



## El uso de microorganismos en minería

### Extracción de metales y ambiente

Mediante la minería se obtienen productos que, en su mayoría, son esenciales para la subsistencia de la humanidad. Uno de los metales cuyo uso intensivo por la humanidad lleva más de 4000 años es el cobre, que tiene múltiples aplicaciones, principalmente como conductor eléctrico. Sin embargo, si la extracción de metales se desarrolla sin las medidas de control adecuadas, puede tener un impacto negativo en el ambiente y en la calidad de vida de los organismos que habitan en zonas aledañas.

Se denomina **metalurgia** al proceso o conjunto de procesos por el cual se extrae el metal correspondiente de un mineral metálico. La extracción clásica de este tipo de minerales se realiza a través de la *pirometalurgia*, proceso por el cual el mineral es tostado a altas temperaturas y posteriormente reducido al metal. Esta metodología, que resulta inviable económicamente para minerales con bajo contenido en metal, es altamente contaminante ya que libera enormes cantidades de dióxido de azufre, uno de los gases involucrados en la llamada "lluvia ácida".

Debido a esto, la continuidad de operaciones mineras de larga data y la instalación de nuevas explotaciones, está encontrando una resistencia creciente dentro de la sociedad, aun en países cuya economía depende fuertemente de estos recursos naturales. Además, los estudios de riesgo ambiental y la aplicación de métodos preventivos y remediadores de las emisiones y residuos, suelen encarecer las operaciones hasta, en muchos casos, hacerlas inviables. Una alternativa a la obtención de metales por pirometalurgia, es el uso de metodologías que funcionen a bajas temperaturas y con soluciones acuosas capaces de extraer el metal de los minerales (*lixiviar*). Esta tecnología, llamada **hidrometalurgia**, es preferible desde el punto de vista de su impacto ambiental y de su rentabilidad.

Por lo visto, aunque algunas actividades mineras no son fácilmente reemplazables, se busca lograr que tengan el menor impacto ambiental posible. En este sentido, se espera que los avances científicos en una de las áreas de la biotecnología llamada **biominería**, permitan reducir el impacto ambiental negativo en estas operaciones mineras.

### La biominería

Parte importante del cobre extraído desde tiempos remotos, provenía justamente de procesos de lixiviación que ocurrían en lugares con depósitos de ese metal. Por mucho tiempo, se pensó que la disolución o [lixiviación](#) de metales era un proceso netamente químico, mediado por agua y oxígeno atmosférico. Recién en la década "El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



## El Cuaderno de Por Qué Biotecnología

EDICIÓN

del 40 se descubrió la existencia de bacterias que revolucionaron la definición de lixiviación como un proceso catalizado biológicamente. La **biolixiviación** es una tecnología que usa bacterias específicas para extraer (lixiviar) metales de los minerales. Por lo tanto, se determinó que la tecnología debería llamarse “**biohidrometalurgia**” ya que, para que el

proceso de recuperación de cobre fuera eficaz era necesaria además de agua, la presencia de ciertos microorganismos.

De allí surge el término de **biominería**, que es el uso de microorganismos en diferentes aspectos de la explotación de los minerales, abarcando desde la concentración de las especies de interés (a través de la *bioflotación*), la recuperación de los elementos presentes en ellas (*biolixiviación* y *biooxidación*), hasta su acción en tareas de remediación ambiental (ver Cuaderno N° 36 y 46). La **biolixiviación** suele hacerse regando “pilas” (acumulaciones de mineral previamente triturado) con soluciones de ácido sulfúrico. Las bacterias existentes en los minerales liberan al metal del mineral que finalmente es recuperado a partir de las soluciones que emergen de la parte inferior de la pila. El cobre es el metal que se recupera en mayor medida por esta metodología, pero además se utiliza para extraer cobalto, níquel, cinc, entre muchos otros.

La **biooxidación** es aplicable a minerales refractarios de oro en los cuales éste se encuentra incluido dentro de una matriz mineral de sulfuros lo cual dificulta su posterior recuperación. La acción de las bacterias elimina esta matriz liberando al oro y haciendo así más eficaz su recuperación.

