

De la geosfera a la biosfera: circulación de materia en la naturaleza

Ana Paula L. Rodrigues

Escuela Secundaria Quinta das Palmeiras, Covilhã, Portugal. apliberato@gmail.com

[Recibido en marzo de 2010, aceptado en abril de 2011]

Con este experimento, para alumnos de la educación secundaria, se pretende estimular el gusto por la ciencia experimental. De una manera lúdica, vamos a intentar exemplificar el movimiento de la materia en la naturaleza e ilustrar las consecuencias que los desequilibrios en los ciclos biogeoquímicos pueden tener para los seres vivos.

Palabras clave: Geosfera; Azufre; Lluvia ácida; Biosfera.

From geosphere to biosphere: circulation of matter in nature

The aim of this practice, intended for secondary school students, is to stimulate the interest in experimental science. In a playful manner, we try to illustrate how matter moves in the nature and the consequences of the imbalances of biogeochemical cycles to biosphere.

Keywords: Geosphere; Sulfur; Acid rain; Biosphere.

Introducción

Con esta experiencia no se pretende profundizar en conocimientos de la Física y de la Química, sino promover una actitud positiva hacia la investigación y la curiosidad científica. Esta actividad está dirigida a estudiantes de educación secundaria ya que requiere conocimientos básicos sobre las reacciones químicas.

Se entiende por sistema cualquier parte del Universo que esté constituida por masa y energía. El sistema Tierra está formado por cuatro subsistemas abiertos y dinámicos, que interaccionan entre sí (figura 1):

- la geosfera (rocas o litosfera);
- la atmósfera (capa gaseosa que envuelve la Tierra, envoltorio gaseoso);
- la hidrosfera (todo el agua existente en el planeta, bien en estado líquido, bien en estado sólido);
- la biosfera (todos los seres vivos).

Estos subsistemas son interdependientes unos de los otros y se encuentran en equilibrio dinámico, teniendo en cuenta que las sustancias químicas se mueven de uno a los demás subsistemas (Amparo *et al.* 2007).

El magma contiene gases disueltos que son liberados en la atmósfera durante la erupción. Con la excepción del oxígeno (O_2), generado por la fotosíntesis de las plantas, algas y cianobacterias, todos los demás gases

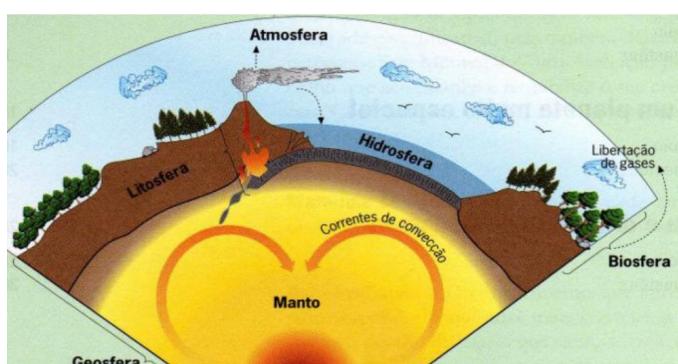


Figura 1. Interacción entre los distintos subsistemas terrestres. (Web 1).

se integraron a la atmósfera a través de erupciones volcánicas. Así, los gases son una parte clave de la actividad volcánica, y entre éstos están el vapor de agua (más abundante), seguido de dióxido de carbono y dióxido de azufre (Symonds *et al.* 1994).

El azufre tiene un ciclo con dos depósitos: uno más grande, en la corteza terrestre y otro, más pequeño, en la atmósfera. Cuando está presente en la geosfera forma grandes depósitos de origen volcánico o se queda almacenado en forma de minerales de sulfato en los sedimentos. Con la erosión, se disuelve en agua en el suelo y toma la forma de ion sulfato (SO_4^{2-}), por lo que se absorbe fácilmente por las raíces de las plantas. En la atmósfera, la mayor parte del azufre existe en combinación con el oxígeno para formar SO_2 (dióxido de azufre). El azufre es esencial para la vida, forma parte de las moléculas de las proteínas, que son vitales para los seres vivos. La naturaleza recicla azufre cuando un animal o planta muere. Los animales obtienen este elemento alimentándose.

