simple.
- Las bacterias lixivian (disuelven) las rocas o minerales y los solubilizan, por eso el proceso se llama biolixiviación o lixiviación biológica. El sulfuro de cobre, CuS , es uno de los minerales que pueden ser convertidos en una forma soluble del metal, que en este caso es cobre. Mediante una reacción de oxidación, las bacterias extraen los electrones y disuelven el sulfuro de cobre (CuS), que es sólido, obteniendo una solución de sulfato de cobre (CuSO_4) a partir de la cual se puede recuperar el cobre como metal.



- Estas bacterias son inofensivas para el ser humano y también para el ecosistema.
- Estas bacterias se "alimentan" de minerales como el hierro, el arsénico o el azufre, elementos que suelen estar presentes junto a los sulfuros de cobre y que deben separarse para poder recuperar el cobre en un estado más "puro".
- La biolixiviación tiene **la ventaja de no liberar gases tóxicos o corrosivos y requerir poca energía.**
- En consecuencia, el impacto ambiental de la fuente energética es poco significativo y hay menos riesgos de accidentes contaminantes.



Microorganismos biolixiviantes

- Mesófilos (20 – 40 °C):
 - Thiobacillus (Tf y Tt) y
 - Leptospirillum (Lf).
- Termófilos moderados (40 – 55 °C):
 - Sulfobacillus (S. thermosulfidooxidans).
- Termófilos extremos (> 55 °C):
 - Sulfolobus acidanus (S. acidocaldarius y S. brierleyi),
 - Metallosphaera y
 - Sulfurococcus.



Tiobacillus ferrooxidans (quimiolitotrófica, acidófila y mesófila)

- Fuente de energía: Fe(II) y S(II-) de minerales
- Fuente de carbono: CO₂ del aire
- pH de crecimiento: 1.0 - 6.0 (2.0 - 2.5)
- Intervalo de temperatura: 2 - 40 °C (28 – 35 °C)
- Reproducción: fisión binaria
- Poblaciones: 10E⁹ - 10E¹⁰ células/mL



Requerimientos energéticos

- Elementos esenciales:
 - Carbón, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre.
- Fuentes de energía:
 - Materiales inorgánicos y CO₂ del aire como fuente de carbono.
- Función metabólica:
 - Oxidación de especies reducidas de azufre (S²⁻ y/o S⁰), de hierro (Fe²⁺) o de ambos.

Mecanismos

Mecanismo Directo



Oxidación biológica

Mecanismo indirecto completo



Oxidación química



Oxidación biológica

Mecanismo indirecto incompleto



Oxidación química



Oxidación biológica



Oxidación biológica



Mecanismos

- **Directo:** Ataque enzimático, el contacto físico entre bacteria y mineral es necesario.
- **Indirecto:** Ataque químico por productos del metabolismo ($\text{Fe}^{3+}/\text{H}^{+}$), el papel de la bacteria es regenerar este medio oxidante.
- **Mixto o cooperativo:** Ambos mecanismos se llevan a cabo simultáneamente.



Objetivo

- El objetivo de éste proceso es aprovechar estos mecanismos naturales para obtener cátodos de cobre (en el caso de la industria del cobre) después de lixiviar sulfuros primarios que, debido a su baja ley de cobre, resulta antieconómico procesarlos en una planta de flotación convencional.



Ventajas

- Ausencia de emisiones de SO_2 .
- Obtención de permisos y autorizaciones ambientales en tiempos más cortos.
- Explotación de la zona en menor tiempo.
- Se generan productos estables.
- Costes y plazos de tiempo menores para legalizar los residuos.
- Costes de capital y de operación sensiblemente menores.
- Utilización de equipos más sencillos.
- Fácil separación de subproductos.
- Bajo consumo de reactivos.
- Gran versatilidad.



Inconvenientes

- Cinéticas aún lentas dependiendo del material y del método empleado.
- Dificultad para implantar la técnica a partir de los procesos en funcionamiento.
- Muy poco margen disponible de maniobra para la implantación y adaptación de nuevos procesos en la industria extractiva.

Seguridad de la biolixiviación

- A pesar de las condiciones extremas en que viven las bacterias lixiviantes (*T. ferrooxidans*) y otras, pueden darse variadas circunstancias, naturales o producto de la actividad humana, que proporcionen el hábitat para estos microorganismos.
- Desde el punto de vista del impacto en el medio ambiente, el empleo de estos microorganismos tiene varias ventajas, pero también representa algunos problemas.
- Es una ventaja que la biolixiviación no libere gases tóxicos o corrosivos y requiera poca energía.
 - En consecuencia el impacto ambiental de la fuente energética es poco significativo y hay menos riesgos de accidentes contaminantes.
 - Los riesgos contaminantes de los microorganismos lixiviantes tienen que ver con la producción de ácido que genera su actividad.