### Cómo actúan las bacterias mineras

Las bacterias mineras logran hacer solubles los minerales. Los microorganismos realizan esta tarea como parte de sus procesos metabólicos, simplemente alimentándose de los minerales (son *quimiolitoautotróficas* o quimioautótrofos). Durante el proceso, las bacterias “comen” electrones, los cuales son extraídos de los minerales. Estos electrones forman una especie de batería dentro de la bacteria, creando una diferencia de potencial que genera energía, al igual que en una pila. Esta energía es almacenada para luego utilizarla en los distintos procesos metabólicos. Además, estos microorganismos necesitan carbono, pero lo obtienen del aire en forma de CO<sub>2</sub>, no de los hidratos de carbono.

A este tipo de microorganismos se los llama “bacterias oxidantes” porque al obtener los electrones oxidan ciertos minerales. La utilización de bacterias permite explotar recursos minerales que son muy difíciles y costosos de lixiviar químicamente. En cambio estos microorganismos son muy eficientes y económicos ya que crecen naturalmente en estos medios.

“El Cuaderno de Por Qué Biotecnología” es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



## El Cuaderno de Por Qué Biotecnología

EDICIÓN

La primera bacteria identificada capaz de lixiviar fue *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Fue en 1947 cuando se descubrió que era la responsable del gran deterioro que sufrían los equipos metálicos en las instalaciones de una mina española, debido a su gran capacidad de oxidación de las aguas. Diez años más tarde se encontró la misma bacteria en drenajes ácidos de minas de carbón a cielo abierto.



El nombre de esta bacteria extremófila indica varias cosas: *Acidithiobacillus*, es acidófilo, porque crece en pH ácido, es *thio*, porque es capaz de oxidar compuestos de azufre y es un *bacillus*, porque tiene forma de bastón, y *ferrooxidans*, porque además puede oxidar el Hierro.

Estas bacterias extremófilas (ver Cuaderno N° 57) lixivian, es decir, disuelven las rocas o minerales y los solubilizan. Mediante una reacción de oxidación, convierten al Sulfuro de Cobre ( $\text{CuS}$ ) que es sólido en Sulfato de Cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) soluble en solución acuosa, a partir de la cual se puede recuperar el cobre como metal. El metal se recupera utilizando electrodos de acero (planchas) sobre los que, por un proceso electroquímico, se deposita el cobre precipitado. Así, se obtienen cátodos de cobre de alta pureza, listos para ser exportados.

A partir de una serie de experimentos que se desarrollaron en Sudáfrica se descubrió que si se conservan estas bacterias en agua con un bajo contenido de ácido y azufre a una temperatura de unos 75 grados centígrados, en cuatro días pueden convertir el mineral de cobre en una solución de 30 gramos de cobre puro por cada litro de agua, la cual es luego enviada a una refinería, donde se desarrollan las etapas de extracción y purificación.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.

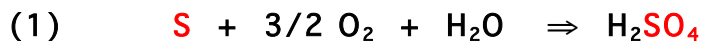


El cobre es el metal que se recupera en mayor medida por esta metodología. Chile, que comparte la cordillera y sus recursos mineros con nuestro país, es el mayor exportador mundial de cobre y obtiene aproximadamente el 5 % por biolixiviación.

### Otras bacterias que “comen” minerales

Además de *Acidithiobacillus ferrooxidans*, existen otras bacterias que solubilizan minerales de sulfatos de elementos de transición (como por ejemplo, cobre). Entre ellas se encuentran *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Acidithiobacillus caldos* y *Leptospirillum ferrooxidans*. El uso de estas especies de bacterias en biominería a nivel industrial, está asociado directamente a su carácter de acidófilos (“afines a los ácidos”) y a los

escasos requerimientos de nutrientes e infraestructura necesarios, debido a que no requieren fuentes orgánicas de energía ni mantenimiento de temperaturas elevadas. Las especies correspondientes al género *Acidithiobacillus* son capaces de catalizar la oxidación de compuestos reducidos de azufre (como sulfuro, azufre elemental, tionatos, etc.) utilizando oxígeno como aceptor electrónico y generando ácido sulfúrico como producto final, según la siguiente ecuación química:



Compuestos  
de

Ácido  
sulfúrico

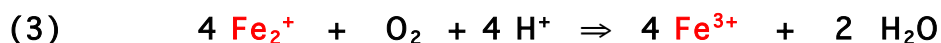
De este modo, estas bacterias pueden ser utilizadas en forma directa, para la recuperación de metales asociados a sulfuros (en la medida que los sulfatos respectivos sean solubles). Así, si **M** representa a un metal asociado a sulfuros, estos microorganismos catalizan la siguiente reacción:



