

Minerales y medioambiente

Mineral resources and the environment

JAVIER CARRILLO-ROSÚA^{1,2}, SALVADOR MORALES-RUANO^{1,3} Y MARÍA GRACIA BAGUR GONZÁLEZ^{1,4}

¹ Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (UGR-CSIC), Avda. de Las Palmeras 4, 18100, Armilla (Granada).
E-mail: jfcarril@ugr.es; smorales@ugr.es; mgbagur@ugr.es

² Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Granada, 18071, Granada.

³ Departamento de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias, Avda. Fuentenueva s/n, Universidad de Granada, 18002, Granada.

⁴ Departamento de Química Analítica, Facultad de Ciencias, Avda. Fuentenueva s/n, Universidad de Granada, 18002, Granada

Resumen La temática de este taller se centra en los minerales y el medioambiente. Se incluyen diferentes actividades prácticas en las que se realiza una presentación general de la problemática de estudio con visionado de vídeos (actividad 1), se trabaja en la localización de yacimientos minerales usando la herramienta Google Earth (actividad 2), se identifican algunos minerales portadores de metales a partir de sus propiedades (actividad 3), se busca la relación entre objetos de la vida cotidiana con los minerales (actividad 4), y se trabaja mediante un diseño experimental sobre uno de los problemas ambientales que generan la extracción mineral de algunos tipos de yacimientos minerales, como el drenaje ácido de mina (actividad 5). El material requerido es muy sencillo y solo en la actividad 5 se necesita un montaje de laboratorio algo más complejo pero por otra parte asequible. El enfoque del taller es interdisciplinar abordando aspectos de la geología, el medioambiente (área transversal en sí misma), y de la química.

Palabras clave: Enseñanza de la geología, Medioambiente, Recursos minerales, Drenaje Ácido de Mina.

Abstract *This workshop is focused on minerals and the environment. It includes several practical activities: a video viewing for a general presentation of the theme (activity 1), tracing of mineral deposits using Google Earth (activity 2), identifying some metal-bearing minerals based on their properties (activity 3), looking for the relationship between everyday objects and minerals (activity 4), working on an acid mine drainage, one of the environmental problems generated by the extraction mineral in some types of mineral deposits, by means of an experimental design (activity 5). The material required is very simple and only activity 5 needs a more complex, but affordable, laboratory setup. The approach of the workshop is interdisciplinary. Thus in addition to addressing a geological topic (and an environmental topic, which is transversal itself), it deals with chemistry concepts and procedures.*

Keywords: *Geology education, Environment, Mineral resources, Acid Mine Drainage.*

INTRODUCCIÓN

Con este taller se trata de aportar ideas para abordar desde un punto de vista práctico e interdisciplinar, dentro del ámbito de las ciencias, un tema de actualidad como es el impacto del ser humano en el medioambiente, enfocado desde la perspectiva de los recursos minerales. Se propone un conjunto de actividades que se pueden desarrollar sin que se requiera medios de difícil acceso, a un coste asequible y que intentan ser atractivas para el alumnado

de Enseñanza Secundaria Obligatoria y Bachillerato en el ámbito de las ciencias. Parte de esta propuesta se ha implementado en diferentes jornadas que se vienen organizando en la Universidad de Granada para la divulgación de la ciencia y el fomento de vocaciones científicas, dirigidas entre otros al alumnado de Educación Secundaria, como por ejemplo Semana de la Ciencia, Proyecto Ciencia y Sociedad, Campus Científicos de verano, etc. La apreciación de los autores es que la actividad ha sido de gran



utilidad y ha servido para estimular el interés de los participantes por la ciencia y por la geología o la química en particular.

PLANTEAMIENTO DEL TALLER

El ser humano para su subsistencia y desarrollo depende de los recursos que puede obtener de la Tierra. Los recursos naturales pueden ser renovables o no renovables. Dentro de los últimos estarían rocas y minerales, que a diferencia de los primeros no se regeneran a escala humana. A su vez las rocas y los minerales se pueden utilizar para obtener de los mismos ciertos elementos químicos de interés (recursos minerales), para usarlos por sus propiedades específicas de interés para las actividades humanas (minerales y rocas industriales) o para generar materiales con los que realizar las construcciones de todo tipo que se llevan a cabo (rocas ornamentales) (Evans, 1997).

