

En el estudio de la dinámica de los ecosistemas tiene un papel predominante el conocimiento de los ciclos biogeoquímicos. En este trabajo se ha realizado un análisis de estos contenidos desde criterios disciplinares y didácticos, incluidos los libros de texto, que ha conducido a una serie de consideraciones para su enseñanza. Como síntesis de los aspectos anteriormente citados, se han identificado algunas cuestiones clave sobre los ciclos biogeoquímicos, que se deberían considerar al planificar su enseñanza en Educación Secundaria, desde la perspectiva de algunos problemas socioambientales de relevancia actual.

PALABRAS CLAVE: *Ciclos biogeoquímicos; Educación Secundaria; Contenidos; Problemas ambientales; Libros de texto.*

El papel de los ciclos biogeoquímicos en el estudio de los problemas ambientales en Educación Secundaria

Patricia Esteve*
Mercedes Jaén*

Universidad de Murcia

Introducción

Existe un amplio consenso sobre la necesidad de superar un modelo de enseñanza de las ciencias, basado esencialmente en la difusión y repetición, por otro con mayor potencial para desarrollar las competencias y capacidades fundamentales para los ciudadanos del siglo XXI, sin embargo este objetivo no parece haberse alcanzado en la actualidad.

Para lograr este propósito, es muy importante que el docente tenga acceso a propuestas didácticas flexibles y adaptables a diferentes contextos educativos, que le permitan plantear su docencia desde otro modelo diferente y dis-

tanciado del manejo del libro de texto como única guía (Campanario y Otero, 2000).

Además, hemos de tener en cuenta que el estudio de los procesos naturales se debe proyectar desde enfoques globalizadores que permitan abordar nuestro planeta como un sistema complejo, constituido, a su vez, por subsistemas interrelacionados e interdependientes; haciendo especial énfasis en los efectos producidos por las actividades humanas (Mayer, 1995).

Acercar estos contenidos a contextos reales, contribuirá a asociar la ciencia con problemáticas sociales y ambientales actuales, y ayudará a los estudiantes a ser conscientes del papel del ser humano en una sociedad en continuo cam-

* Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Murcia. mjaen@um.es; peg06616@um.es

☒ Artículo recibido el 22 de diciembre de 2011 y aceptado el 20 de junio de 2012.

bio. Este enfoque podría incrementar el interés de los estudiantes por el papel de los ciclos biogeoquímicos en la dinámica de los ecosistemas y considerar su relevancia en el funcionamiento global del planeta.

El estudio de los ciclos constituye una parte fundamental del tema de los ecosistemas. Su importancia radica en su gran potencial para proyectar una realidad compleja y dinámica. Aunque las relaciones de la biota, que se detallan en el estudio de las cadenas tróficas, son los contenidos predominantes, será indispensable el estudio de los ciclos biogeoquímicos para comprender las conexiones entre todos elementos de la ecosfera (biota, hidrosfera, geosfera y atmósfera).

Así pues, esta idea de dinamismo e interrelación deberá ser clave en la selección de los contenidos dirigidos al estudio de los ciclos biogeoquímicos en diferentes niveles educativos. Es muy importante que los estudiantes adquieran la capacidad de construir e interpretar relaciones multifactoriales e interdependientes, que promoverán una visión científica del funcionamiento de los procesos naturales (Márquez, 2006).

Estas ideas se contraponen con los enfoques reduccionistas y compartimentados que dominan en las programaciones de Biología, a pesar de las evidencias que indican que estos planteamientos fracasan al indagar sobre situaciones complejas, en las que intervienen multitud de factores interrelacionados entre sí (Porlán y otros, 2010).

La complejidad de los modelos teóricos que explican el funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos, hace necesaria una alta capacidad de abstracción que permita interpretar de forma adecuada las relaciones e interacciones que se producen en la interfase biosfera/atmósfera/geosfera/hidrosfera (Del Carmen, 1999; Maldonado y otros, 2007). Así, al plantear la enseñanza de estos contenidos, hemos de tener en cuenta los requerimientos cognitivos necesarios para la comprensión del papel de los ciclos en la naturaleza y las características de los alumnos a los que va dirigida.

También será necesario plantear actividades en las que los alumnos puedan desarrollar des-

trezas relacionadas con el razonamiento analítico, el pensamiento creativo o la argumentación. Fruto de esta combinación, se podría alcanzar una capacidad crítica cimentada en conocimientos científicos, que resulta imprescindible para lograr posicionamientos responsables ante los problemas ambientales de actualidad (Pereiro y Jiménez, 2001).

La mayoría de los alumnos utilizan unos modelos mentales sencillos para explicar las relaciones entre los distintos componentes de los ecosistemas. No tienen en cuenta las relaciones de los seres vivos con el biotopo, simplemente lo consideran como el lugar en el que viven determinados organismos, fundamentalmente animales y plantas, sin tener en cuenta a los seres humanos como integrantes de este medio "natural" (Shepardson y otros, 2007).