Los fenómenos naturales como la actividad volcánica y la descomposición de las plantas, emiten dióxido de azufre a la atmósfera, lo que aumenta la acidez del agua de lluvia, pero no lo suficiente como para causar daño ecológico, ya que el efecto del ácido es neutralizado en contacto con sustancias alcalinas en el agua y el suelo (Schlesinger 1997).

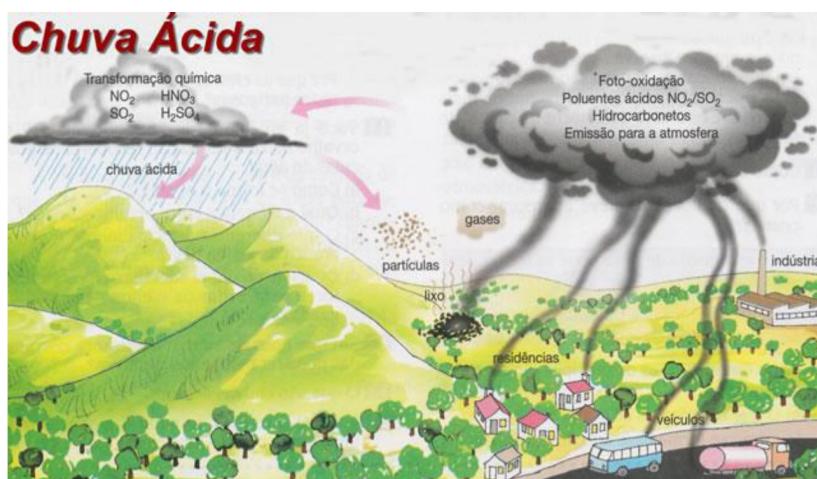


Figura 2. Formación de lluvia ácida (Web 2).

Sin embargo, las actividades humanas tienen un impacto importante en el ciclo del azufre mundial. Debido a la quema de carbón, gas natural y otros combustibles fósiles, ha aumentado considerablemente la cantidad de azufre en la atmósfera, especialmente en las grandes ciudades. Esto explica la fuente del 80% de la contaminación por azufre, lo que contribuye a la formación de smog. Cuando se emite SO_2 como contaminante del aire, se forma ácido sulfúrico a través de reacciones con el agua en la atmósfera (figura 2). En este caso, el pH de la lluvia podría reducirse a 4,3 o a un valor inferior, causando daños en los sistemas naturales.

Con la experiencia que se presenta en este trabajo se pretende simular una erupción volcánica y posterior liberación de dióxido de azufre en el aire. Posteriormente se colecta el gas y se mezcla con agua, formando lluvia ácida. Poniendo invertebrados acuáticos como *Daphnia* en esta agua, los estudiantes pueden observar el efecto del cambio del pH en el ritmo cardíaco y en la vitalidad de estos pequeños crustáceos.

Montaje experimental

Materiales necesarios: Dicromato de amonio (una cuchara sopera); azufre (una cuchara de té); virutas de cinta de magnesio (aproximadamente 1 cm); cerillas; volcán de arcilla o yeso; Erlenmeyer; papel de aluminio; embudo; agua ($\text{pH}=7$) para cultivo de *Daphnias*; cultivo de *Daphnia magna*; lupa o microscopio óptico; placa de Petri o lámina cóncava; medidor de pH; pipetas de Pasteur.

Riesgo: El dicromato de amonio y el azufre son sustancias irritantes que deben manipularse con cuidado, en ambientes ventilados. Si es posible, se recomienda la utilización de un extractor de laboratorio. Estos productos, además, son también inflamables, por lo que se deben respetar siempre todas las medidas de seguridad de la combustión.

Geosfera: Se construye un modelo de un volcán en arcilla o yeso. En los volcanes, a medida que el magma se aproxima a la superficie, la presión disminuye y los gases que lo componen se liberan gradualmente (tal como al abrir una lata de un refresco con gas, el dióxido de carbono se escapa).

Atmósfera: Se comprueba que los gases que se escapan de la erupción volcánica alteran la composición atmosférica.