Desde su origen, que el ser humano ya usaba el sílex para crear algunos utensilios con los que realizar tareas básicas para la subsistencia como la caza, hasta nuestros días, donde se ha llegado a nuestro máximo de dependencia de los recursos minerales, nunca se ha dejado de necesitarlos. Por tanto, en diferente medida siempre se ha tenido interés por conseguir, localizar y extraer estos recursos que en algunos casos son muy poco abundantes.

Si se observa el entorno, los minerales y las rocas forman parte de la mayoría de los materiales que nos rodean en nuestra vida cotidiana. Desde que nacemos, que nos “iniciamos” con el consumo de polvos de talco, hasta que morimos, que empleamos rocas ornamentales, cemento, ladrillos... para confeccionar las sepulturas, desde que nos levantamos (gracias a un reloj fabricado con diferentes metales que, a su vez, se obtienen de minerales), hasta que nos acostamos y apagamos la luz (... que se emite mediante una lámpara que lleva diferentes componentes metálicos), en nuestro entorno estamos rodeados de objetos que se fabrican, en diferente proporción, con una o más sustancias que son en sí mismas minerales o rocas, o que se obtienen a partir de ellos. Un ejemplo de actualidad a considerar sería el caso el de los artículos tecnológicos, como teléfonos móviles, ordenadores, etc. consumibles “imprescindibles” en nuestra sociedad, que quizás se pudiera pensar alejados de los recursos minerales. Dichos productos tienen diferentes componentes que provienen en último término de minerales y rocas. Se puede destacar los que contienen tantalita (micro-condensadores) o neodimio (imanes permanentes), no porque estos elementos se requieran en grandes concentraciones, sino porque aun utilizándose en bajos contenidos, son metales que se concentran en minerales como

columbita tantalita o monacita, que raramente se encuentran en cantidades suficientes para dar lugar a yacimientos minerales. Además, especialmente en el primer caso, concurre la circunstancia de que parte de los yacimientos minerales más importantes se encuentran en países en conflicto (Santo y Curto, 2008). Esto hace que en los países desarrollados se tenga muy en cuenta y se estudien los riesgos para el abastecimiento de las materias primas (European Commission, 2010). Desde el punto de vista educativo en los centros docentes estas consideraciones son relevantes para el planteamiento de actividades con enfoque de CTSA (Ciencia-Tecnología-Sociedad-Ambiente) a realizar en el aula de ciencias, o bien interdisciplinares (en este caso con el área de geografía e historia, o incluso con el área de ética).

Por otro lado, la producción mundial de recursos minerales se situaba en el año 2005 en aproximadamente 7.000 millones de toneladas/año (en 1970 no se alcanzaban los 4.000 millones de toneladas), manteniendo una tendencia general de incremento (Rogis y Matos, 2008). Pero su extracción no se puede realizar en cualquier emplazamiento. Los recursos minerales se extraen de determinados lugares de la corteza terrestre en los cuales aparecen en concentraciones muy superiores a la media, en cuyo caso su extracción puede resultar rentable económicamente -yacimientos minerales-. Además, es necesario que su extracción sea viable desde un punto de vista técnico, ambiental, etc., por lo que la localización de los yacimientos minerales para su posterior explotación no es una tarea sencilla (cabe indicar que España ha sido un país con numerosos y variados yacimientos minerales, que han sido explotados desde la antigüedad, destacando zonas como la Faja Pirítica, la zona con mayor concentración de sulfuros de la Tierra).

Para extraerlos de la corteza terrestre, es necesario hacer excavaciones a cielo abierto sobre la superficie de la Tierra (canteras o cortas a cielo abierto) o bien en el interior de la Tierra, realizando perforaciones a modo de pozos y galerías subterráneas (en minas). En ambos casos se pueden producir diferentes impactos sobre el medioambiente, que, si no se adoptan las medidas necesarias para minimizarlos o evitarlos, puede causar daños, a veces incluso irreversibles.