Metal asociado a  
sulfuros

Recuperación del  
metal

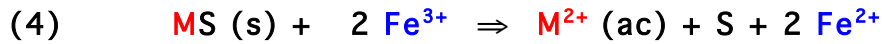
Además, *Acidithiobacillus ferrooxidans* y *Leptospirillum ferrooxidans* son capaces de catalizar la oxidación de hierro (II) también en condiciones aeróbicas:



"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



Estas bacterias hierro-oxidantes, pueden contribuir a la disolución de los sulfuros metálicos por vía indirecta, ya que el  $\text{Fe}^{3+}$  generado en la reacción anterior, es un agente oxidante que puede atacar químicamente a los sulfuros:



Este segundo mecanismo (denominado indirecto) es especialmente interesante dado su carácter cíclico (el  $\text{Fe}^{2+}$  obtenido en (4) es nuevamente utilizado en (3)).

### El desafío de la biotecnología

El gran desafío de la biotecnología es incrementar significativamente la obtención de metales mediante este proceso de bajo costo y más amigable con el medio ambiente. Esto se podrá conseguir conociendo mejor estas bacterias y haciendo su función más eficiente en el proceso tecnológico.

La biotecnología a escala productiva, permitirá aumentar significativamente la extracción del cobre y otros metales, y hará viable técnica y económicamente la explotación de metales en baja concentración dentro del mineral.

Son varias las ventajas de la tecnología microbiana (biominería) sobre los métodos no biológicos, entre ellas:

- ü Requiere de poca inversión de capital (las bacterias pueden ser aisladas a partir de aguas ácidas de minas).
- ü Bajos costos de operación necesarios para las operaciones hidrometalúrgicas.
- ü Relativa ausencia de polución o contaminación ambiental durante el proceso.
- ü Permite el tratamiento de minerales con bajo contenido de metal en las minas, los que no pueden ser económicamente procesados por los métodos tradicionales y habitualmente se acumulan sin ningún tipo de tratamiento.
- ü Permite explotar los recursos mineros en forma más limpia y más económica siendo esta otra ventaja competitiva.

Los beneficios que pueden entregar estos microorganismos han impulsado importantes desarrollos en el área de investigación científica. Por ejemplo, en el año 2004 en Chile, en el marco del proyecto de biolixiviación que lleva a cabo BioSigma S.A., asociación de Codelco y la empresa japonesa Nipon Mining & Metals Co. Ltd., se descubrió una nueva bacteria capaz de biooxidar azufre y hierro.

Junto con el descubrimiento de la nueva bacteria, se trabajó en el secuenciamiento de su genoma, identificando cerca del 95% de su material genético, incluyendo los genes responsables de acelerar el proceso de biolixiviación, en especial el que se refiere a la disolución de la calcopirita, que es la especie mineralógica mayoritaria en

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



# El Cuaderno de Por Qué Biotecnología

EDICIÓN

los recursos de cobre primario. En este contexto, un grupo de matemáticos del proyecto genoma tiene como objetivo elaborar métodos técnicos y matemáticos para el modelamiento de problemas biológicos.

El proyecto se divide en dos etapas de análisis del genoma de la bacteria: secuenciar el ADN de *Acidithiobacillus ferrooxidans* y después, identificar los genes. Finalmente, los científicos podrán describir la regulación del genoma, explicar las vías metabólicas y el análisis de expresión génica.

La colaboración sobre el tema se efectúa a nivel internacional, y para eso se constituyó una red de trabajo donde están involucrados muchos científicos franceses, chilenos y brasileños. Juntos trabajan sobre métodos matemáticos e informáticos en biología.

En la actualidad, además de 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.

En el noroeste de Estados Unidos existen diversas minas de carbón, en donde la presencia de estas bacterias en las aguas que fluyen por grietas y filtraciones ha producido problemas de acidificación de suelos fértiles, un inconveniente que tal vez

pueda ser resuelto gracias a la ingeniería genética. Aún queda mucho por descubrir, por lo que se pueden presentar otras opciones para la innovación tecnológica.