Tecnologías utilizadas en biolixiviación

- La introducción de una tecnología basada en biolixiviación representa un importante adelanto, ya que produce un impacto ambiental muy inferior a la tecnología extractiva clásica de pirometalurgia. En esta última, los sulfuros tratados en fundiciones, producen humos de chimeneas con altos contenidos de SO₂ y arsénico.
- Las ventajas de la biolixiviación de sulfuros es que produce ácido sulfúrico directamente, sin pasar por una más contaminante fundición de cobre, y sin necesidad de tener que construir destinadas a captar el anhídrido sulfuroso (SO₂).
- En la disolución de minerales sulfurados participan bacterias que requieren sólo de compuestos inorgánicos muy simples para multiplicarse, los mismos que se encuentran comúnmente en las aguas de los procesos hidrometalúrgicos.
- Otra de las características especiales de estas bacterias es su capacidad de crecer en soluciones extremadamente ácidas para el común de los microorganismos (pH entre 1,5 y 3,5).

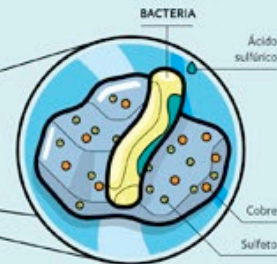
Devoradoras de piedras



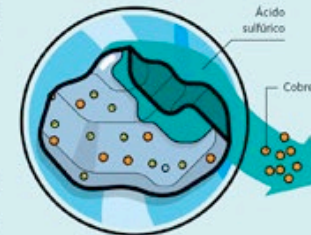
1 Montañas de residuos, formadas por la acumulación de roca triturada con bajos tenores de cobre, se acumulan en las minas



2 Para extraer el cobre existente en las rocas, las piedras son dispuestas sobre una base impermeable a cielo abierto, conectada a un sistema de drenaje. Se esparce sobre las rocas una solución acuosa para generar un medio ideal para la multiplicación de las bacterias que ayudarán en el proceso de extracción del cobre



3 Las bacterias, que normalmente ya existen en la mina, consumen sulfatos de las rocas y, como consecuencia de ello, producen ácido sulfúrico



4 El ácido sulfúrico que producen los microorganismos ayuda a la liberación del metal presente en la roca



5 La solución líquida con alta concentración de cobre que se genera durante el proceso se desvía hacia un tanque. En ese tanque se realiza la extracción del cobre por precipitación

Tecnologías utilizadas en biolixiviación



Clasificación de los métodos de biolixiviación

■ Biolixiviación In Situ

- Se refiere al proceso de tratamiento del mineral sin necesidad de realizar la perforación y transporte del mineral.
- Este proceso se basa en la fractura por la voladura de mineral para conseguir la creación de huecos y porosidades que permitan a la solución fluir libremente.
- La solución se recoge, en general, en la parte inferior de la mina y se procesa para la recuperación de metales.
- El sistema biológico recibe su oxígeno de la solución.
- La aplicación de este proceso no se ha extendido ampliamente, ya que requiere de características muy específicas del yacimiento, como por ejemplo alta permeabilidad del mineral y baja permeabilidad de la roca encajante.
- Las recuperaciones son típicamente bajas.

■ Biolixiviación en tanques agitados

- Se lleva a cabo en los tanques donde la agitación mecánica se consigue por medio de la inyección de oxígeno.
- La aplicación de este proceso a los minerales ha sido bastante limitada debido al gran tamaño de los tanques, lo que a menudo hace su coste prohibitivo.
- Sin embargo, la cinética de la oxidación es mucho más alta que en el método in situ.





■ Biolixiviación en pilas

- Las pilas están formadas por material fragmentado que se apila sobre capas impermeables que tienen una pendiente, al objeto de hacer circular la solución recogida de los drenajes.
- El oxígeno se puede añadir al sistema para aumentar la tasa de oxidación de soplado de baja presión de aire en la base de las pilas.