La naturaleza de estos impactos es muy variada (Evans, 1997). Entre otros, se puede decir que es necesario hacer perforaciones a cielo abierto o subterráneas (...imagínese el lector el volumen que pueden ocupar los 7000 millones de toneladas/año citados anteriormente, quizás comparándolo con algo más familiar como el volumen 7000 grandes estadios de fútbol), perforaciones que posiblemente generan escombreras. Estas, además de un efecto antiestético, requieren una ubicación especial; pue-

den liberar sustancias tóxicas (As, Sb, Cd, Hg, Pb...) perjudiciales para los seres vivos; pueden generar aguas ácidas (lo que se conoce como Drenaje Ácido de Mina o "DMA") que pueden atacar a los minerales del medio y liberar, a su vez, determinados elementos tóxicos. Asimismo se pueden producir y poner en suspensión partículas finas y ruido en niveles perjudiciales para la salud, o la calidad del agua del entorno se puede ver afectada e, indirectamente, la vegetación, fauna, etc. Este listado de impactos potenciales es muy prolijo, si bien es cierto que si se tiene previsto estos posibles impactos sobre el medioambiente, se pueden adoptar las medidas necesarias para minimizarlos o incluso evitarlos.

Aunque desde todos los ámbitos se debe tender a reducir el uso de recursos mediante el aumento de la eficiencia de los mismos y la reutilización y reciclaje de los materiales, la extracción de recursos minerales sigue siendo necesaria para el funcionamiento de la sociedad actual. Se plantea así una dicotomía entre la explotación de los recursos minerales, y el impacto sobre el medio, que si bien técnicamente casi siempre se puede minimizar, la implementación de estas medidas ambientales no deja de tener una importante repercusión económica sobre el producto que se extrae. En el difícil equilibrio entre estas dos posturas intervienen numerosas cuestiones en las que se interrelacionan -entre otros- economía, recursos geológicos y sostenibilidad (Pascual, 2008). Las actuales tendencias de la educación ambiental también apuntan en este sentido (Vega y Álvarez, 2005).

ACTIVIDADES DEL TALLER

El taller se concibe como un instrumento transversal para que el estudiante integre los conocimientos que adquiere en diferentes materias científicas (principalmente geología y química). Está constituido por diferentes actividades, pensadas para que se puedan realizar de forma secuencial, pero que, en función del tiempo disponible y de los objetivos que se pretendan alcanzar, también podrían realizarse por separado.

A través de estas actividades, se aporta información general sobre la problemática de estudio (actividad 1), la ubicación de yacimientos minerales representativos (actividad 2), la identificación de algunos minerales portadores de metales (actividad 3), o la relación entre objetos cotidianos y los recursos minerales de los que se extraen (actividad 4). En la actividad 5, se trabaja en torno al Drenaje Ácido de Mina, un tipo de impacto sobre el medioambiente que, por sus características, permite un trabajo interdisciplinar: cómo se genera el DAM consecuencia de la explotación de minerales metálicos, cómo se evalúa la acidez y la lixiviación de metales, la oxidación de los sulfuros...

Actividad o. Introducción

Se recomienda hacer una introducción con el planteamiento del taller, en el que se expliquen los objetivos de cada actividad y, sobre todo, el hilo conductor de todos ellos, que es la necesidad de explotar los recursos naturales de manera que minimicemos los impactos negativos sobre la naturaleza.

Actividad 1: Visionado de videos

Duración:

Variable en función del público al que se dirige. Se recomienda que no supere los 60 minutos.

Material que se necesita:

Ordenador y cañón para proyección de video.

La actividad consiste en el visionado de diferentes vídeos mediante los cuales se introducen diferentes problemáticas relacionadas con los recursos minerales.

En este sentido se recomienda hacer una selección de diferentes vídeos de corta duración. En concreto, el Instituto Geológico y Minero de España publicó una colección de vídeos (IGME, 2008) basados en una mascota de nombre Piqueto, de un carácter marcadamente divulgativo y dirigido a un público juvenil, que los hacen muy recomendables para esta actividad (Fig. 1). Esta colección de vídeos incluye ejemplos representativos de diversos tipos de recursos minerales, explicando dónde se pueden localizar, cómo se pueden extraer, cómo restaurar explotaciones mineras, etc. Este repertorio de vídeos se amplía a través de su web institucional (www.igme.es) en la que, entre otros, se pueden descargar también vídeos con información sobre los espacios mineros de Andalucía.

Asimismo, en www.youtube.com se pueden descargar numerosos vídeos, "adaptables" al público al que se quiere dirigir la actividad (o a su entorno

Fig. 1. Captura de pantalla en la que se ve la introducción del DVD que contiene diferentes vídeos de Piqueto (IGME, 2008), en la que se observan algunas de las opciones que ofrece este recurso didáctico.



geográfico). Basta introducir en el buscador expresiones como “minería”, “impacto ambiental de la minería”, “restauración de canteras/minas”, “minería del futuro”, “desarrollo sostenible”, etc. (o cualquier descriptor del entorno geográfico) y, con bastante probabilidad, se obtienen videos que complementan la visión general del problema que se quiere abordar a lo largo del taller.