## **Biominería en la Argentina**

En Argentina, con el fin de mitigar el impacto ambiental que provocan las actividades mineras tradicionales, el grupo de investigación del Dr. en Ciencias Químicas Edgardo Donati, especialista del Centro de Investigación y Desarrollo en Fermentaciones Industriales (Cindefi), perteneciente al CONICET, y docente en la Universidad Nacional de La Plata, aboga por la puesta en marcha de la biominería como una alternativa más amigable con el medio ambiente.

Dentro de las líneas de investigación de este grupo de trabajo se encuentran:

- Biolixiviación de Minerales
- Mecanismos en la biolixiviación
- Inmovilización de bacterias (azufre-oxidantes y sulfato-reductoras)
- Remoción de metales a partir de residuos sólidos o sedimentos industriales por acción biológica
- Precipitación de iones metálicos por acción biológica
- Reducción de cromo(VI) y otros iones por acción biológica

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



# El Cuaderno de Por Qué Biotecnología

EDICIÓN

El avance tecnológico y ecológico en el área de biominería propuesto por Donati viene a acompañar la creciente resistencia popular a la instalación de minas contaminantes, como fue el caso de los habitantes de Esquel en contra de una explotación de oro cerca de la ciudad. La idea de este científico argentino puede convertirse en un aporte clave para el futuro de la actividad.

Donati afirma que “el compromiso de los sectores científicos y tecnológicos de la sociedad debería ser el desarrollo de tecnologías más limpias o procesos de tratamiento de emisiones y residuos más confiables y baratos”. Y remarca que “la minería tradicional tiene un impacto ambiental muy potente, y el uso de bacterias puede reemplazar parte de ese impacto ambiental”.

La biolixiviación reduce costos de producción y el impacto ambiental ya que no produce emisiones atmosféricas. Las primeras bacterias con altas propiedades biolixivantes fueron aisladas en 2004. El uso de esta innovación tecnológica hace más productivo el procesamiento de mineral, transformando recursos sub-económicos en económicos.

"El proceso de biolixiviación es similar al de fundición, con la diferencia que en este caso es una solución acuosa. El mineral es energía y los microorganismos necesitan de ella. El desafío es combinar esta fuente energética y la capacidad de producción para producir cobre.

## CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

Este Cuaderno se adapta preferentemente para el trabajo con alumnos de Secundario ya que ahonda en conceptos de la química que requieren ciertos conocimientos previos.

De todas formas, es posible incluir el tema con alumnos de niveles inferiores en biología, en geología o en geografía al trabajar temas como recursos naturales, su aprovechamiento y su impacto ambiental.

Se sugieren a continuación algunos conceptos para trabajar con los alumnos previamente o durante el trabajo con este Cuaderno:

- Recursos naturales. Son las fuentes de energía o materiales que se emplean para construir objetos, útiles y valiosos para la sociedad. Los recursos tienen un aspecto “social” a tener en cuenta, ya que su incidencia y valoración cambia en el tiempo y en las sociedades de acuerdo con los cambios en los hábitos de vida y de consumo.
- Impacto ambiental. Se puede definir el impacto ambiental como cualquier alteración, positiva o negativa, de las propiedades físicas, químicas o biológicas del medio, causada por la actividad humana que, directa o indirectamente, puedan afectar el aire, el agua, el suelo, el clima, el paisaje y los seres vivos, entre ellos el hombre, sus condiciones de vida y sus propiedades culturales. Cuando el cambio

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



# El Cuaderno de Por Qué Biotecnología

EDICIÓN

que se produce en el ambiente provoca un desequilibrio en el ecosistema se habla de *contaminación*.