Sin embargo, los libros de texto de secundaria se centran en la descripción de los componentes y factores que intervienen en los ecosistemas, lo cual dificultará la construcción de un modelo dinámico coherente con la realidad interactiva de los procesos naturales (Jiménez, 2000).

Las ilustraciones de estos textos llevan a percibir la idea de ciclo como una secuencia lineal de fenómenos rígida y cerrada, independiente de las condiciones en las que tiene lugar, y finalista (Maldonado y otros, 2007). Sin embargo, los ciclos son sistemas complejos, sujetos a cambios de origen natural y otros relacionados con actividades humanas, que a su vez introducen cambios en el sistema, que generan nuevos cambios (Jaén, 2004).

Según Márquez (2006) los ciclos se deben entender como una sucesión espacial y temporal de fenómenos naturales periódicos, donde ha de abordarse su relevancia a nivel global, incluyendo al ser humano como elemento significativo.

En este trabajo, nuestra intención es analizar referentes que puedan servir posteriormente en la planificación y diseño de propuestas didácticas para la enseñanza en secundaria.

Todas las problemáticas señaladas sobre la enseñanza/aprendizaje de los procesos biogeoquímicos y su papel en la naturaleza hacen

inevitable un estudio sobre el enfoque de estos contenidos y sus relaciones más significativas.

En este sentido, hemos realizado un análisis desde el punto de vista disciplinar y didáctico que nos ha permitido considerar la adecuación de estos contenidos en los libros de texto, y señalar las ideas más relevantes sobre los ciclos que hemos de considerar en su enseñanza, con especial atención a las problemáticas socioambientales actuales.

Los ciclos biogeoquímicos desde el punto de vista disciplinar

Para el análisis de contenidos hemos utilizado los criterios aportados por la lógica disciplinar implícita en distintos manuales científicos y artículos (Schlesinger, 2000; Odum, 1985; Colinvaux, 1986; Spiro y Stigliani, 2003 y Marino y otros, 2008). Esto nos ha permitido identificar y estructurar las cuestiones clave, establecer su relación con otras disciplinas y conocer su significación a nivel social y ambiental.

Desde un punto de vista general podemos señalar lo siguiente:

- Los ciclos biogeoquímicos representan un sistema complejo de relaciones con un gran potencial para proyectar la realidad dinámica de los ecosistemas. Permiten incorporar las conexiones con el suelo, biosfera, la atmósfera y la hidrosfera, así como las interacciones entre todos estos elementos, generando un mapa de profusas relaciones en el que se puede evidenciar de forma clara la interdependencia existente entre los componentes de los ecosistemas y así promover un enfoque sistémico de los procesos naturales.

- Su estudio se contextualiza diferenciando ambientes terrestres, acuáticos, marinos y mixtos (como humedales o estuarios). Bajo esta organización, se presentan todos los elementos (nitrógeno, carbono, fósforo, oxígeno y azufre) actuando en su conjunto, resaltando el proceso de reciclado biogeoquímico.

- La biota, se presenta centrada en los productores primarios, debido a sus importantes intercambios, y a su funcionamiento como base

trófica del ecosistema y punto de partida de los flujos de energía. En este ámbito, la estructuración de la biota y sus estrategias fisiológicas tienen gran relación con la disponibilidad de nutrientes, lo que puede vincular directamente los ciclos biogeoquímicos y los procesos de intercambio de materia y energía en la naturaleza.

- En esta línea, también será muy importante, a nivel de biosfera, la consideración de escenarios futuros en estos ecosistemas, teniendo en cuenta el cambio global.

En un análisis de mayor profundidad hemos identificado los conceptos más relevantes, las conexiones, organización, aplicaciones, etc. Las ideas clave en los ciclos biogeoquímicos son las siguientes:

- Importancia del nivel molecular. Las configuraciones moleculares que conforman la base de la bioquímica, como la glucosa o el ATP, entre otras, son de gran importancia biológica. A escala de ecosistema, es la diversidad metabólica la que permite la transferencia de los elementos entre los distintos compartimentos. Por ejemplo la biodisponibilidad de distintos elementos está asociada a distintas combinaciones con oxígeno.

- La evolución de los ciclos en la historia de la Tierra. El conocimiento de las variaciones temporales –sus causas y consecuencias– asociadas a la historia geológica o periodos determinados, conlleva la oportunidad de interpretar situaciones actuales y predecir nuevos cambios. Además permite explicar la influencia en el ecosistema e incluso su significación en la biota. Por ejemplo al explicar la fisiología y las adaptaciones que presentan las plantas superiores, se pueden justificar simbiosis con otros organismos como hongos y microorganismos.

- Problemas ambientales actuales y perspectiva de futuro. La presumible respuesta de los ciclos a la situación de crisis ambiental actual, en especial referida a la considerada progresión climática, y a otros factores como el gradual aumento de la demografía humana o la intensa transformación de usos del suelo. Aspectos de gran relevancia en cuanto a estrategias de explotación de recursos, control de residuos y potenciación del reciclado de los materiales.