Para obtener “lluvia ácida”, se simula una erupción volcánica colocando dicromato de amonio y un poco de azufre en polvo en un volcán de arcilla, donde se juntan algunas virutas de cinta de magnesio, dejando algunas en posición vertical (Web 3). Estos productos son fácilmente inflamables cuando se aproxima la llama de una cerilla a una de las virutas de magnesio, iniciándose una reacción que se asemeja a una erupción volcánica con liberación de cenizas y gases como el dióxido de azufre, que es uno de los principales componentes de los gases volcánicos. Por ejemplo, el 13 de mayo de 1991, se liberaron 500 toneladas de dióxido de azufre en la erupción del volcán Pinatubo (Filipinas). En la experiencia, el dicromato de amonio se transforma en óxido de cromo (III) –sustancia sólida de color verde oscuro–, formándose simultáneamente nitrógeno y vapor de agua que proyectan las partículas del óxido de cromo (cenizas) (Web 4). Tenemos, así, los ingredientes de la lluvia ácida: nitrógeno, vapor de agua y azufre. Finalmente, se recogen en un Erlenmeyer los gases liberados y se tapa con el papel de aluminio. La figura 3 ilustra todo el proceso descrito anteriormente.



Figura 3. Erupción volcánica y recogida de gases.



Figura 4. Adición de agua y medición del pH.

Hidrosfera: A través de un embudo, se añade al Erlenmeyer que contiene los gases, agua del cultivo de *Daphnia* (a la que se ha medido previamente el pH que deberá ser cerca de 7), tapando de nuevo y agitando. Se mide nuevamente el pH del agua que deberá ser ahora ácido (figura 4).

Biosfera: La *Daphnia* es un microcrustáceo de agua dulce, con aproximadamente 1,5 mm de longitud (figura 5). Habitante común de las aguas dulces interiores del globo, se alimenta de algas y es la presa principal de varios peces,

siendo vulgarmente designada por “pulga de agua” debido a los movimientos específicos de sus segundas antenas que le dan la apariencia de moverse dando pequeños saltos. Presenta, como todos los crustáceos, un caparazón que, en su caso, sufre un cambio diario.

En condiciones naturales, la *Daphnia magna* se reproduce por partenogénesis cíclica, lo que produce tanto clones de largo término como poblaciones de reproducción sexuada. Sin embargo, en el laboratorio, donde las condiciones ambientales son favorables y constantes, la reproducción sexuada normalmente no se produce y la *Daphnia magna* se reproduce solamente partenogénicamente, originando numerosos descendientes genéticamente idénticos a las hembras progenitoras, lo que permite eliminar la variabilidad de orden genético de los bioensayos. Las *Daphnias* se utilizan frecuentemente como modelo biológico porque se mantienen fácilmente en el laboratorio (figura 5), donde es posible observar con facilidad sus órganos internos, dado que su caparazón es transparente.

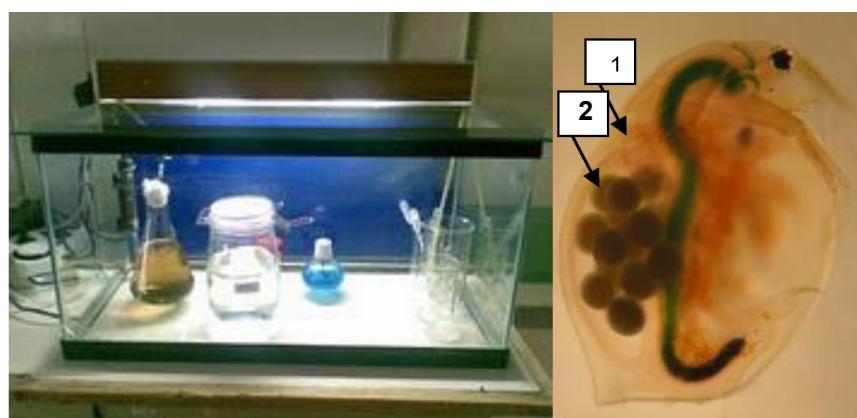


Figura 5. (Izquierda) Cultivo de *Daphnia magna* en el laboratorio. (Derecha) Ejemplar de *Daphnia*, en el que se observa el corazón (1) y los huevos partenogénicos (2).