Actividad 2: Uso de Google Earth como recurso didáctico

Duración:

Variable. Una hora puede ser un tiempo adecuado.

Material que se necesita:

Ordenador para los alumnos con conexión a internet.

Los recursos minerales no se distribuyen homogéneamente en la Tierra si no que las minas y canteras se ubican en determinados lugares en los cuales las concentraciones del mineral o roca que se explota son muy superiores a la media del planeta. Con esta actividad se pretende que los estudiantes sean conscientes de estas circunstancias con la ubicación de algunas explotaciones mineras. Se propone trabajar con seis metales representativos (por ejemplo, cobre, plomo, zinc, hierro, oro y plata), buscar información sobre explotaciones mineras en las que se extraiga alguno de estos metales y ubicarlas con Google Earth (Fig. 2).

Puede resultar interesante trabajar a dos escalas: buscar información sobre grandes explotaciones de estos metales que sean significativas a escala mundial y buscar también información minera sobre estos metales en el entorno cercano (por ejemplo, en la Comunidad Autónoma), de forma que el alumnado se familiarice también con la im-

portancia de la minería en su entorno.

La actividad puede consistir en los siguientes pasos:

1. Elaborar a partir de bibliografía una tabla con tres explotaciones importantes a nivel mundial y otras tres a escala autonómica para cada uno de los seis metales en cuestión. Esta tabla se puede ampliar con más información: nombre de la mina, metal que se explota, otras sustancias que se extraen (si las hay), empresa que la explota (o que la ha explotado, si es que ha cambiado a lo largo de la vida de la explotación), año de inicio de la explotación minera (y de cierre, si es que está inactiva actualmente), página web (de la empresa que la explota, si está en activo, de algún museo, asociación ..., si está inactiva), etc.
2. Ubicar el punto en Google Earth mediante las “marcas de posición” (las populares “chinchetas”) que ofrece el programa para localizar puntos.
3. Al ubicar el punto con Google Earth, si en el menú “capas” de Google Earth está activada la opción correspondiente, Google Earth generalmente ofrecerá un repertorio de imágenes del sitio, por lo que el alumno podría incluir en su cuaderno alguna imagen representativa de cada una de las explotaciones y añadirle su comentario personal. La misma imagen aérea a baja altura es informativa en las explotaciones a cielo abierto sobre sus dimensiones e impactos. También se puede utilizar el buscador de imágenes de Google.
4. Guardar en “Mis lugares” las diferentes “marcas de posición” ubicadas mediante Google Earth.
5. Hacer un resumen de la actividad en su cuaderno de trabajo, que incluya el material generado. Se debe insistir en todo momento sobre la importancia de citar correctamente la procedencia de las fuentes de información que se utilizan (referencias bibliográficas, páginas web, software, etc.).

Fig. 2. Captura de imagen de Google Earth en el que se han ubicado diferentes indicios mineros de Andalucía, asignando un color diferente según el metal que se extrae (verde: oro; rosa: plata; azul: hierro; celeste: plomo; rojo: cobre; blanco: zinc) y un número a cada uno de ellos para facilitar su localización (1: Tharsis, Huelva; 2: Rodalquilar, Almería; 3: Riotinto, Huelva; 4: Ugijar, Granada; 5: Sierra Almagrera, Almería; 6: Guadalcanal, Sevilla; 7: Riotinto, Huelva; 8: Linares, Jaén; 9: Alquife, Granada; 10: Cala, Huelva; 11: Guadalcanal, Sevilla; 12: Linares, Jaén; 13: Riotinto, Huelva; 14: Gerena, Sevilla; 15: Almonaster la real, Huelva; 16: Tharsis, Huelva; 17: Motril, Granada; 18: Almonaster la Real, Huelva).



Actividad 3: Identificación de algunos minerales a partir de los cuales se obtienen metales

Duración:

Variable. Una hora y media puede ser adecuado.