– Significado en los ciclos de las alteraciones debidas a las actividades humanas. En este sentido pueden diferenciarse cambios en los ciclos dependiendo de la zona, que a su vez reflejará los modelos de vida predominantes en cada una de ellas. También se pueden asociar a actividades antrópicas en el medio como la agricultura intensiva, la deforestación, emisiones industriales, etc. que alteran los ciclos generando contaminación atmosférica, eutrofización de las aguas y desertización, entre otras alteraciones, que siempre implican cambios en los ecosistemas, pérdida de biodiversidad y consecuencias a nivel social; pasando a considerarse problemas socioambientales.

– Procesos de intercambio y reciclado. Se entiende por intercambio biogeoquímico la movilización de los elementos entre los distintos compartimentos de la ecosfera; y el reciclado biogeoquímicos como la movilización de los elementos dentro de uno de estos compartimentos. La diferenciación entre ambos requiere además precisar las tasas y la escala temporal de cada uno. Estos procesos implican que en los ciclos puedan diferenciarse dos subciclos interconectados: uno de renovación y otro de retención de los elementos.

– Interconexión entre los diferentes ciclos biogeoquímicos. La íntima asociación entre los ciclos se evidencia en el caso del carbono y el oxígeno, estrechamente vinculados en procesos fundamentales como la fotosíntesis y la respiración. El nitrógeno y el fósforo suelen relacionarse como nutrientes limitantes para la producción primaria en el ecosistema, donde además la combinación con oxígeno juega un papel esencial en su biodisponibilidad. Es-

tas asociaciones más sencillas son un acercamiento a la profunda interrelación existente entre todos los ciclos, que se evidencia a nivel de bioquímica celular y se extiende a los ciclos globales. Por ejemplo, la relación de los cinco elementos principalmente estudiados nitrógeno-carbono-oxígeno-azufre la encontramos en la configuración de aminoácidos como la metionina o la cisteína, y también a escala de ecosistema, en las reacciones atmosféricas que tienen lugar entre las emisiones industriales por quema de combustibles fósiles y el vapor de agua, que pueden generar lluvia ácida.

Los ciclos biogeoquímicos desde el punto de vista didáctico

En este apartado consideraremos estos contenidos desde el punto de vista de la problemática de su enseñanza/aprendizaje. Por lo tanto, analizaremos las implicaciones que tiene para su enseñanza las características de estos contenidos, las dificultades específicas que presenta la comprensión del significado de los ciclos, las principales ideas que comparten los estudiantes sobre este tema, la motivación y el interés que pueden despertar y su potencial de transferencia a situaciones reales y actuales.

Al diseñar las estrategias didácticas para su enseñanza hemos de tener en cuenta que la comprensión de estos contenidos comporta unas dificultades que no siempre los alumnos pueden superar. Es necesario **identificar e interpretar** de forma correcta las situaciones de interdependencia existentes en los ecosistemas, que a su vez están determinadas por comple-

80



Fig. 1. Ideas clave sobre los ciclos biogeoquímicos desde el punto de vista disciplinar.

jas relaciones en la que intervienen múltiples factores. Además deben utilizar un modelo dinámico que sea capaz de explicar los ciclos biogeoquímicos como el resultado de la interacción entre diferentes ecosistemas y la injerencia de algunas actividades humanas, en su caso.

Otra dificultad específica en el estudio de los ciclos biogeoquímicos es el manejo adecuado de escalas temporales. La percepción humana dificulta una correcta interpretación del papel del tiempo en la evolución de los ciclos. Por lo tanto será importante incidir en la utilización de escalas geológicas visuales y manejables, que permitan representar y comparar los distintos procesos estudiados.

Estas dificultades serán difíciles de superar con planteamientos metodológicos que presenten estos contenidos de modo exclusivamente descriptivo. Los conceptos ligados a los ciclos biogeoquímicos no pueden derivarse directamente de la observación, más bien todo lo contrario, será necesario un trabajo continuado de interpretación y síntesis para lograr captar la gran complejidad de las relaciones en los sistemas naturales (Del Carmen, 2010). También es bastante improbable que los estudiantes sean capaces de interpretar el papel de los ciclos en la naturaleza de forma autónoma a partir de la descripción de sus principales conexiones (García, 2003).

El enfoque de estos contenidos ha de permitir comprender que los ecosistemas y el medio ambiente, en general, están en un equilibrio dinámico en el que se producen continuos cambios. Las estrategias educativas utilizadas en el planteamiento y resolución de situaciones problemáticas podría ser eficaz para entender la estrecha relación existente entre los procesos naturales y las actividades humanas y ayudar a la adquisición de una percepción dinámica de estos procesos (Martínez y Jaén, 2005).

