

LAS ILUSTRACIONES DE LOS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS DEL CARBONO Y NITRÓGENO EN LOS TEXTOS DE SECUNDARIA

Francisco Maldonado González¹, Francisco González García^{*2} y
María del Pilar Jiménez Tejada².

¹ Instituto de Educación Secundaria Montejícar (Granada).

² Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Granada. * e-mail: pagoga@ugr.es

[Recibido en Febrero de 2007, aceptado en Mayo de 2007]

RESUMEN(Inglés)

Las ilustraciones de los textos son un instrumento básico en la enseñanza de los ciclos biogeoquímicos. Presentamos un análisis de las ilustraciones de los ciclos del carbono y del nitrógeno en 16 textos de educación secundaria (6 del sistema BUP y 10 del sistema ESO). Los resultados mostrados y su comparación con las ilustraciones de los manuales superiores de Ecología nos permiten discutir sobre la mejora en las ilustraciones de los textos en la enseñanza de la Biología.

Palabras clave: Ciclos de la materia; Análisis de libros de texto; Análisis de imágenes.

INTRODUCCIÓN

La representación de seres, objetos o fenómenos de forma gráfica en los libros de texto desempeña diversas funciones, desde la presentación de conceptos complejos hasta dotar a esos textos de un mayor atractivo para alumnos y profesores. El debate se abre al cuestionarnos si con tales representaciones se mejora o ayuda la enseñanza y aprendizaje de los contenidos presentados en los libros. Quizás en un futuro más o menos próximo, resulta difícil de pronosticar, el texto de estudio pierda influencia en la actividad docente. Nos arriesgamos a decidirnos por la larga vida del libro de texto, aun a pesar de la presión por el uso de las nuevas tecnologías de la información en el aula, y aunque sólo sea por considerar las repercusiones económicas de su edición y selección. Los análisis de contenido conceptual de los textos son una línea de investigación habitual en la didáctica de las ciencias y más recientemente se ha puesto en evidencia la necesidad de analizar la dimensión gráfica de los libros de texto, dada la creciente multiplicación de su presencia en los manuales (Jiménez et al., 1997). Este análisis puede contribuir a la mejora en la alfabetización gráfica de los estudiantes, ciudadanos de una cultura cada vez más dominada por el mundo de la imagen (Perales, 2006).

Levie y Lentz (1982) realizaron una amplia revisión de trabajos en los que se compara el aprendizaje de contenidos en textos ilustrados y sin ilustrar. En su revisión diferencian entre información ilustrada (aquella que se presenta de forma redundante en el texto del libro y en las ilustraciones), información no ilustrada (sólo presente de forma escrita en el texto) e información sólo ilustrada (sólo presente en las ilustraciones), y destacan que las ilustraciones por sí solas no mejoran el aprendizaje de la información del texto, y que tan sólo se mejora significativamente el aprendizaje de la información ilustrada.

Reid (1990 a, 1990b) inició los estudios detallados sobre el uso de las imágenes en la enseñanza de la biología, básicamente desde la perspectiva de la percepción de las imágenes. Las variables que se pueden abordar en estos estudios son muy diversas: características de las imágenes, relación con el texto, habilidades de los alumnos, actitudes hacia las imágenes, etc. Pérez de Eulate et al. (1999) han analizado la inserción de las imágenes en la estructura de textos de primaria españoles para un contenido específico de biología.

De acuerdo con Perales y Jiménez (2002) es de gran interés incorporar los avances teóricos en el análisis de las imágenes al campo de investigación de la didáctica de las ciencias. Es conocida la abundante literatura sobre las dificultades de aprendizaje de diversos conceptos científicos; sin embargo, no son muchos aún los temas biológicos específicos analizados desde la óptica de la dimensión icónica. Creemos esencial un análisis de conceptos específicos, existiendo además algunos contenidos biológicos que son especialmente desarrollados con ilustraciones. En este trabajo nos centramos en las características de las imágenes y su articulación con el texto principal al desarrollar la enseñanza de los principales ciclos biogeoquímicos.

Los ciclos biogeoquímicos de la materia y los flujos de energía en los ecosistemas suelen presentarse como un resumen esencial para el estudio de los ecosistemas en las disciplinas de Ciencias Naturales o Biología, en la Educación Secundaria Obligatoria y en el Bachillerato. Su ubicación en los programas de Ciencias Naturales puede entenderse como una reducción del conocimiento escolar al marco de referencia científico de la Ecología, dando por hecho que un alumno de 16 años está en situación de comprender la gran síntesis teórica que suponen estos ciclos biogeoquímicos, ciñéndonos a nuestro objeto de estudio. García (2003) denuncia que esta presentación da un carácter muy rígido a los ciclos de la naturaleza. Los trabajos más concretos sobre concepciones del alumnado en Ecología también han puesto de manifiesto la dificultad que conlleva la adecuada comprensión del tema de los ciclos de la materia (Leach et al., 1996).

Hildebrandt y Bayrhuber (2002) estudiaron específicamente los errores conceptuales de estudiantes de 16 a 18 años al explicar, en cuestionarios abiertos, el ciclo del carbono. Los errores habituales detectados fueron: errores al valorar el tamaño de los componentes del ciclo (con tendencia general a sobrevalorar la atmósfera frente a la hidrosfera), dificultades en la comprensión de cómo se "cierra" el ciclo, reducción a un simple intercambio entre fotosíntesis y respiración, consideración de la atmósfera como un continuo sumidero de carbono y la geosfera como una fuente continua, falta de apreciación del ciclo como un sistema en cambio continuo sino sólo como algo similar a una "foto fija". Sin embargo, preguntados por separado por los procesos que

intervienen en el ciclo, su comprensión era correcta, es decir, los errores se producían al ensamblar los componentes del ciclo.