Estos seres vivos son también buenos bioindicadores, siendo sensibles a las alteraciones físico-químicas del agua, particularmente al pH. No soportan grandes alteraciones en este parámetro, por lo que se usan con profusión en bioensayos toxicológicos, concretamente en los análisis requeridos por la legislación europea para la evaluación ecotoxicológica de nuevos agentes químicos, de vertidos urbanos e industriales y de ecosistemas de agua dulce (Web 5).

A partir de un cultivo de *Daphnias* mantenido en el laboratorio, se retiran algunos ejemplares saludables, los cuales se colocan en una placa de Petri o en una lámina cóncava, utilizando como medio de montaje el propio medio de cultivo. Se observan en el microscopio óptico, con una pequeña ampliación y se cuenta el número de latidos cardíacos por minuto. Con la ayuda de una pipeta de Pasteur se colocan las *Daphnias* en nuevas láminas, que contienen agua acidificada por los gases expulsados por el volcán y se vuelve a observar en el microscopio, haciendo nuevos registros del ritmo cardíaco, comportamiento y vitalidad del microcrustáceo.

Conclusión

La Tierra es un sistema compuesto, constituido por distintos subsistemas abiertos: atmósfera, hidrosfera, biosfera y geosfera. La compleja interacción de estos subsistemas hace de la Tierra un planeta dinámico que ha evolucionado y sufrido múltiples alteraciones a lo largo de sus 4600 millones de años de existencia. Cambiando los ciclos biogeoquímicos, el hombre provoca desequilibrios demasiado rápidos o intensos, así que muchos organismos son

incapaces de adaptarse, provocando la extinción de especies y la alteración de las cadenas alimentarias.

A través de esta experiencia es posible observar cómo el azufre se transfiere naturalmente de la geosfera a la atmósfera. Sin embargo, si el equilibrio se desplaza a la formación de azufre atmosférico, se causará cambios severos en la hidrosfera y los organismos más sensibles, como el plancton y los invertebrados, pueden desaparecer. La química del agua también cambia la composición química de los invertebrados acuáticos (Havas y Hutchinson 1983), la disminución del ritmo cardíaco y de la vitalidad (o incluso la muerte) de seres vivos como las *Daphnias* están relacionados con la alteración del pH del medio.

Con un pH=5,0, los huevos de los peces se degradan y, aunque los peces adultos y las ranas pueden tolerar este pH, acaban por morir de hambre a medida que sus fuentes de alimento, menos resistentes, van desapareciendo. Cuando la lluvia ácida rompe la cadena alimenticia, la biodiversidad se reduce drásticamente. El bajo pH también libera metales pesados, como el aluminio en los lagos, produciendo que algunos peces segreguen moco en exceso alrededor de las branquias, lo que perjudica su respiración (Web 6).

Agradecimientos

La traducción al castellano de este trabajo ha sido realizada por Carolina Gil Rostra.

Referencias

- Amparo D. S., Gramaxo F., Santos M. E., Mesquita A. F. (2007) *Terra, Universo de Vida, Geología*. Porto, Porto Editora. pp. 10-18.
- Symonds R. B., Rose W. I., Bluth G., Gerlach T. M. (1994) Volcanic gas studies: methods, results, and applications, en Carroll M. R., Holloway J. R. [eds.], *Volatiles in Magmas: Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy* 30, 1-66. <http://volcanoes.usgs.gov/hazards/gas/index.php>
- Schlesinger W. H. (1997) *Biogeoquímica de uma análise das alterações globais*, 2^a ed. San Diego, California, Academic Press. http://www.ufpel.edu.br/iqg/livrovirtual/estanteamb_arquivos/enxofre.pdf
- Havas M., Hutchinson T. C. (1983) Effect of low pH on the chemical composition of aquatic invertebrates from tundra ponds at the Smoking Hills, NWT, Canada. *Canadian Journal of Zoology* 61, 241-249.
- Web 1 <http://e-teacher.blogs.sapo.pt/500.html>
- Web 2 www.uems.br/popciencia/imagens/chuva.jpg
- Web 3 http://www.esb.ucp.pt/twt4/motor/display_texto.asp?pagina=vulcao200405138624895&bd=cec
- Web 4 <http://www.explicatorium.com/LAB-Vulcao.php>
- Web 5 <http://www.cimar.org/BiolVerao/dafnia.htm>
- Web 6 <http://www.explicatorium.com/Chuvas-acidas.php>