Desde otro ámbito, también hemos de considerar las ideas que mantienen los estudiantes de secundaria sobre el medio ambiente y concretamente sobre el funcionamiento de los ecosistemas.

De forma general, la mayoría consideran que es un sitio natural donde viven animales y plantas. Tienen dificultades para establecer relaciones y conectar los componentes bióticos y abióticos del ecosistema, sobre todo construyen relaciones sencillas, lineales y finalistas frente a relaciones complejas y multifactoriales que se corresponderían con una visión científica y real de los fenómenos naturales y su dinámica (Leach y otros, 1996a; Leach y otros, 1996b; Munson, 1994; Manuel, 1995; Rojero, 1999; Loughland y otros, 2002; Hildebrant y Bayrthuber, 2002; García, 2003; Shepardson y otros, 2007).

En cuanto a los aspectos directamente relacionados con los ciclos biogeoquímicos, destacaremos los siguientes:

- Consideran el suelo como un sistema estable y sin cambios aparentes. Así es frecuente que se obvие un proceso clave como es la descomposición de la materia orgánica y los organismos que la llevan a cabo; esto implica desdeñar el papel de los ciclos como recicladores biogeoquímicos y justificaría las ideas sobre “desaparición” (no transformación) de la materia, extendida entre los alumnos.

- La biosfera se centra en plantas y animales terrestres, con escasa o nula referencia a los ecosistemas acuáticos, mixtos o marinos. Pienzan que los más abundantes son los organismos productores y sus relaciones con el medio se limitan a la necesidad de alimento y producción de residuos.

- Los procesos de intercambio son unidireccionales e independientes del contexto y de las condiciones en las que tiene lugar. Consideran fundamentalmente los correspondientes a la atmósfera-biosfera, dando menos importancia al resto.

- Los ciclos se perciben como una sucesión controlada de fenómenos, independientes del entorno en el que se producen y sin cambios en el tiempo.

- La inclusión del ser humano en los ciclos se limita generalmente a las emisiones generadas por las industrias.

- No tienen en cuenta posibles cambios temporales en los procesos.

Esta percepción sobre los ciclos se refuerza con la presentación de diagramas con conexiones unidireccionales que consolidan la idea de perímetro con movimiento rotacional, muy alejado del dinamismo real en los ecosistemas y de las múltiples interconexiones y factores que intervienen en esos procesos.

El ciclo es una idea potente para organizar los cambios que se producen en el mundo que nos rodea, explicar su funcionamiento y hacer predicciones (Marquez, 2006). Por lo tanto, deberíamos evitar planteamientos simplistas que transformen su sentido y los conviertan en meros diagramas descriptivos.

Deberían aplicarse como un modelo que permita controlar la sucesión de cambios complejos del mundo natural, que muestran una cierta periodicidad en el espacio y/o tiempo desde un estado inicial a otro final. Esto permitirá a los estudiantes estudiar las fases que lo componen, los cambios y las causas de estos cambios (Marquez, 2006). Este enfoque permitiría la interpretación de los fenómenos y no sólo su descripción.

Estos contenidos podrían organizarse alrededor de la idea de ciclo, pero entendiéndolo como un conjunto de relaciones que no se circunscribe sólo al estudio de los ecosistemas, sino que podría ir desde la percepción directa de nuestras actividades cotidianas hasta la consideración de las implicaciones que se derivan de nuestras actuaciones ante problemáticas concretas (Jaén, 2004).

Existen numerosas actividades cotidianas como el tipo de transporte, alimentación, la necesidad de recursos naturales, la producción de residuos, el incremento demográfico, etc. que generan algunos problemas ambientales directamente relacionados con alteraciones de los ciclos biogeoquímicos.

Este punto de vista podría incrementar la atención del alumnado y potenciar su interés por la comprensión de estos procesos, y al mismo tiempo profundizar en las causas y efectos de algunas problemáticas socioambientales e implicarse como parte de su solución (Gil y Vilches, 2005).

Los ciclos biogeoquímicos en los libros de texto

Aunque no cabe realizar generalizaciones acerca de la utilización de los libros de texto por los profesores de ciencias, si existe una cierta coincidencia sobre la gran dependencia del profesorado respecto a los libros que utilizan y que podrían considerarse como un fiel reflejo de la situación actual de la enseñanza de las ciencias en nuestro país (Jiménez, 2000).

En este sentido, hemos incluido como referente adicional a nuestro análisis el enfoque de estos contenidos en los libros de texto de ESO y Bachillerato. Se han utilizado los libros de texto de 4º de ESO y 2º de Bachillerato de cuatro editoriales utilizadas frecuentemente en los centros (Oxford, Santillana, ECIR, Bruño, Mc Graw Hill y Editex).

Los temas analizados son los correspondientes a los bloques de contenidos “Dinámica de los ecosistemas” en ESO y a “La ecosfera” en la asignatura Ciencias de la Tierra y Medioambientales de 2º de Bachillerato cuyos temas en los libros de texto presentan diferentes denominaciones dependiendo de la editorial, pero siempre relacionados con el estudio de los ecosistemas.