Los ciclos biogeoquímicos representan un complejo sistema que conecta procesos biológicos, geológicos, químicos y físicos, y sirven como modelo para ilustrar las interacciones entre biosfera, atmósfera, geosfera e hidrosfera, todo ello mediado con una combinación de fenómenos cíclicos en unos casos, lineales en otros, reversibles e irreversibles. Procesos biológicos tan importantes como la fotosíntesis y la respiración forman parte del ciclo del carbono. En este ciclo pueden diferenciarse dos subciclos: uno a corto plazo y otro a largo plazo en función de las tasas de renovación, o bien un ciclo terrestre y otro oceánico. En el ciclo del nitrógeno destaca el papel esencial de diferentes microorganismos en los procesos de oxidación-reducción del nitrógeno.

En la enseñanza obligatoria se abordan: el estudio de un compuesto, el ciclo hidrológico (presente desde los primeros años de la educación primaria), los elementos carbono y nitrógeno, ciclos denominados de tipo gaseoso por ser la atmósfera un importante reservorio del elemento químico, y los ciclos de los elementos de tipo sedimentario (fósforo y azufre, los más destacados), aunque estos últimos no siempre aparecen representados en los libros de estudio.

El objeto de este trabajo se centra en el estudio de las ilustraciones (imagen de carácter gráfico que acompaña a los textos escritos) que se realizan de los ciclos del carbono y del nitrógeno en los textos de estudio de la educación secundaria. Realizamos un estudio en textos publicados desde 1981 a 2003 y una reflexión comparativa con los manuales superiores de Ecología editados desde los años setenta del siglo XX. La temática elegida es un contenido curricular de gran importancia por sus implicaciones medioambientales, constituye una síntesis final de los contenidos de Ecología y ha sido investigada desde la perspectiva de las dificultades conceptuales pero no desde la línea de trabajo de su representación icónica en los textos de estudio.

METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

Se han examinado 16 libros de texto (Tabla 1), de los cuales 6 corresponden al nivel del antiguo primer curso de Bachillerato Unificado y Polivalente (BUP) y 10 son de cuarto curso de Educación Secundaria Obligatoria (ESO); cursos donde se impartía e imparten los contenidos relativos a los ciclos de la materia o ciclos biogeoquímicos. Todos los textos analizados introducen los conceptos referentes a los ciclos del carbono y del nitrógeno dentro de unidades denominadas "materia y energía en los ecosistemas" y con el título o subtítulo de "ciclos biogeoquímicos".

El 1º de BUP se cursaba con 14-15 años, mientras que 4º de ESO se estudia con 15-16 años, edades que se sitúan en el actual segundo ciclo de ESO. Hay que recordar que en 1º de BUP se cursaban Ciencias Naturales y, en sus contenidos, se desarrollaban los temas de Ecología que actualmente se imparten en 4º de ESO, mientras que en el anterior 2º de BUP (actual 4º de ESO) se cursaba la materia de Física y Química.

Los textos elegidos eran y son muy utilizados por los centros educativos de Granada, y están editados por editoriales de gran implantación en el área de ciencias. En el caso de los textos de 1º de BUP no ha sido fácil encontrar textos de los años ochenta, debido a la práctica habitual de renovar las bibliotecas escolares.

Número de referencia en el artículo. Editorial	Título de la materia	Curso	Año de Edición
1. ALHAMBRA	Ciencias de la Naturaleza	1º BUP	1981
2. SANTILLANA	Ciencias de la Naturaleza	1º BUP	1985
3. ECIR	Ciencias de la Naturaleza	1º BUP	1987
4. EDELVIVES	Ciencias de la Naturaleza	1º BUP	1992
5. EVEREST	Ciencias de la Naturaleza	1º BUP	1993
6. ECIR	Ciencias de la Naturaleza	1º BUP	1993
7. McGRAW-HILL	Biología y Geología	4º ESO	1996
8. OXFORD	Biología y Geología	4º ESO	1998
9. SM-DARWIN	Biología y Geología	4º ESO	1998, 2003
10. SANTILLANA	Biología y Geología	4º ESO	1995
11. SM-BIOSFERA	Biología y Geología	4º ESO	1998
12. ANAYA	Biología y Geología	4º ESO	1998
13. VICENS VIVES	Biología y Geología	4º ESO	1999
14. EDELVIVES	Biología y Geología	4º ESO	1999
15. EVEREST	Biología y Geología	4º ESO	2000
16. SM-ECOSFERA	Biología y Geología	4º ESO	2003

Tabla 1.- *Libros de texto analizados*

Es de gran interés poder comparar las representaciones gráficas entre textos de ambos sistemas (BUP y ESO), de forma global entre diversas editoriales e incluso de forma más particular en la misma editorial (en concreto hemos podido analizar Santillana, Edelvives y Everest para los dos sistemas; Ecir con una diferencia de 9 años dentro del mismo BUP y SM con una diferencia de cinco años para la ESO). El texto de SM-Darwin aparece con dos años de edición aunque texto e ilustraciones son iguales en ambas ediciones.

En la categorización de los tipos de ilustraciones y su análisis hemos utilizado las variables que proponen Perales y Jiménez (2002): función de la secuencia didáctica, iconicidad, funcionalidad, relación con el texto principal, etiquetas verbales y contenido científico.

En el estudio de la iconicidad hemos seguido las pautas de Alonso y Matilla (1990), introduciendo en el análisis de las ilustraciones el fondo sobre el que se representan los diagramas de flujo, dado que, por la naturaleza del contenido biológico explicitado, este fondo juega un papel relevante en la propia representación gráfica. Para establecer las categorías o tipos de diagramas de flujo presentes en las ilustraciones se ha considerado la presencia de tres elementos:

- ✓ Elementos simbólicos (flechas o líneas cinéticas cuya lectura podemos considerar inicialmente como evidente, fórmulas químicas de lectura específica).
- ✓ Elementos figurativos (dibujos de animales, plantas, rocas, etc.).