Material que se necesita:

1. Una pequeña colección de minerales que incluya especies portadoras de los mismos elementos con los que se ha trabajado en la actividad 2. Podrían ser calcopirita, bornita, covellina, malaquita, azurita, cobre nativo, galena, esfalerita, pirita, marcasita, hematites, magnetita, siderita, oro nativo, plata nativa, acantita, pirargirita, ... (si no se dispone de ellas, todas estas especies minerales se pueden conseguir de manera relativamente fácil en tiendas de minerales, ferias o mercados de minerales, o a través de internet).
2. Lupa de mano (preferentemente de 10-15 aumentos), rayador, imán, placa de porcelana, placa de vidrio, ... (Fig. 3)
3. Ordenador para los alumnos con conexión a internet.

La actividad consiste en hacer una identificación de algunos minerales que son portadores de metales a partir de sus propiedades macroscópicas (hábito, exfoliación, fractura, color, raya, brillo, dureza, densidad relativa, magnetismo, etc.). La información necesaria para identificar minerales a partir de sus propiedades puede obtenerse a partir de libros comunes de mineralogía (Klein y Hurlbut, 1997; Schumann, 1997) o de páginas web, en cuyo caso se recomienda utilizar páginas web que verdaderamente puedan servir de referencia, como por ejemplo www.mindat.org o www.webmineral.com, que contienen buscador de minerales por propiedades, según índice alfabético de minerales, por grupos y subgrupos, etc. www.uned.es/cristamine/ o el servidor web de minerales de la Universidad de Valladolid, [//greco.fmc.cie.uve.es](http://greco.fmc.cie.uve.es), también pueden ser de gran utilidad.

Una forma sistemática de trabajar consistiría en que el alumno identifique los minerales de la colección a partir de sus propiedades macroscópicas, utilizando el material bibliográfico. A continuación debe hacer un ficha de cada mineral, en el que incluya el nombre del mineral, su fórmula química, sus propiedades, una fotografía del ejemplar que está identificando, el elemento químico para el cual se utiliza como mena (obsérvese que en la relación de material propuesto hay minerales de un mismo elemento pero no todos son adecuados para extraerlo), etc.

Es importante que el alumnado comprenda que cualquier mineral que contiene un determinado elemento no necesariamente es adecuado para extraer dicho elemento. También que un mismo mineral puede presentar distintas apariencias en cuanto a su coloración, la forma ("hábito") en la que se presenta, etc. Para esto último, puede ser de gran



utilidad consultar los apartados de imágenes de minerales en cualquiera de las páginas web citadas anteriormente.

Idealmente, la práctica se puede complementar con la visita a algún Museo o exposición de minerales planteando los "inconvenientes" que el coleccionismo puede fomentar en cuanto a una forma más de "destrucción" innecesaria de recursos minerales que constituyen parte del patrimonio natural.

Actividad 4: ¿De qué sustancias minerales están hechos objetos de nuestra vida cotidiana?

Duración:

Variable. Media hora.

Material que se necesita:

No es necesario material específico, aunque se puede usar una aplicación elaborada a partir de la herramienta informática gratuita "Hot Potatoes".

La actividad consiste en hacer reflexionar al alumnado sobre como los minerales están detrás de los objetos cotidianos que nos rodean, especialmente en relación con los metales que se requieren para fabricar determinados objetos de nuestro entorno. En el aula será fácil que haya objetos como, relojes, gafas, bolígrafos, clips, lámparas, cerraduras, cables, etc. que se pueden utilizar ya que ponen de manifiesto la importancia para nuestra vida cotidiana de metales como hierro, cobre, zinc, aluminio, oro, plata, etc. También se podría acudir a otros que destacan por estar relacionados con las nuevas tecnologías como los mencionados tántalo, neodimio o los elementos del grupo del platino. Todos se utilizan para elaboración estos y otros muchos objetos del entorno. Además se pueden plantear las posibilidades que hay a nuestro alcance para depositar dichos materiales, una vez que ya no sean útiles, en contenedores de recogida

Fig. 3. Diferentes utensilios que se utilizan en la identificación de minerales a partir de sus propiedades macroscópicas: ácido clorhídrico diluido, lupa, imán, placa metálica, placa de vidrio, ...



selectiva o “puntos limpios” para que puedan ser posteriormente reciclados.

Se puede preparar una presentación de diapositivas en la que se vean objetos y se reflexione sobre los recursos minerales que se utilizan para su elaboración. Más completo y participativo puede ser usar una aplicación realizada con “Hot Potatoes” (Half-Baked Software Inc.), en la que a partir de imágenes de objetos, el alumnado tiene que seleccionar qué metales se usan en su elaboración, el mineral a partir del cual se obtiene el metal, una mina en la que se extrae el mineral, si se puede reciclar y donde hacerlo, etc., de forma que integre e interrelacione diferentes conceptos mientras trabaja con la aplicación informática.