Algunos casos

- BioSigma (Chile), constituida por Codelco (66,6%) y la japonesa Nippon Mining Metals Co. (33,4%), trabaja para desarrollar tecnologías en biominería que permitan aumentar la velocidad y recuperación de metales en minas existentes, patentar nuevas bacterias y nuevos procesos.
La empresa trabaja actualmente en descifrar el código genético de las bacterias que aceleran el proceso de biolixiviación y aumentan progresivamente los niveles de producción de soluciones con cobre.
- Codelco, asociada a partes iguales con el grupo BHP Billiton en la empresa Alliance Copper Limited (ACL), desarrolla un proceso que consiste en la lixiviación asistida por bacterias de concentrados de cobre en reactores agitados. El objetivo final de ACL es poder biolixiviar comercialmente concentrados con Enargita, es decir, con altos niveles de arsénico u otras impurezas.
Con esta tecnología, la corporación podría procesar sin problemas concentrados provenientes de la futura operación de Mansa Mina, que actualmente no pueden ser tratados en una fundición, debido a que sus altos contenidos de arsénico de sus concentrados serían liberados a la atmósfera.
Sin embargo, la biolixiviación de concentrados permite extraer su arsénico en forma de escorodita, un material estable que puede ser confinado en forma segura en escombreras.

Conclusiones

- Los procesos alternativos como la biohidrometalurgia presentan ventajas que otros procesos tradicionales no pueden proveer:
 - Bajos costes de operación y capital de inversión, los cuales pueden llegar a ser significativamente menores, hasta un 50% en costes económicos.
 - Bajos requerimientos de energía.
 - Simplicidad en la puesta en marcha de los sistemas de operación.
 - Versatilidad en cuanto a la adaptación a los diferentes tipos de proceso.
 - Desde el punto de vista ambiental, la no producción de gases nocivos, en comparación con otros métodos usados rutinariamente en el beneficio de minerales, como por ejemplo la tostación.
 - Generación de residuos ambientalmente más amigables o químicamente más estables.
- En el mundo una alta cantidad de sulfuros provenientes de la explotación minera, sulfuros con características refractarias y/o con iones en su estructura cristalina nocivos al medioambiente y a la salud humana, han sido acumulados en el tiempo.

- Estas acumulaciones, con contenidos de oro relevantes en la mayoría de los casos, se caracterizan porque el tratamiento de éstos materiales no es factible por métodos convencionales, lo que incrementa el coste de la recuperación de los valores metálicos presentes.
- Por otro lado, el problema de la refractariedad ha situado a la pirita como uno de los más importantes sulfuros que encapsulan en su matriz elementos valiosos como oro, sea en la forma de pequeñas inclusiones o como oro invisible, lo cual hace que la mayoría de las veces la cianuración de estos minerales requiera largos periodos de exposición, obteniéndose de este modo un material de mayor coste y unas ganancias menores.
- Los cambios fisicoquímicos que tienen lugar sobre la superficie de la pirita y arsenopirita durante los procesos de biooxidación son importantes, ya que la formación de minerales secundarios sobre éstos puede generar la inhibición de la difusión de oxidantes hacia la superficie y, en consecuencia, reducen la velocidad de disolución.



- Por ejemplo, la formación de especies intermedias, tales como azufre elemental y compuestos reducidos de azufre, pueden jugar un papel importante en la cinética de las reacciones. La segregación de productos intermedios en la superficie y la cinética de su producción son cruciales para entender cómo ellos y las comunidades bacterianas, que con ellos interactúan, impactan o afectan en conjunto la velocidad de disolución de los sulfuros.
- La caracterización mineralógica ha venido siendo utilizada desde hace varias décadas como herramienta para el entendimiento de diversos procesos, tanto naturales como artificiales, donde se dan cambios de fase.
- En el campo de las transformaciones de minerales, que se dan en los procesos que contemplan la acción de microorganismos, la identificación de los productos de oxidación es comúnmente complicada, debido a que las fases formadas normalmente presentan baja cristalinidad, niveles complejos y variados de solución sólida, además de partículas muy finas.



- Para el sector minero es importante, tanto desde el punto de vista económico como ambiental, el conocimiento de los mecanismos que gobiernan la biooxidación de sulfuros y las velocidades de disolución de éstos, ya que se podría mejorar en gran parte el diseño y operación de plantas de biolixiviación
- En la actualidad, junto con buscar la manera de hacer más eficiente los procesos de biolixiviación que realizan estas bacterias “mineras”, los investigadores han centrado sus esfuerzos en lograr una solución para uno de los efectos negativos que causa la labor de estos microorganismos: la producción de ácido.



Dudas y preguntas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGIA
LABORATORIO DE TECNOLOGÍAS MINERAS

TECHNICAL UNIVERSITY OF MADRID
HIGHER TECHNICAL SCHOOL OF MINING AND ENERGY ENGINEERING
MINING TECHNOLOGIES LABORATORY