- ✓ Tipo de fondo sobre el que se encuentran los elementos anteriores (fondo neutro constituido por el propio fondo del libro de texto incluso sin ningún tipo de marco que delimita a la figura; o bien fondo complejo constituido por algún tipo de paisaje o composición combinada de elementos figurativos entre los que se establecen las relaciones).

Siguiendo a Pérez de Eulate et al. (1999) hemos considerado de interés analizar otras características de las imágenes, derivadas de su contenido biológico específico (número de grafismos – flechas y líneas cinéticas- presentes en las imágenes y sus tipos, formulas presentes, detalles ampliados y secciones, colores y fondos utilizados, uso de claves explicativas para interpretar la ilustración).

En el estudio de la relación entre las ilustraciones y el texto principal del libro, hemos desarrollado una metodología específica de análisis cuantitativo que nos permite conocer qué conceptos son compartidos entre el texto principal del libro y las etiquetas, flechas y otros elementos de las ilustraciones. Denominamos “índice de redundancia de imagen-texto” al cociente resultante de la división del número de conceptos-procesos-elementos descritos en el texto principal que comenta la ilustración (dividendo) entre el número de conceptos-procesos-elementos presentes en la ilustración (divisor). Este índice tendrá un valor 1 si todos los conceptos-procesos-elementos de la ilustración son comentados en el texto principal, y tendrá un valor 0 si el texto principal no comenta el contenido de la ilustración. Un valor de 0,5 nos indicaría que la mitad de los conceptos, procesos o elementos significativos de la ilustración son comentados por el texto principal.

Como referente disciplinar de las representaciones de los ciclos biogeoquímicos analizados, hemos tomado las ilustraciones de los textos de Ecología que se enumeran a continuación, todos ellos manuales universitarios de estudio, bien conocidos y editados entre 1965 y 2001, y que pueden servirnos de referencia al modo de ilustrar que los textos universitarios tenían en el momento de elaboración de los manuales de estudio analizados:

- Odum, E.P. 1965. *Ecología*. Compañía Editorial Continental. México. (Traducción de la primera edición inglesa de 1963).
- Kormondy, E.J. 1973. *Conceptos de Ecología*. Alianza editorial. Madrid. (Traducción de la obra en inglés editada en 1969).
- Margalef, R. 1982. *Ecología*. Omega. Barcelona.
- Krebs, Charles J. 1986. *Ecología*. 3^aed. Ediciones Pirámide. Madrid.
- Begon, M., Harper, J.L. y Townsend, C.R. 1988. *Ecología*. Ediciones Omega. Barcelona.
- Stirling, Meter. 1996. *Ecology. Theories and applications*. 2^aed. Prentice Hall International Editions. London.
- Ricklefs, R.E. 1998. *Invitación a la Ecología*. 4^aed. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires.
- Dickinson, G. and Murphy, K. 1998. *Ecosystems*. Routledge. London.

- Chapman, J.L. and Reiss, M.J. 1999, *Ecology. Principles and applications*. First edition. Cambridge University Press. Cambridge.
- Smith, R.L. y Smith, T.M. 2001. *Ecología*. 4^a ed. Pearson Educación. Madrid.
- Dajoz, R. 2001. *Tratado de Ecología*. 2^a ed. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.
- Rodríguez, Jaime. 2001. *Ecología*. Ediciones Pirámide. Madrid.

RESULTADOS

De conformidad con el objeto de estudio del trabajo y según la metodología comentada anteriormente, el análisis se inició con una categorización de las ilustraciones presentes en los textos que abordaban los ciclos de la materia referentes al carbono y al nitrógeno.

En las Tablas 2 y 3 se resumen algunos de los elementos analizados para las 32 ilustraciones objeto de análisis y los textos que los acompañaban ([Anexo 1](#)).

Secuencia didáctica en el estudio de los ciclos biogeoquímicos y función de la ilustración

Dada la naturaleza de los contenidos estudiados, las ilustraciones de los ciclos biogeoquímicos tienen en todos los casos una función de “descripción”, es decir, aportan el contexto necesario para el estudio de un concepto desconocido y de difícil comprensión (Perales y Jiménez, 2002). Todos los libros de texto son homogéneos en este aspecto.

Sin embargo se aprecia una mayor heterogeneidad en la secuencia didáctica con la que se presentan los ciclos, en particular en la propia introducción del concepto de ciclo de la materia; concepto que sólo aparece en el título del epígrafe en un texto para, a continuación, ilustrarlo con ejemplos; o bien dedicarle toda una página del libro de texto, en otro caso de los analizados. En la mayor parte de los libros se realiza una breve introducción para comentar el concepto de ciclo de la materia y el grueso del epígrafe se reserva para el estudio de los diversos ciclos presentados en el texto de estudio.

En 13 de los 16 libros, el ciclo del carbono precede al del nitrógeno, en un texto la presentación es a la inversa y en otros dos se intercala otro ciclo biogeoquímico entre ambos. En 9 textos, junto al carbono y nitrógeno, se comenta el ciclo del fósforo, en 6 textos el ciclo del agua, en 4 el ciclo del azufre y en 2 el ciclo del oxígeno. En los libros de BUP podemos encontrar textos que sólo presentan el ciclo del C y del N (2 textos), además el del agua (3 textos) o bien la secuencia C-N-P-S (1 texto). En los textos de ESO podemos encontrar las secuencias: C-N (2 textos), C-N-P (4 textos) u otras secuencias que incluyen 1, 2, 3 o hasta 4 ciclos más que los comunes de C y N.