- Equilibrio y contaminación. En relación con los recursos, la extracción del medio físico de materiales y energía necesarios para el desarrollo de las grandes poblaciones humanas produce variaciones en el medio ambiente que no siempre se revierten en forma natural y espontánea. Es decir que alteran el equilibrio.
- Desarrollo sustentable. Este concepto se relaciona no solo con el tema trabajado en este Cuaderno, sino con otros temas abordados en Cuadernos anteriores, como la biotecnología agraria y bioplásticos, entre otros. La Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo define el desarrollo sustentable como “aquel que satisface las necesidades actuales de la humanidad sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”. Es decir que se propone mejorar la calidad de vida de las personas sin poner en peligro la capacidad de carga de los ecosistemas, que son el soporte de la vida. El uso de los recursos naturales de forma controlada y limpia, es un aspecto importante para el desarrollo sustentable.
- Quimiosíntesis. Como ya se mencionó en otros Cuadernos, es importante hacer notar a los alumnos las funciones beneficiosas que cumplen muchos microorganismos y el aprovechamiento que el ser humano puede hacer de esto para su beneficio y el del ambiente. Por ejemplo, como descomponedores en el ecosistema, como productores de sustancias bactericidas, su utilización en la industria alimenticia y farmacéutica y, en este caso, como medio para la extracción de metales de forma más limpia (esto se asocia también con el concepto de *biorremediación* trabajado en el Cuaderno N° 36). En este sentido, es importante aclarar con los alumnos que los microorganismos no actúan “intencionalmente” en beneficio del hombre, sino que incorporan las sustancias del entorno como el resto de los seres vivos, lo que les permite nutrirse y sobrevivir, y el ser humano aprovecha estas funciones. Justamente, en este Cuaderno se trabaja a partir del aprovechamiento que hace el hombre de una forma de alimentación de las

bacterias denominada *quimiosíntesis*. Habitualmente, al hablar en la escuela de organismos autótrofos se hace referencia a la fotosíntesis. Sin embargo, es interesante que los alumnos comprendan que este es solo uno de los procesos por los cuales los organismos autótrofos obtienen su alimento. Existen otros procesos que permiten a los organismos obtener las sustancias complejas que les sirven de alimento. Entre estos procesos se mencionan la *quimiosíntesis*, que consiste en *la obtención de materia orgánica a partir de inorgánica utilizando la energía desprendida de la oxidación de sustancias inorgánicas sencillas en reacciones químicas de oxidación- reducción*, en lugar de la energía lumínica. Los organismos

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.





# El Cuaderno de Por Qué Biotecnología

EDICIÓN

que realizan estos procesos se denominan *quimioautótrofos*; son bacterias y muchas de ellas son la fuente básica de alimentación para el resto de organismos del suelo oceánico, en las fallas termales y en otras hábitat extremas en las cuales la luz solar es incapaz de alcanzar. El carbono lo obtienen del CO<sub>2</sub>, y el resto de elementos a partir de sales inorgánicas, por lo que pueden vivir en soluciones de sales minerales en ausencia de luz.

- Metales y no metales. Se sugiere trabajar con docentes de químicas o de geología la clasificación de los elementos en metales y no metales, y las propiedades de cada uno de ellos. Con alumnos de Secundario se puede trabajar en el análisis y comprensión de las ecuaciones químicas que representan el proceso de recuperación de metales. También se sugiere trabajar las etapas que abarca el proceso metalúrgico por el cual se obtienen los metales libres a partir de los minerales metálicos.

- Mineral. Este es otro concepto que se usa corrientemente y que en el lenguaje particular de las ciencias naturales tienen un significado más riguroso. El término "mineral" se suele emplear en la vida cotidiana con múltiples significados (agua mineral, alimentos ricos en minerales, riqueza minera de un lugar, etc.). Sin embargo, estos significados no siempre coinciden con la definición más rigurosa que emplean los geólogos: "*Sustancias sólidas inorgánicas, de origen natural, que presentan una composición química más o menos constante y una estructura cristalina definida*". Habitualmente los minerales aparecen asociados entre sí formando rocas. Un yacimiento es una concentración natural de determinado mineral o grupo de minerales que suscita interés, fundamentalmente económico. Aquellos minerales a partir de los cuales, mediante tratamientos adecuados, se obtienen los metales, reciben el nombre de *minerales metalíferos*. Los metales más comunes son el cobre, el hierro, el aluminio, el manganeso. El plomo y el zinc. En la Argentina existen numerosos yacimientos de minerales metalíferos, algunos de los cuales están en explotación.

## CONCEPTOS RELACIONADOS

Este Cuaderno se pueda aplicar al trabajar: recursos naturales, microorganismos: estructura y función; organismos autótrofos; elementos químicos; minerales y metales;

metalurgia; actividades humanas e impacto ambiental; biotecnología moderna y ambiente; desarrollo sustentable.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.