Nos ha interesado conocer los contenidos sobre los ciclos biogeoquímicos presentes en los libros de texto desde una doble perspectiva: la información recogida en los temas y el enfoque de dicha información.

El procedimiento utilizado consistió, por una parte, en analizar la presencia de los aspectos disciplinares señalados en el apartado 3 de este trabajo, que según los expertos son clave en los ciclos biogeoquímicos; y por otra examinar cómo se plantean esos contenidos, para lo cual hemos utilizado algunos de los indicadores propuestos por Parcerisa (1996). En esta parte hemos tenido en cuenta las ilustraciones, ya que en ocasiones recogen más información que el texto. Los resultados se resumen en la Tabla 1.

	ESO				BACHILLERATO			
	Ed. A	Ed. B	Ed. C	Ed. D	Ed. A	Ed. B	Ed. C	Ed. D
CONTENIDOS								
Tipos de ciclos	C-N-P-S	C-N-P	O-C-N-P-S	C-N-P-S	O-C-N-P-S	O-C-N-P	C-N-P-S	O-C-N-P-S
Importancia específica a nivel molecular	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	NO
Evolución de los ciclos	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO
Problemas ambientales actuales	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO
Alteraciones debido a actividades humanas	NO	NO	NO	SI	SI	NO	SI	NO
Procesos de intercambio y reciclado	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Interconexión entre diferentes ciclos	NO	NO	SI	NO	NO	SI	NO	NO
ENFOQUE CONTENIDOS								
Lenguaje adecuado	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Estructura organizativa descriptiva	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Presentación motivadora	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Pone en conflicto sus ideas	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Planteamientos interdisciplinarios	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Incluye actividades humanas y problemas ambientales	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO
Incluyen diagrama	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Diagramas con símbolos en fondo de imágenes	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Diagramas con símbolos y etiquetas explicativas	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Referencias desde el texto a la ilustración	NO	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO
Imágenes de actividades humanas	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	NO

Tabla 1. Resultados del análisis de los libros de texto.

En general, no existen grandes diferencias entre los libros de ESO y Bachillerato; la principal diferencia estriba en la mayor proporción de texto explicativo en los de Bachillerato, pero en ambos niveles los contenidos son repetitivos y poco motivadores para su estudio.

Siempre se plantean de forma independiente, sin relación con las cadenas tróficas, que suele ser el contenido que les precede, ni con el dinamismo de los ecosistemas en general. Este planteamiento responde al enfoque descriptivo predominante, ya que establecer interconexiones necesitaría manejar otros escenarios metodológicos que potenciaran la interpretación de los procesos que intervienen en los ciclos.

La predominancia de los ecosistemas terrestres frente al resto es clara. Se señalan algunos procesos de intercambio entre la biota y la atmósfera e hidrosfera, sobre todo en los ciclos del Carbono y del Nitrógeno, pero no se presentan como un conjunto de procesos de intercambio y retención entrelazados.

Por otra parte, aunque utilizan un lenguaje adecuado para la descripción de los procesos biogeoquímicos, las explicaciones resultan monótonas y alejadas de posibles interpretaciones que permitieran valorar el papel de los ciclos biogeoquímicos en la naturaleza y su relación con problemáticas ambientales actuales. Estos planteamientos son más evidentes en los libros de Bachillerato.

Estos planteamientos difícilmente pondrán en conflicto algunas de las ideas que mantienen los estudiantes sobre el tema, más bien podrían reforzarlas. Los ciclos se presentan mediante diagramas con conexiones unidireccionales que pueden consolidar la idea de un circuito con movimiento rotacional, muy alejado de la realidad de los procesos en el mundo real.

Aunque somos conscientes de que esta realidad compleja sería muy difícil de explicar en un texto o en un diagrama de flujo, la simplificación reduccionista de todos estos procesos, proporciona un modelo de los ciclos biogeoquímicos totalmente alejado de la realidad.

Se alude a los descomponedores de forma general, sin detallar un mínimo sus funciones. Dado el necesario papel de los descomponedo-

res en la mayoría de los ciclos, parece evidente las dificultades que tendrán los estudiantes para evidenciar su importancia en las transformaciones químicas. Este aspecto se refuerza en las ilustraciones, en las que los herbívoros y grandes depredadores son una constante, frente a otros organismos como los descomponedores, que cuando están representados, es mediante ampliaciones de microorganismos tipo bacilos o cocos, mientras que no se incluyen otros más conocidos por los alumnos como hongos, lombrices, etc..