Actividad 5: Estudiando el Drenaje Ácido de Mina a escala de laboratorio

Duración:

Variable. Dependiendo del nivel (Bachillerato) se puede desarrollar entre una hora y media y tres horas. En cualquier caso requiere que el docente dedique un tiempo de preparación adicional para provocar la oxidación de los sulfuros en la columna.

Materiales que se necesitan:

1. *Para la preparación de las columnas de lixiviación*
 - * Material para protección individual: bata de algodón, gafas de seguridad y guantes.
 - * Columnas de vidrio (se pueden utilizar columnas para cromatografía clásica).
 - * Pinzas de Mohr.
 - * Material de escombrera o similar para simular el medio natural en el que se genera el DAM. Este material se utilizará como relleno de las columnas. Alternativamente las columnas se pueden rellenar con pirita comercial mezclada con material inerte (que puede consistir en una arena rica en silicatos, como el cuarzo o feldespato).
 - * Material de escombrera que se podría encontrar en una explotación minera donde las menas estuvieran encajado en rocas carbonatadas.
 - * Distribuidor de agua (puede utilizarse una pequeña regadera).
 - * Agua destilada (se puede comprar en supermercados y grandes superficies).
 - * Agua de lluvia simulada. Dependiendo de la disponibilidad, este tipo de agua puede adquirirse o puede ser preparada en el laboratorio a partir de las sales correspondientes.
 - * Disoluciones diluidas de ácido (básicamente HCl diluido, preparado a partir del ácido comercial de laboratorio, o a partir de agua fuerte, un producto económico que se obtiene fácilmente en droguerías).
 - * Tubos de ensayo.
 - * Gradilla.

2. *Para la cuantificación de la acidez*

- * Papel indicador universal.
- * pH-metro de sobremesa (opcional).
- * Varilla de vidrio.
- * Frasco lavador.

3. *Para la identificación de metales lixiviados: el caso del hierro férrico*

- * Placa de toque.
- * Matraz de 100 mL.
- * Goteros
- * Disolución de ferrocianuro potásico: 4 ó 5 cucharadas de la sal en 100 mL de agua.
- * Disolución de tiocianato potásico: 4 ó 5 cucharadas de la sal en 100 mL agua con 2 M de HCl.
- * Disolución de ácido etilendiaminotetraacético: 5 cucharadas de la sal sódica en 100 mL de agua.

4. *Para la identificación de la oxidación de sulfuros*

- * Tubos de ensayo.
- * Reactivo precipitante: disolver un par de cucharaditas de acetato bárico en ácido acético glacial y añadir agua hasta unos 100 mL. Si se desea mantener en suspensión el precipitado de sulfato de bario añadir unos mililitros de goma arábiga, dejar reposar durante una hora.

En esta actividad se pretende estudiar, desde un punto de vista cualitativo, un problema ambiental importante asociado a algunas explotaciones mineras metálicas, “el DAM”. Por tal se entiende la potencial contaminación de aguas existentes en áreas mineras y se refiere a aguas de drenaje contaminadas que resulta de la oxidación de minerales sulfurados y lixiviación de metales asociados, provenientes de las rocas o minerales sulfurados cuando son expuestos al aire y al agua (Hudson-Edwards et al., 2011). A su vez se aplicarán conceptos químicos para explicar y predecir los fenómenos observados.

En la naturaleza el desarrollo del DAM es un proceso dependiente del tiempo y que involucra procesos de oxidación (tanto química como biológica) y fenómenos físico-químicos asociados, incluyendo la precipitación y el encapsulamiento. A lo largo del tiempo, la química del agua de drenaje cambiará, volviéndose gradualmente más ácida, con concentraciones crecientes de metales y sulfatos. Así, con el tiempo las características del drenaje pueden evolucionar, de ligeramente alcalino hasta neutro y finalmente ácido.

Se pretende provocar a escala de laboratorio dicho fenómeno, utilizando para ello una columna rellena de material de escombrera procedente de una zona de minería de sulfuros metálicos.

Procedimiento (Fig. 4):

Se introduce en la columna una cantidad de material (procedente de una escombrera o preparado mezclando pirita comercial con un material silíceo que simule la tipología de la escombrera) de forma que ocupe una altura aproximada de 10 cm.