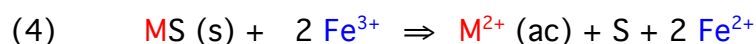


## ACTIVIDADES

### Actividad 1. Revisión de conceptos

Se propone que los alumnos respondan el siguiente cuestionario a modo de repaso de los temas abordados en la sección teórica.

1. ¿Cuál es el método más utilizado a escala industrial en la extracción de cobre? **Rta:** tradicionalmente se utiliza la pirometalurgia, por la cual el cobre es extraído de los minerales por tratamiento con altas temperaturas.
2. En la sección teórica se dice que el método de extracción llamado hidrometalurgia, en realidad debería llamarse **biohidrometalurgia**. ¿A qué se refiere esta afirmación? **Rta:** la hidrometalurgia es el proceso por el cual, el metal es extraído por tratamiento a bajas temperaturas y con algún líquido en que el metal sea soluble. Pero hace unos 60 años se descubrió que este proceso se puede llevar a cabo sólo con la presencia de ciertos microorganismos que habitan dentro del mineral.
3. ¿A qué se refiere la idea de “Bacterias que `comen’ metales”? **Rta:** se refiere al proceso llamado **biominería**, en la que se utilizan bacterias especiales que se alimentan de minerales, permitiendo la liberación de los metales que se encuentran en su interior.
4. ¿Qué características en común tienen estas bacterias come-metales? Mencionar las más conocidas. **Rta:** todas estas bacterias son quimiolitotróficas (se alimentan de minerales); son extremófilas, es decir que pueden vivir en condiciones extremas de acidez (bajo PH); son "bacterias oxidantes" porque al obtener los electrones oxidan ciertos minerales. Dentro de este grupo se encuentran: *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Acidithiobacillus caldos* y *Leptospirillum ferrooxidans*.
5. En la sección teórica se indica que algunas bacterias catalizan la siguiente reacción:



"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



# El Cuaderno de Por Qué Biotecnología

EDICIÓN

a) ¿Qué tipo de bacterias la realizan? Rta: Son bacterias hierro-oxidantes: *Acidithiobacillus ferrooxidans* y *Leptospirillum ferrooxidans*

b) ¿Cuál es el resultado de esta reacción? Rta: como resultado se libera el metal ( $M^{2+}$  en la fórmula) que estaba unido al azufre en forma de sulfuro de metal (MS en la fórmula)

6. Mencionar algunos beneficios de utilizar la biominería frente a los métodos tradicionales no biológicos. Rta: ver sección teórica.

## Actividad 2: Un caso concreto en Argentina

Fuente: Diario Hoy.net. 03-07-05

Varias regiones de la Argentina están sensibilizadas por algunos riesgos ambientales que ocasiona la producción minera. Uno de los hechos más recientes está vinculado con la perspectiva de explotación a cielo abierto de minas de oro, lo que implica el uso de una importante cantidad de cianuro (entre 300 y 2.000 gramos por tonelada de mineral tratado). La preocupación radica en los efectos que puede provocar el cianuro sobre animales y seres humanos, como también por los casos denunciados de incidentes y accidentes ocurridos en diversas partes del mundo alrededor de este tipo de explotaciones. El caso más conocido es el que se registró hace algunos meses en la ciudad de Esquel (provincia de Chubut), donde la zona de explotación de una mina de oro iba a instalarse prácticamente al lado de la población. Los vecinos se opusieron y la postura fue ratificada en una consulta popular. "Existen variados y muy eficaces tratamientos para efluentes de cianuro y metales; aunque sus costos, casi prohibitivos, señalan que es altamente improbable que las compañías mineras los utilicen", afirmaron varios especialistas cuando estalló el escándalo. Y agregaron: "En caso de reemplazar el cianuro por otros reactivos, en muchos casos, el impacto ambiental incluso puede incrementarse". Ante este panorama, son cada vez más aquellos que ven en la biominería una alternativa para evitar, aunque sea en partes, la contaminación.