Finalmente, otro aspecto a señalar es la casi total ausencia de relación de los ciclos biogeoquímicos con ciertas actividades humanas, centradas básicamente en las emisiones industriales, y los problemas ambientales asociados a ellas. Es frecuente que aparezcan en textos adicionales, o incluso que sólo en las ilustraciones. Tampoco suelen incluir actividades más cercanas como el uso de vehículos a motor, la agricultura de tipo intensivo, la ganadería, etc. Esto dificultará que los estudiantes establezcan relaciones con sus actividades más cotidianas y puedan concienciarse sobre nuestro papel para proponer soluciones.

Consideraciones para la utilización de los ciclos biogeoquímicos en algunos problemas ambientales actuales

Como síntesis de los aspectos anteriormente citados, hemos identificado algunas cuestiones clave sobre los ciclos biogeoquímicos, que deberíamos considerar al planificar su enseñanza en ESO y Bachillerato, desde la perspectiva de los problemas ambientales. Estas son: dinamismo, idea de ciclo asociada a cambio, interconexión entre ciclos, evolución temporal e interdisciplinaridad.

Por otra parte, muchas de las situaciones problemáticas asociadas a los ciclos están vinculadas a alteraciones antrópicas y/o naturales, lo cual nos despliega un gran abanico de posibilidades para la utilización de situaciones reales que ayu-

darían a los alumnos a participar y reflexionar sobre las causas del problema, sus efectos y las potenciales actuaciones de la ciudadanía.

Las alteraciones de los ciclos podrían abordarse de forma interdisciplinar a través de los saberes de diferentes ámbitos (Marino y otros, 2008). Es el caso de los procesos geológicos externos, donde está incluida la meteorización, la diagénesis y el ciclo de las rocas, todos relevantes en los ciclos del Fósforo, Azufre, Carbono y Nitrógeno; o la relativa al tipo de tecnologías empleadas en determinados procesos productivos para reducir las emisiones de gases a la atmósfera; etc.

Además, en la actualidad, estos problemas están estrechamente relacionados con algunas problemáticas sociales como el incremento demográfico, desigualdades sociales, las migraciones, el consumismo, etc., y se potencian mutuamente. El hiperconsumo de las sociedades desarrolladas, la explosión demográfica en un planeta de recursos limitados y los desequilibrios entre distintos grupos humanos han generado un crecimiento agresivo con el medio y particularmente peligroso para los seres vivos (Vilches y Gil, 2007). De manera que los problemas son realmente de tipo socioambiental, las causas están relacionadas con los valores que compartimos y sus consecuencias repercuten en nosotros a distintos niveles, directamente en la salud, o indirectamente por pérdida de recursos, contaminación, pérdida de biodiversidad, degradación del medio, etc.

Hemos centrado nuestro análisis en tres problemas ambientales de especial relevancia en la actualidad.

– El problema de la *eutrofización* tiene una relación evidente con los ciclos biogeoquímicos ya que puede surgir de la alteración de los ciclos naturales del Nitrógeno y del Fósforo. Las actuaciones de vertidos procedentes de la agricultura y ganadería intensivas pueden producir contaminaciones del suelo y de las aguas (nitrificación de los cuerpos de agua, excesivo agregado de nutrientes al suelo debido a los abonos y fertilizantes, etc.)

Este problema permitiría plantear los ciclos ligados a cambios potenciales que pueden va-

riar dependiendo de los factores que intervienen y que además estarán íntimamente relacionados con las posibles medidas de actuación.

En nuestra zona sería de gran interés introducir escenarios relacionados con los humedales y su eficacia natural en la depuración y mantenimiento de la calidad del agua eutrofizada por lixiviados nitrofosforados. También se podría estudiar la influencia de los organismos descomponedores en la calidad del suelo y las aguas, valorando el papel de estos organismos, dado que su actividad es imprescindible para el mantenimiento del ecosistema.

En un mayor nivel de complejidad pueden incorporarse los ciclos del Oxígeno y del Carbono, por la conexión que se puede establecer entre la eutrofización y el incremento de productores primarios, dada la entrada de nutrientes limitantes en ecosistemas acuáticos.

Por otra parte, las alteraciones de los ciclos del Nitrógeno y Fósforo repercuten de forma inmediata en la biosfera y se reconocen como la tercera causa de pérdida de biodiversidad (Duarte, y otros, 2006). Esto nos permitirá plantear los problemas ambientales interrelacionados e interdependientes entre sí.

– La *lluvia ácida* se puede abordar desde los ciclos del Carbono, Nitrógeno y del Azufre al estar relacionada con determinadas emisiones de las industrias siderúrgicas, cementeras y cerámicas, etc., y la quema de combustibles fósiles en centrales térmicas, vehículos a motor, aviones, etc. Estas actuaciones producen alteraciones en el medio, como cambios en la concentración de gases en la atmósfera, modificación del pH del agua de lluvia, etc.

Este fenómeno podría evidenciar los efectos que determinadas actividades tienen sobre la atmósfera, que a su vez causan pérdidas económicas por daños en las cosechas y afecciones de la salud en áreas pobladas.

– El *incremento del efecto invernadero* que se presenta ligado al denominado cambio climático global, tiene una relación directa con la alteración del ciclo del Carbono y del Oxígeno.