Grado de iconicidad

Todas las editoriales recurren a un diagrama de flujo consistente en una representación gráfica de varios elementos que se relacionan mediante flechas o líneas cinéticas y que explicitan una sucesión de conceptos y procesos e

interrelaciones; todo ello de forma secuencial y conformando un ciclo cerrado. Colocados en la situación de un docente que utiliza un único texto, resulta algo sorprendente la amplia gama de formas con que se ilustran los ciclos biogeoquímicos a partir de ese esquema general de diagrama de flujo.

En las 32 ilustraciones analizadas (16 para cada uno de los ciclos), y según la metodología anteriormente comentada, podemos encontrar cuatro tipos de diagramas de flujo según las combinaciones de los elementos analizados (ver ejemplos en las figuras del [Anexo 2](#)).

- ✓ Tipo 1. Diagrama de flujo solo con elementos simbólicos sobre fondo neutro. Se muestra un ejemplo en la figura 1 (tomado del ciclo del carbono del Texto 3, página 253 de su edición de 1987). Este tipo sólo aparece en los textos publicados para el sistema BUP.
- ✓ Tipo 2. Diagrama de flujo con elementos simbólicos y elementos figurativos sobre fondo neutro. Se muestra un ejemplo en la figura 2 (del ciclo del nitrógeno del Texto 14, página 105 de su edición de 1999). Se aprecia cómo los elementos figurativos son dibujos aislados que no intentan formar una composición relacionada con el estilo de un paisaje más o menos real. Se usa en los textos de BUP y ESO.
- ✓ Tipo 3. Diagrama de flujo con elementos simbólicos y elementos figurativos sobre fondo complejo. Se muestran dos ejemplos en las figuras 3 y 4 (del ciclo del carbono del Texto 12, página 110 de su edición de 1998, y del nitrógeno del Texto 9, página 258 de su edición de 1998; respectivamente). Los elementos figurativos se integran en un paisaje complejo intentando dar unidad a toda la ilustración. Sólo parece en los textos de ESO publicados a partir de 1998.
- ✓ Tipo 4. Diagrama de flujo con elementos simbólicos y figurativos en etiquetas explicativas de procesos y sobre fondo neutro. Este tipo sólo aparece en el Texto 11 y sólo para el ciclo del carbono (figura 5, página 201 de su edición de 1998).

Entre el Tipo 2 y el Tipo 3 se pueden encontrar en algunos casos ilustraciones de difícil categorización entre esos dos tipos, pues adoptan formas intermedias según que el ilustrador consiga un paisaje o fondo más o menos acabado. Su categorización se realizó por consenso entre los autores.

Funcionalidad de las ilustraciones, relación con el texto y etiquetas verbales

La funcionalidad de las ilustraciones guarda estrecha relación con la presencia de etiquetas en la ilustración y con las relaciones entre el texto principal del libro y sus imágenes. En las Tablas 2 y 3 se resumen las características más importantes analizadas en relación con estas variables ([Anexo 1](#)).

Globalmente, tal como se indica anteriormente, todos los textos optan por un diagrama de flujo cuya lectura puede realizarse con una alfabetización gráfica bastante elemental y que es atribuible a las edades de los lectores. Sin embargo la presencia de numerosos elementos figurativos, en particular en los casos de fondo complejo, y rótulos o etiquetas verbales, incrementa la dificultad de lectura de las imágenes. En los casos en que aparecen secciones (cortes del terreno, cortes

geológicos), detalles ampliados (indicando la presencia de bacterias, depósitos de sales o cadáveres) o incluso claves de interpretación para la ilustración, nos encontramos con una funcionalidad sintáctica (Perales y Jiménez, 2002), es decir, aquella que requiere un conocimiento de normas específicas para la lectura de dicha ilustración.

Si realizamos un análisis longitudinal en el tiempo, de forma global por editoriales para los textos de BUP frente a los de ESO o de manera particular por editoriales en los que analizamos dos ediciones diferentes, podemos comentar que se aprecian las siguientes características y tendencias:

1. La importancia de las ilustraciones en los libros es manifiesta cuando se cuantifica el porcentaje de superficie del libro ocupado por la ilustración del ciclo, apreciándose que dicho porcentaje es superior en los textos de ESO (con una media del 53-55% de superficie ilustrada o superficie del libro ocupada por las ilustraciones) que en los de BUP (33-34%). Estas diferencias son incluso más apreciables si comparamos las dos ediciones analizadas en una misma editorial, evidenciando lo que muchos docentes manifiestan sobre los textos: las ilustraciones ocupan cada vez más espacio.
2. Las ilustraciones, consideradas globalmente, son cada vez más complejas. Los tipos de diagrama de flujo Tipo 1 desaparecen en los textos de ESO y ganan protagonismo los elementos figurativos y los fondos complejos con gran profusión de colores. Esta evolución hacia formas más complejas se manifiesta de manera evidente en textos publicados entre 1993 y 1996, años en los que aparecen diagramas Tipo 2 pero con fondos que se aproximan a los de Tipo 3.

La multitud de colores utilizados en ocasiones, las tramas, la profusión de elementos figurativos, detalles ampliados, secciones, etc. junto a las etiquetas y flechas con otros colores, hacen difícil, no digamos la comprensión, sino la simple visualización de la imagen reproducida.

Se muestra un mayor número de flechas de conexión, etiquetas y representaciones de secciones y detalles. Por término medio en los textos de BUP contabilizamos 11 flechas y 11 etiquetas en el ciclo del carbono, frente a 16 flechas y 14 etiquetas en los textos de ESO. Para el ciclo del nitrógeno tenemos una presencia media de 9 flechas y 8 etiquetas en BUP por 15 flechas y 12 etiquetas en ESO. En este ciclo del nitrógeno hay tendencia a presentar menos fórmulas químicas de los diferentes estados de oxidación del nitrógeno.