### Preguntas para analizar el artículo

1. Se propone que los alumnos investiguen sobre este caso, tan difundido por los distintos medios de comunicación. Para ello se sugiere:
  - a. realizar una búsqueda en medios gráficos,
  - b. analizar los argumentos a favor y en contra presentados por las diferentes partes,
  - c. conocer las conclusiones a las que llegaron,
  - d. evaluar el estado actual de la situación.
2. ¿Qué mineral se extrae de las minas? Rta: en las minas a las que se refiere el artículo, se extrae mayormente oro.
3. ¿Qué compuestos se emplean en la extracción del metal y en qué cantidad? Rta: para la extracción se emplea cianuro, un compuesto altamente tóxico, en cantidades que van desde 300 a 2.000 gramos por tonelada de mineral tratado.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



4. ¿Cuál es el motivo de preocupación de los habitantes de la región? **Rta:** La mayor preocupación se debe a que los elevados costos de tratamiento de efluentes no permitirán que la descontaminación se haga de una manera correcta.
5. ¿Qué podría aportar la biotecnología en lograr una extracción de metales más amigable con el ambiente? **Rta:** Una de las alternativas es el empleo de la biominería, uso de microorganismos que se encuentran naturalmente en las minas y se encargan de degradar minerales, extrayendo los metales que se encuentran en su interior.

### Actividad 3: Completar el texto

**Nota:** en la siguiente actividad se propone que los alumnos completen en texto con los siguientes términos:

*Extremófilos- cobre- ácido- biológicos- glucosa- oxidación- biominería- quimiolitautotróficas- inorgánicos- microorganismos- energía.- altas- oxidación- célula.*

### Biominería: La Biología ayuda a la Minería

Fuente:<http://www.explora.cl/otros/biotec/biolixi.html>

La aplicación de agentes \_\_\_\_\_ en procesos mineros es la \_\_\_\_\_. En la biolixiviación se utilizan \_\_\_\_\_ que obtienen su energía de la \_\_\_\_\_ de compuestos inorgánicos: son las bacterias \_\_\_\_\_, literalmente, bacterias que comen piedras. Son organismos \_\_\_\_\_, es decir, que viven en condiciones extremas, en este caso, las normales de los minerales: pH \_\_\_\_\_ y \_\_\_\_\_ concentraciones de metales. Los seres humanos oxidamos la \_\_\_\_\_ para conseguir \_\_\_\_\_ y a partir de ésta fabricamos todos los componentes celulares; las bacterias quimiolitautotróficas utilizan la \_\_\_\_\_ de compuestos \_\_\_\_\_ para generar todos los componentes de la \_\_\_\_\_. Esta capacidad metabólica es la que se aprovecha para solubilizar \_\_\_\_\_.

### Respuesta:

La aplicación de agentes **biológicos** en procesos mineros es la **Biominería**. En la biolixiviación se utilizan **microorganismos** que obtienen su energía de la **oxidación** de compuestos inorgánicos: son las bacterias **quimiolitautotróficas**, literalmente, bacterias que comen piedras. Son organismos **extremófilos**, es decir, que viven en condiciones extremas, en este caso, las normales de los minerales: pH **ácido** y **altas** concentraciones de metales. Los seres humanos oxidamos la **glucosa** para conseguir **energía** y a partir de ésta "El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



# El Cuaderno de Por Qué Biotecnología

EDICIÓN

fabricamos todos los componentes celulares; las bacterias quimiolitioautotróficas 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](#).

## MATERIAL DE CONSULTA

- <http://www.mobot.org/jwcross/phytoremediation/Biotecnologia.htm>  
*Biotecnología en la disolución y recuperación de metales.* Biólogo José J. Guerrero Rojas
- <http://www.explora.cl/otros/biotec/biolixi.html> Sitio Explora del CONICYT, Chile. En esta sección se encuentra una explicación sencilla de la biominería
- <http://www.conicyt.cl/dossier/julio/D110703/biolixivacion.html> Página del CONICYT que cuenta sobre el proyecto de bioinformática aplicada a biominería.
- El libro de la Naturaleza 9. E.G.B. Bloque 4: La Tierra y sus cambios. Editorial Estrada (1999).
- <http://www.biotech.bioetica.org/clase2-7.htm> Biotecnología aplicada a microorganismos. Entre los temas desarrollados se encuentran la biominería y biorremediación.
- Sitio "Innovación minera en Chile".  
<http://www.innovacionminera.cl/contenidos.phtml?seccion=3&contenido=253> .  
En este sitio se puede acceder a un archivo adjunto sobre biolixiviación:  
[http://www.innovacionminera.cl/archivos/biolixivacion\\_adjunto.pdf](http://www.innovacionminera.cl/archivos/biolixivacion_adjunto.pdf)

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.