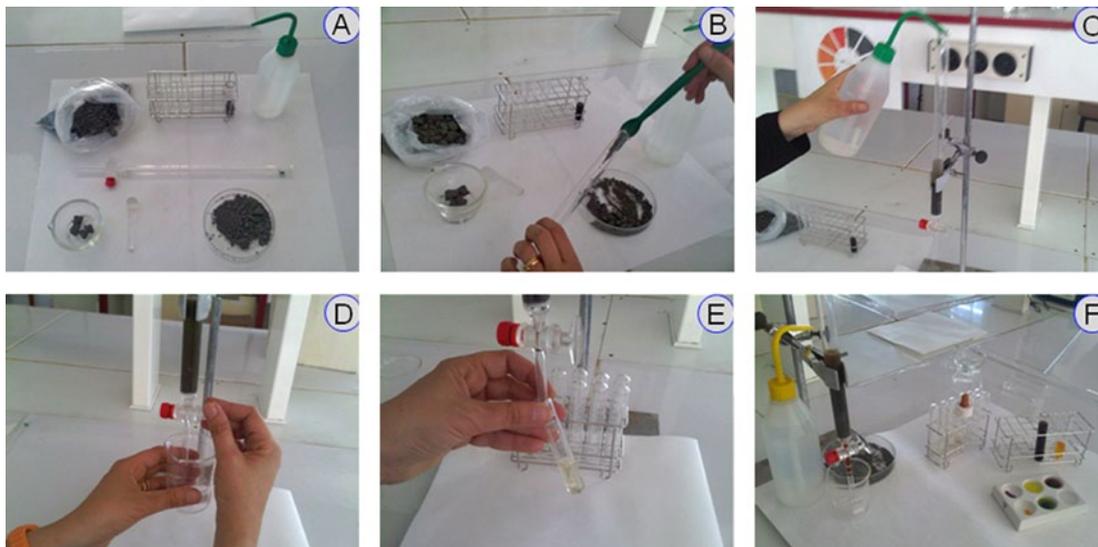


Fig. 4. Estudiando el Drenaje Ácido de Mina: (a) Materiales necesarios para el montaje de la columna de lixiviación; (b) Llenado de la columna con el material procedente de una escombrera; (c) Humectación de la columna con agua de lluvia simulada; (d) Recogida del excedente de agua de lluvia tras la humectación; (e) Recogida de las fracciones de lixiviado para hacer los ensayos de identificación; (f) Material necesario para la realización de la actividad.

Debe procurarse que el tamaño de partícula sea homogéneo. A continuación se hace correr agua destilada o agua de lluvia simulada a través de la muestra para humedecerla. Tras esta operación se vuelve a llenar la columna con agua acidulada y se empoza en la parte superior de ésta, dejándola reposar en campana extractora durante un período no inferior a una semana. Para acelerar la oxidación de sulfuros se puede utilizar una disolución de ácido diluido.

A partir del agua de drenaje, recogida en tubos de ensayo a pie de columna, se recurrirá a reacciones químicas para poner de manifiesto los fenómenos característicos del DAM arriba mencionados, por ejemplo:

- El aumento de la acidez de las aguas de drenaje. Se comprueba mediante la utilización de papel indicador universal. Si se considera adecuado para los contenidos del curso se puede utilizar un pH-metro de sobremesa para medir el pH o, incluso, realizar una valoración ácido-base utilizando hidróxido sódico como agente valorante y un indicador como la fenolftaleína. Con estas experiencias se puede trabajar en el laboratorio conceptos como ácido, base, pH, ecuación de Nernst, indicadores ácido-base y equilibrio ácido-base (Brown et al., 2009).
- Lixiviación de metales en el agua de drenaje. Para poner de manifiesto este proceso se toma como referencia el caso del hierro, asociado a la piritita. Se seleccionan varias reacciones para su identificación. Visualmente se caracterizan por la aparición de una intensa coloración (azul, roja y amarilla, Fig. 5), hecho que se puede utilizar para explicar el significado de “reacción de identificación” (Burriel et al., 1982). Desde el punto de vista del tipo de reacción involucrada se trata de reacciones de formación de complejos. Este hecho se puede aprovechar para explicar cualitativamente este tipo de equilibrio y las características de los equilibrios

de formación de complejos usados para reacciones de identificación (constantes de formación elevadas, reacciones de desplazamiento de ligandos, etc.).