3. El "Índice de redundancia de imagen-texto" nos permite apreciar si el texto principal del libro comenta toda la información mostrada en la imagen (valor 1) en cuyo caso el texto es una guía para la lectura de la ilustración. Se dan algunos casos de este tipo en ambos ciclos. Lo más usual es que el valor de este índice sea menor que 1, lo que nos expresa que hay partes de la ilustración que no tienen comentario en el texto y por tanto sólo la imagen muestra esa información. Los valores medios de este índice son de 0,75, en ambos ciclos biogeoquímicos, es decir, que en su mayoría los textos tienden a realizar un comentario amplio de la imagen, con algunas excepciones, y dejan alrededor de una cuarta parte de la información (el restante 0,25) para que sea presentado en exclusiva por la ilustración. En una editorial (texto 5) el índice es cero pues el texto no comenta en absoluto la ilustración y toda la información la presenta

de forma gráfica. Es destacable, en todo caso, que hay amplia variación en los valores del índice y, si comparamos las dos ediciones de varias editoriales, domina la disminución en el valor del índice de redundancia de imagen-texto.

4. En cinco textos para el ciclo del carbono y en siete para el del nitrógeno, el texto principal del libro incluye informaciones no presentes en la ilustración. Estas informaciones hacen referencia al ciclo marino del carbono, a la interferencia humana en algún aspecto del ciclo del carbono o del nitrógeno, o a formas de fijación del nitrógeno no representadas gráficamente.

5. La relación entre el texto y la ilustración se puede realizar por una llamada explícita del texto (por ejemplo indicando: "ver figura 2" o de algún otro modo). Tal posibilidad la realizan tres de los textos de BUP analizados y sólo 1 de ESO. Los restantes textos confían tal relación a la implícita proximidad en la página del texto y de la imagen.

6. La presencia de un pie de foto explicativo (es decir, no sólo el nombre identificativo de la figura o su numeración) que comente algunos elementos de la ilustración, además de las correspondientes etiquetas o rótulos de la ilustración, está presente únicamente en una ilustración de las 32 analizadas.

Contenido científico presentado y comparación con los manuales de Ecología

"El ciclo de la materia y los principales ciclos biogeoquímicos" aparecen como epígrafes concretos de los contenidos mínimos de la Educación Secundaria Obligatoria regulados por la normativa educativa estatal. Queda de manifiesto que las diversas editoriales interpretan de forma muy diversa qué ciclos biogeoquímicos merecen ocupar sus páginas aunque, en todas las analizadas, el mínimo común lo constituyen los ciclos del carbono y el nitrógeno.

En el análisis de la información presente en los textos, apreciamos que los contenidos básicos no tienen errores, salvo algunas confusiones en la colocación de las etiquetas o rótulos de las flechas de las ilustraciones. Podemos señalar algunas ausencias de información, deficiencias y ambigüedades gráficas que pueden confundir al alumnado.

Ausencias de información:

- ✓ En la presentación de los textos los ciclos biogeoquímicos se estudian para la biosfera. En este nivel de organización es importante diferenciar entre depósitos y flujos. La cuantificación de ambos es muy discutida por los ecólogos expertos dado que muchos datos son de la época preindustrial y están en continua revisión por los acuciantes estudios actuales sobre el cambio climático (en particular los depósitos de carbono, la fijación por el océano, etc.). No nos parece necesario que las ilustraciones incorporen los datos del valor de depósitos y flujos, algo muy habitual en los manuales superiores, pero sí merece algún comentario en el texto principal. Esta ausencia se une a que la atmósfera suele ser nombrada más a menudo, los ecosistemas acuáticos no están representados en muchas ilustraciones, y el dióxido de carbono atmosférico es omnipresente. Con todo ello la comprensión global del ciclo del carbono probablemente esté muy sesgada hacia los componentes terrestres de los ecosistemas y se produce un olvido de los ecosistemas marinos. En el ciclo del nitrógeno esta ausencia es aún mayor, de modo que sólo en el caso de los libros de texto que presentan el ciclo del fósforo

hay una cierta relevancia para ecosistemas acuáticos. Todo ello, pensamos, produce una visión de la biosfera bastante sesgada hacia lo terrestre.

- ✓ Los flujos y tasas de renovación de los ciclos no se comentan en ningún momento. Esto contrasta, de nuevo, con los manuales. No es necesaria una inclusión profusa de datos, mas sí algún comentario en el texto principal o bien usar las imágenes, por ejemplo utilizando flechas de diferente grosor con una clave explicativa adecuada.

Deficiencias y ambigüedades gráficas:

- La correcta interpretación de las imágenes requiere que el lector conozca los códigos de lectura de las mismas. En las ilustraciones analizadas debemos combinar la lectura de flechas, secciones y detalles, elementos figurativos y simbólicos sobre fondos complejos. Esta demanda se realiza al alumnado de 4º curso de ESO (15-16 años). Los datos de la investigación educativa sobre tales demandas son al menos contradictorios, aunque Reid (1990b) puso de manifiesto que no hay que dar por seguro que las ilustraciones mejoren el aprendizaje de los estudiantes con menor capacidad, antes bien lo contrario.
- La profusión de flechas de diferente grosor y color puede dar lugar a errores en la comprensión del carácter dinámico del ciclo, en particular cuando no hay ningún tipo de explicación en el texto sobre el significado de esas diferencias. Suele haber un gran número de flechas de emisión de gases y pocas de entrada a la geosfera.
- Hay tendencia a crear un código de lectura para los gases, a saber: el dióxido de carbono y el nitrógeno aparecen muy a menudo en etiquetas impresas sobre la imagen de una nube.

¿Qué demandan los manuales de Ecología a sus lectores, previsiblemente con mayor formación y, seguro, de mayor edad?