El estudio de ese problema nos permitiría plantear la evolución temporal de estos ciclos. Podría ser relevante estudiar el papel de la bios-

fera en los inicios de la atmósfera o sus cambios desde la época pre-industrializada hasta la actualidad.

Además en el ciclo del Carbono se evidencia claramente la variación que sufre según se trate del hemisferio norte o sur, y que está asociada entre otros aspectos, a los diferentes modos de vida dominantes en cada uno de ellos (distinta movilidad, alimentación, de producción, etc.).

Este conjunto de cambios debería plantearse desde acciones cotidianas, como el tipo de transporte que se utiliza, consumo de energía, alimentos, reciclado, necesidades cotidianas, etc. y otras más globales pero de las que dependen las cotidianas como: urbanismo en las ciudades, transformación de residuos, manufacturación de productos, leyes de protección ambiental, etc.

En un nivel más complejo se podría abordar la transformación de materia orgánica, en presencia o ausencia de oxígeno, y algunos procesos asociados como la formación de abono o petróleo, que permitiría profundizar en las secuencias temporales que estos procesos requieren y por tanto trabajar con escalas temporales.

Otras propuestas para abordar los ciclos podrían incluir algunas adaptaciones y estrategias de los organismos, e incluso su distribución en relación a la velocidad de los procesos biogeoquímicos. Por ejemplo, contextos de sucesión tras una perturbación, como un incendio o deforestación, evidencian las diferentes adaptaciones de algunas plantas; es el caso de las colonizadoras, que suelen tener una mayor eficiencia en la obtención de nitrógeno y fósforo, en comparación con la vegetación madura.

También hemos de señalar que el tratamiento de estos contenidos debería diferir entre la ESO y el Bachillerato, al contrario de lo que sucede en los libros de texto.

En los ciclos iniciales los ciclos biogeoquímicos deberían abordarse desde los diferentes ecosistemas, interpretando mediante ellos algunos problemas ambientales como la eutrofización, la lluvia ácida o la producción de residuos.

Desde la perspectiva de la alfabetización científica es esencial, ya que para muchos alum-

nos será la única oportunidad para estudiar estos contenidos que podrían potenciar en ellos valores de respeto hacia el medio ambiente.

En el Bachillerato la orientación puede invertirse y partir del estudio de los ciclos globales. Desde esta perspectiva, se pueden interpretar situaciones diversas relevantes para el funcionamiento de distintos ecosistemas. A partir de una base biogeoquímica se podrían analizar cuestiones como el reciclado de nutrientes, el efecto de algunas variables, como la temperatura y la humedad, la importancia de la biodiversidad, etc.

En definitiva, este cambio de enfoque permitiría destacar la importancia de la interrelación entre las actividades humanas y algunos procesos naturales, y contribuir a la adquisición de las competencias relacionadas con el conocimiento e interacción con el mundo físico, acercando a los estudiantes a las problemáticas socioambientales actuales.

REFERENCIAS

- CAMPANARIO, J. M. y OTERO, J. (2000). La comprensión de los libros de texto. En: Cañal y Perales (Dir.). *Didáctica de las ciencias experimentales*. Ed. Marfil, 323-338.
- COLINVAUX, P. (1986). *Ecology*. New York: John Wiley and Sons Ed.
- DEL CARMEN, L. (1999). El estudio de los ecosistemas, *Alambique*, 20, 47-54.
- DUARTE, C. M.; ALONSO, S.; BENITO, G.; DACHS, J. ; MONTES, C.; PARDO, M.; F. RÍOS, A.; SIMÓ, R. y VALLADARES, F. (2006) *Cambio Global: Impacto de la Actividad Humana sobre el Sistema Tierra*. Madrid: Colección Divulgación. CSIC.
- GARCÍA, J. E. (2003). Investigando el ecosistema. *Investigación en la escuela*, 51, 83-100.
- GIL, D. y VILCHES, A. (2005). Década de la Educación para el Desarrollo Sostenible. Algunas Ideas para elaborar una estrategia global. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(1), 91-100.
- HILDEBRANT, K. y BAYRHUBER, H. (2002). System thinking and multiperspective learning in the carbon cycle context. Paper present-