- La oxidación de sulfuros, identificando el producto de oxidación más característico en disolución, “el anión sulfato”. Para ello se recurre a un nuevo tipo de equilibrio químico, el de formación de productos insolubles o equilibrio de precipitación, provocando la aparición de el sulfato de bario, uno de los sulfatos insolubles existentes.

Fig. 5. Ensayos y reacciones utilizados para identificar el DAM y la lixiviación de metales tomando como ejemplo el ión Fe(III).

<p>4</p>	<p>3</p> <p>2</p> <p>1</p>
<p>1. Color azul: Azul de Prusia</p> <p>Reacción: $4\text{Fe}^{3+} + 3\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} \rightarrow [\text{Fe}(\text{CN})_6]_3\text{Fe}_4$ El color azul indica que en las aguas de drenaje se ha solubilizado hierro.</p>	<p>3. Color rojo a amarillo</p> <p>Mezclar disolución de complejo de tiocianato férrico con AEDT. Agitar y ver cambio de color a amarillo</p>
<p>2. Color rojo</p> <p>Reacción: $\text{Fe}^{3+} + 6 \text{SCN}^- \rightarrow [\text{Fe}(\text{SCN})_6]^{3-}$</p>	<p>4. Medida del pH</p> <p>Rojo: pH < 2</p>



Tras una breve descripción sobre la química asociada al DAM y antes de empezar a trabajar en el laboratorio se les distribuye un cuaderno de laboratorio con el que se pretende, entre otras cosas, iniciar a los asistentes en aspectos básicos sobre: (i) seguridad en laboratorios de análisis y (ii) medida de propiedades tales como acidez, solubilidad, color, etc.

Utilizando el material y la metodología necesaria en el laboratorio, se realizarán las experiencias programadas, se identificarán los procesos y reacciones asociadas, se describirán los fenómenos observados así como las propiedades medidas y las relacionarán a los distintos procesos asociados al DAM.

Al final de la actividad se pretende que cada alumno haya completado el cuaderno de laboratorio registrando todo lo que ha necesitado para realizar los experimentos y haya explicado lo que ha ocurrido aportando sus propias ideas sobre lo que han realizado, entendido y aprendido.

CONSIDERACIONES FINALES

Este taller, además de acercar al alumnado con experiencias prácticas al conocimiento de los recursos minerales y a la problemática de impacto ambiental causado por la minería, puede ser de utilidad para introducirlo en la metodología científica y en las tareas investigadoras.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de los proyectos de investigación RNM-732 (Junta de Andalucía) y EDU2008-02059 (Ministerio de Ciencia e Innovación) en la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

Brown, T., LeMay, E., y Bursten, B. (2009). *Química la Ciencia Central*. Undécima edición, México, Prentice Hall.

Burriel Marti, F., Lucena Conde, F., Arribas Gimeno, S. y Hernández-Méndez, J. (1982) *Química analítica cualitativa*. Ed. Paraninfo, Madrid.

European Commission (2010). *Critical raw materials for the EU*. Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials, 84 p.

Evans, A.M. (1997). *An introduction to economic geology and its environmental impact*. Blackwell Scientific Ltd.

Hudson-Edwards, K.A., Jamieson, H.E. y Lottermoser, B.G. (2011). Mine wastes: past, present and future. *Elements*, 7.6, 375-380.

IGME (2008). *Piqueto con los Recursos Minerales y el Medio Ambiente*. Instituto Geológico y Minero de España. DVD. NIPO: 657-08-004-8.

Klein, C. y Hurlbut, C.S. (1997). *Manual de mineralogía*. Ed. Reverté. Barcelona.

Pascual, J.A. (2008). Recursos geológicos, sostenibilidad y medio ambiente. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16.3, 200-209.

Rogich, D.G., y Matos, G.R. (2008). The global flows of metals and minerals. *U.S. Geological Survey Open-File Report* 2008-1355, 11 p.

Santó, R. y Curto, C. (2008). Los minerales son inocentes; las personas, no (minerales y personas). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16.3, 287-294.

Schumann, W. (1997). *Manual para coleccionistas de rocas y minerales: como buscarlos, conservarlos y clasificarlos*. Ed. Omega, Barcelona.

Vega, P. y Álvarez, P. (2005). Planteamiento de un marco teórico de la Educación Ambiental para un desarrollo sostenible. *REEC: Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 4.1, 16 p. ■

Fecha de recepción del original: 01/05/2012

Fecha de aceptación definitiva: 02/06/2012