Las diferencias de contenidos científicos se centran en la cuantificación de los depósitos y flujos y en la presentación, en muchos casos, de los ciclos para ecosistemas concretos (bosques, lagunas, etc.) y no tanto para la biosfera. El resto de conceptos y procesos presentados son similares. En los doce manuales revisados (publicados entre 1965 y 2001), hemos analizado 23 ilustraciones: 17 de ellas son diagramas de flujo de tipo 1 y 6 diagramas de tipo 2. En ningún caso se utilizan fondos complejos, y solo dos utilizan el color para estas ilustraciones, aunque en el manual aparezca este recurso en otros lugares del mismo. En algún caso, textos recientes presentan ilustraciones simples cuyas fuentes originales son muy anteriores, e incluso en un texto se comentan ciclos biogeoquímicos en ecosistemas acuáticos sin ilustración alguna.

Todas las imágenes analizadas de libros de BUP, ESO y manuales de Ecología pueden consultarse en www.ugr.es/local/pagoga/IMAGENESCICLOSESO.pdf y www.ugr.es/local/pagoga/IMAGENESCICLOSMANUALES.pdf

Globalmente apreciamos que las ilustraciones de los textos de BUP eran similares a sus manuales contemporáneos de Ecología; sin embargo, en la actualidad, los textos de ESO han primado la proliferación de colores, la incorporación de múltiples

elementos derivados de las posibilidades técnicas de la ilustración, supuestamente por un afán de embellecimiento y quizá con un cierto mimetismo de otros recursos audiovisuales; por el contrario, los manuales de Ecología mantienen formas de representación más simples y que no requieren mayores demandas de comprensión.

Las investigaciones educativas específicas indican que las ilustraciones científicas complejas, tipo diagramas, requieren ayuda y enseñanza específica y que su aprovechamiento mejora con la experiencia anterior de los alumnos en el estudio de textos científicos (Lowe, 1996; Du Plessis et al., 2002).

Por los cambios observados, ¿Podríamos estimar que los ilustradores de los textos de ESO consideran altamente capacitados a sus alumnos?, o bien, ¿Están menospreciando los autores de los manuales universitarios las capacidades de sus alumnos al dejar de introducir mayores complejidades desde hace casi 50 años? Sugerimos un ejercicio de comparación de imágenes (por ejemplo entre las figuras 1, 3 y 6) y dejamos las respuestas como un lugar de reflexión para el lector.

DISCUSIÓN E IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA

Indiquemos inicialmente que algunas de las deficiencias comentadas en la sección de contenidos científicos, coinciden con los errores conceptuales puestos de manifiesto por el trabajo de Hildebrandt y Bayrhuber (2002). ¿Estaremos ante un nuevo ejemplo de errores o problemas inducidos por los textos? La percepción de los ciclos biogeoquímicos, no como una realidad dinámica sino más bien como una foto estática, es un problema común entre el alumnado (Leach et al., 1996; García, 2003) y afecta en general a la enseñanza de todos los conceptos científicos que implican cambio.

Los cambios en los ciclos ocurren en grandes períodos de tiempo y no se perciben en la vida individual. En la actualidad, sin embargo, podemos percibir las consecuencias de las perturbaciones en uno de estos ciclos por las variaciones en los contenidos del reservorio atmosférico de carbono. La adecuada comprensión del ciclo del carbono puede favorecer la toma de conciencia de la gravedad del cambio climático en curso.

Las ilustraciones de los ciclos biogeoquímicos se han presentado siempre como un elemento coadyuvante para su estudio; en algunos textos se ha utilizado como medio principal o único para su enseñanza. También es común que el profesorado las utilice como medio de evaluación, al solicitar que el alumno realice una representación o esquema de las mismas, reproduciendo la ilustración del texto; en varios libros se puede encontrar la reproducción de las ilustraciones de forma "muda" o sin etiquetas como actividad complementaria al final de los capítulos correspondientes.

Diversas investigaciones han puesto de manifiesto que la profusión de imágenes no tiene una relación directa con la facilitación del aprendizaje e incluso puede ser al contrario o contraproducente para los alumnos con mayor dificultad en el aprendizaje (Reid, 1990b; Reid y Beveridge, 1986). Sin embargo, de los datos derivados de nuestra línea de trabajo, parece que el mito de que una imagen es más válida que cien palabras se mantiene en buena parte intacto o al menos modificado con el añadido de "más vale una ilustración compleja que una más simple". La estética

publicitaria y audiovisual parece llevar a una sucesiva complejidad en las ilustraciones de los ciclos biogeoquímicos analizados; se prima lo atractivo y el abuso de la imagen.

En la búsqueda de imágenes no sólo decorativas, podemos realizar algunas consideraciones para el profesorado:

1. Las imágenes más realistas, los elementos figurativos, no son mejores para el aprendizaje pues pueden dar lugar a informaciones irrelevantes para el alumno, incluso en el estudio de elementos anatómicos (Pérez de Eulate y Llorente, 1998). Este hecho nos parece más evidente en nuestro contenido de estudio, un ciclo natural fruto de una gran abstracción y en el que se combinan elementos y procesos complejos y muy variados. Si sustituimos lo simbólico por lo figurativo, en aras de una supuesta ayuda al alumno, resulta absurdo hacer las imágenes tan complejas que se convierten en sí mismas en un nuevo problema. Hay que recordar en nuestro caso que los diagramas de flujo más simples, con elementos simbólicos, se mantienen en la mayoría de los manuales universitarios de prestigio.
2. La lectura gráfica de secciones, detalles, flechas o líneas cinéticas de diferente grosor y color no son de aprendizaje innato; más aún cuando el texto no hace referencia alguna a su interpretación o incluso un ciclo biogeoquímico se ilustra con unas flechas y colores y otro ciclo de otra manera. Constable et al. (1988) y Du Plessis et al. (2002) han puesto de manifiesto los problemas que los estudiantes pueden tener al interpretar los símbolos tipo "flechas", secciones o detalles.
3. En ningún caso el profesor debe dar por obvia la lectura de la imagen, en particular si el libro de texto usado muestra un índice de redundancia imagen-texto de valor bajo y la ilustración utiliza un diagrama de flujo de Tipo 3.
4. Podemos realizar actividades que fomenten la interacción texto-ilustración: realizar un dibujo esquemático del ciclo, tras la lectura del texto, sólo con elementos simbólicos, y evitando reproducir detalles figurativos; completar los rótulos de dibujos previos o corregir rótulos erróneos; solicitar a los alumnos la realización de pies de imagen explicativos, al estilo de los manuales superiores.
5. En el contenido abordado debemos optar por diagramas de flujo simples, con etiquetas que incidan en los procesos fundamentales del ciclo y textos complementarios con alto índice de redundancia información imagen-texto. Los datos más amplios de la investigación educativa inciden en que la redundancia de información entre texto e ilustraciones (información ilustrada en la terminología de Levie y Lentz, 1982) es la mejor ayuda para el aprendizaje, aun considerando que puedan existir otras variables.
6. Aunque los textos de ESO analizados presentan unos valores del índice de redundancia relativamente elevados, este hecho favorable se ve obscurecido por la complejidad de las imágenes, que requiere una instrucción específica del profesor y con ello se desaprovecha la potencialidad de la relación imagen-texto.