- ed at the ERIDOB Conferences, Toulouse, France, 22-26.
- JAÉN, M. (2004). Una propuesta didáctica para el estudio del agua: El agua en nuestras vidas. En: Banet, E. (Dir.) *Perspectivas para las ciencias en la Educación Primaria*. MEC. Madrid, 209-242.
- JIMÉNEZ, J. D. (2000). El análisis de los libros de texto. En: Cañal y Perales (Dir.). *Didáctica de las ciencias experimentales*. Ed. Marfil, 307-322.
- LEACH, J.; DRIVER, R.; SCOTT, P. y WOOD-ROBINSON, C. (1996a). Children's ideas about ecology 2: ideas found in children aged 5-16 about cycling of matter. *Internacional Journal of Science Education*. 18, 1, 35-49.
- LEACH, J.; DRIVER, R.; SCOTT, P. y WOOD-ROBINSON, C. (1996b). Children's ideas about ecology 3: ideas found in children aged 5-16 about the interdependence of organisms. *Internacional Journal of Science Education*. 18(2), 129-141.
- LOUGHLAND, T.; REID, A.; WALKER, K.; y PE-TOCZ, P. (2002). Young People's Conceptions of Environment: a phenomenographic analysis. *Environmental Education Research*, 8(2), 187-197.
- MALDONADO, F.; GONZÁLEZ, F. y JIMÉNEZ, M. P. (2007). Las ilustraciones de los ciclos biogeoquímicos del carbono y el nitrógeno en los textos de secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4 (3), 442-460.
- MANUEL, J. de (1995). Idees alternatives en ecologia: Què passa amb els organismes morts? I amb els excrements? *Recerca i Ensenyament de les Ciències Naturals*, 19-31.
- MARINO, L. A.; CARRERI, R. A. y ALZUGARAY, G. E. (2008). Aportaciones para un abordaje interdisciplinar en la formación del ámbito de las ciencias, *Encuentros multidisciplinares*, 1-9.
- MÁRQUEZ, C. (2006). Pensar i veure el món a través del concepte de cicle, *Ciències*, 4, 32-37.
- MARTÍNEZ, M. A. y JAÉN, M. (2005). Educación Ambiental y resolución de problemas. Una aproximación a la perspectiva de los alumnos de Educación Ambiental de la universidad de Murcia, *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VII Congreso 1-2.
- MAYER, V. J. (1995). Using the Earth System for Integrating the Science Curriculum. *Science Education*, 79 (4), 375-391.
- ODUM, E.P. (1985). *Ecología*. Nueva Editorial Interamericana. 3ª Edición.
- PARCERISA, A. (1996). *Materiales curriculares. Cómo elaborarlos, seleccionarlos y usarlos*. Biblioteca de Aula. Barcelona. Graó.
- PEREIRO, C. y JIMÉNEZ, M. P. (2001) Argumentación sobre gestión ambiental en el Bachillerato. *Actas VI Congreso de Investigación en Didáctica de las Ciencias*, Barcelona, 2, 67-68.
- PORLÁN, R.; MARTÍN DEL POZO, R.; RIVERO, A.; HARRES, J.; AZCÁRATE, P. y PIZZATO, M. (2010). El cambio del profesorado de ciencias I: marco teórico y formativo. *Enseñanza de las Ciencias*, vol 28 (1), 31-46.
- ROJERO, F. (1999). Entender la organización. Aspectos didácticos del estudio de los ecosistemas, *Alambique*, 20, 55-64
- SCHLESINGER, W. H. (2000) *Biogeoquímica, un análisis del cambio global*. Barcelona: Ariel Ciencia.
- SHEPARDSON, D. P.; WEE, B.; PRIDDY, M. y HARBOR, J. (2007). Student's Mental Models of the Environment, *Journal of Research in Science Teaching*, 44(2), 327-348.
- SPIRO, T.G y STIGLIANI, W. M. (2003). *Química Ambiental*. México: Person Prentice Hall.
- VILCHES, A. y GIL, D. (2007). Emergencia planetaria: Necesidad de un planteamiento global. *Revista Education Siglo XX*, 25, 19-51.

ABSTRACT

The role of biogeochemical cycles on the study of environmental issues in Secondary Education.

The study of ecosystem dynamics has a predominant role in the knowledge of biogeochemical cycles. This paper has analyzed this content from a disciplinary and educational criteria, including textbooks, which has led to a series of teaching considerations. As a summary of the aspects mentioned above, we have identified some key issues on the biogeochemical cycles that should be considered when planning their teaching in secondary education, from the perspective of some current social and environmental problems.

KEY WORDS: *Biogeochemical cycles; Secondary Education; Content; Environmental issues; Textbooks.*

RÉSUMÉ

Le rôle des cycles biogéochimiques à travers l'étude sur les problèmes environnementaux dans L'enseignement Secondaire.

Dans l'étude de la dynamique des écosystèmes, la connaissance des cycles biogéochimiques a un rôle prédominant. Dans ce travail, nous avons effectué une analyse de ces contenus à partir des critères disciplinaires et pédagogiques, y compris les manuels, ce qui a conduit à un certain nombre de considérations pour l'enseignement. En tant que résumé des questions mentionnées ci-dessus, nous avons identifié certaines questions clés sur les cycles biogéochimiques qui devraient être considérées lors de la planification pour l'enseignement secondaire dans la perspective des problèmes sociaux et environnementaux d'actualité.

MOTS CLÉ: *Les cycles biogéochimiques; L'enseignement secondaire; Le contenu; Les problèmes environnementaux; Les manuels scolaires.*