7. La comparación con textos más antiguos puede ser muy útil para el profesorado, planteando de forma retrospectiva ilustraciones más simples utilizadas en otros momentos.
8. La comparación con los manuales superiores nos aporta dos hechos importantes. En primer lugar se aprecia que estos manuales utilizan profusamente los pies de figura explicativos, de modo que en muchos casos las ilustraciones pueden ser comprendidas de forma casi independiente del texto principal del libro y, en todo caso, provocan mayor redundancia entre imagen y texto. Este hecho se deriva probablemente de que sus autores son también investigadores y, al publicar en las revistas especializadas, suele demandarse que las figuras e ilustraciones puedan ser comprendidas de forma independiente o autónoma del texto principal. En segundo lugar, y derivado de lo anterior, conscientemente o no, esto provoca que los autores de manuales parezcan más preocupados por la comprensión de sus textos, o al menos no tan preocupados por que sus libros sean atractivos y entren por los ojos, derivados de sus colores y profusión de ilustraciones.
9. Kersey y Turner (1999) ponen de manifiesto que la utilidad de las imágenes es percibida de forma bastante distinta por profesores y alumnos, demandando el alumnado ilustraciones útiles para el aprendizaje y evidenciando que los profesores no siempre son los mejores jueces para elegir los materiales de sus alumnos.

Animamos a trabajar en el análisis de las relaciones entre texto e ilustraciones en otros contenidos de biología, lo que es posible desde la perspectiva esencialmente disciplinar que hemos abordado en este trabajo y/o desde otras perspectivas que consideren la funcionalidad social y la significatividad de los conocimientos analizados.

El gran potencial didáctico de las ilustraciones depende de no dejar en el olvido que los libros son herramientas que deben facilitar el aprendizaje del alumno y no sólo un reclamo ilustrado para su contemplación.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Dr. D. Esteban de Manuel Torres la revisión del manuscrito.

REFERENCIAS

- Alonso, M. y Matilla, L. (1990). *Imágenes en acción*. Madrid. Akal Ediciones.
- Constable, H., Campbell, B. and Brown, R. (1988). Sectional drawings from science textbooks: an experimental investigation into pupils' understanding. *British Journal of Educational Psychology*, 58: 89-102.
- Du Plessis, L., Anderson, T.R. and Grayson, D.J. (2002). Student difficulties with the use of arrow symbolism in biological diagrams. *Paper presented at the ERIDOB Conferences, Toulouse, France, 22-26 October 2002*.
- García, J.E. (2003). Investigando el ecosistema. *Investigación en la escuela*, 51: 83-100.

- Hildebrandt, K. and Bayrhuber, H. (2002). System thinking and multiperspective learning in the carbon cycle context. *Paper presented at the ERIDOB Conferences, Toulouse, France, 22-26 October 2002.*
- Jiménez, J., Hoces, R. y Perales, F.J. (1997). Análisis de los modelos y grafismos utilizados en los libros de texto. *Alambique*, 11: 75-85.
- Kearsey, J. and Turner, S. (1999). How useful are the figures in school biology textbooks? *Journal of Biological Education*, 33(2): 87-94.
- Leach, J., Driver, R., Scott, P. and Wood-Robinson, C. (1996). Children's ideas about ecology 2: ideas founding children aged 5-16 about the cycling of matter. *International Journal of Science Education*, 18(1): 19-34.
- Levie, W.H. and Lentz, R. (1982). Effects of text illustrations: a review of research. *Educational Communication and Technology Journal*, 30(4): 195-232.
- Lowe, R.K. (1996). Background knowledge and the construction of a situational representation from a diagram. *European Journal of Psychology of Education*, 11(4): 377-397.
- Perales, F.J. (2006). Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1): 13-30.
- Perales, F.J. y Jiménez, J. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3): 369-386.
- Pérez de Eulate, L. y Llorente, E. (1998). Las imágenes en la enseñanza-aprendizaje de la biología. *Alambique*, 16: 45-53.
- Pérez de Eulate, L., Llorente, E. y Andrieu, A. (1999). Las imágenes de digestión y excreción en los textos de primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2): 165-178.
- Reid, D. (1990 a). The role of pictures in learning biology: part 1, perception and observation. *Journal of Biological Education*, 24(3): 161-172
- Reid, D. (1990 b). The role of pictures in learning biology: part 2, picture-text processing. *Journal of Biological Education*, 24(4): 251-258.
- Reid, D. and Beveridge, M. (1986). Effects of text illustration on children's learning of a school science topic. *British Journal of Educational Psychology*, 56: 294-303.

ANEXO 1 (Tablas)

Texto analizado	(1) Iconicidad: Tipo de diagrama de flujo	(2) % Superficie ilustración	(3) Número flechas por ilustración	(4) Número colores en las flechas	(5) Diferente grosor en las flechas	(6) Número fórmulas por ilustración	(7) Número etiquetas por ilustración	(8) Uso de claves (C), detalles (D) o secciones (S)	(9) Índice de redundancia imagen - texto
1	Tipo 2	40	9	1	No	3	12		0,88
2	Tipo 2	33	16	1	No	1	12	D	0,92
3	Tipo 1	37	8	1	No	1	9		1,00
4	Tipo 2	30	10	1	No	1	13		0,95
5	Tipo 1	25	7	1	No	0	12		0,00
6	Tipo 2	33	14	4	Si	1	8	D, S	0,45
7	Tipo 2	60	19	3	No	1	10		0,96
8	Tipo 3	54	10	3	No	1	4	C, D	0,64
9	Tipo 3	53	12	2	Si	1	11	D, S	0,87
10	Tipo 2	53	10	1	No	1	12	D	0,50
11	Tipo 4	55	20	2	Si	1	17	C, S	1,00
12	Tipo 3	63	19	1	No	1	28	S	0,66
13	Tipo 3	55	16	1	No	0	11	D, S	0,66
14	Tipo 2	64	13	7	No	1	13	S	0,61
15	Tipo 3	57	20	2	No	1	13	C, D	0,97
16	Tipo 2	40	19	1	No	1	19	D, S	0,73

Tabla 2.- Análisis de las ilustraciones del ciclo del carbono. Se presentan datos de Iconicidad (1), Relación con el texto (2 y 9), Etiquetas gráficas (3, 4, 5 y 6) y Etiquetas verbales (7 y 8)

Texto analizado	(1) Iconicidad: Tipo de diagrama de flujo	(2) % Superficie ilustración	(3) Número flechas por ilustración	(4) Número colores en las flechas	(5) Diferente grosor en las flechas	(6) Número fórmulas por ilustración	(7) Número etiquetas por ilustración	(8) Uso de claves (C) y detalles (D)	(9) Índice de redundancia imagen-texto
1	Tipo 2	38	9	1	Si	3	10		1,00
2	Tipo 2	24	8	2	No	4	5	D	1,00
3	Tipo 1	35	7	1	No	4	8		1,00
4	Tipo 2	50	8	1	No	5	14		0,81
5	Tipo 1	25	6	1	No	0	13		0,00
6	Tipo 2	33	14	3	Si	4	12		0,50
7	Tipo 2	46	15	2	Si	4	12		0,88
8	Tipo 3	52	10	6	No	4	12	C, D	0,82
9	Tipo 3	49	14	4	Si	0	13	D	0,77
10	Tipo 2	48	10	1	No	0	13		0,74
11	Tipo 3	77	14	1	No	1	10	D	0,58
12	Tipo 3	53	16	1	Si	1	20	D	0,83
13	Tipo 3	61	14	1	No	4	7	D	0,95
14	Tipo 2	61	8	4	No	4	11		0,73
15	Tipo 3	49	24	2	No	1	11	C, D	0,72
16	Tipo 2	40	14	1	No	0	10	D	0,87

Tabla 3.- Análisis de las ilustraciones del ciclo del nitrógeno. Se presentan datos de Iconicidad (1), Relación con el texto (2 y 9), Etiquetas gráficas (3, 4, 5 y 6) y Etiquetas verbales (7 y 8).

ANEXO 2 (FIGURAS)

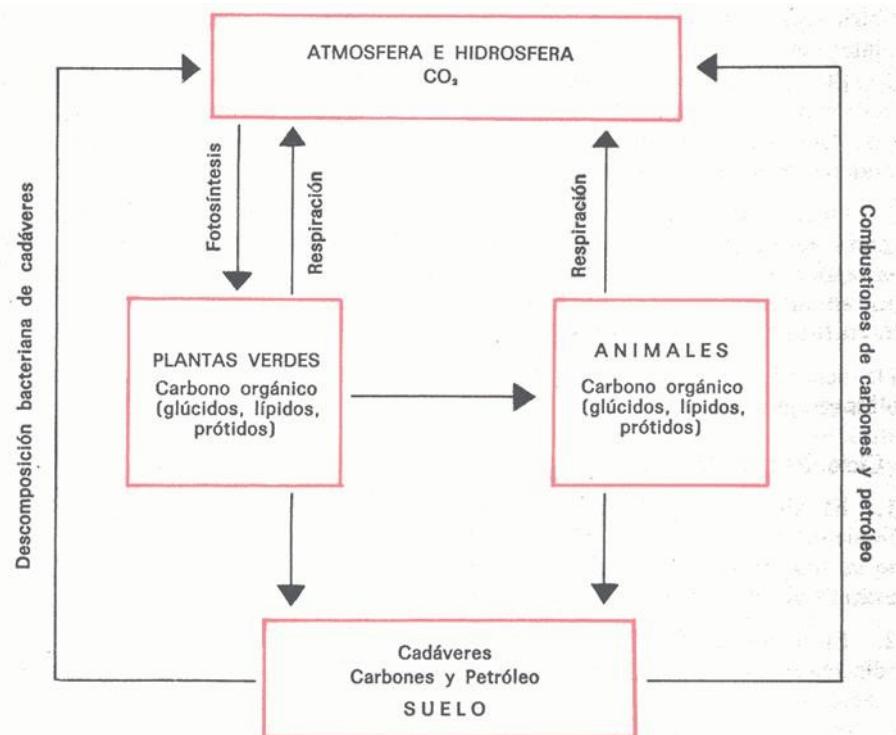


Fig. 6.1.—Ciclo biogeocímico del carbono.

Figura 1.- Diagrama de flujo Tipo 1. Fuente: Ciencias de la Naturaleza. 1BUP, página 253, edición de 1987. Editorial ECIR.

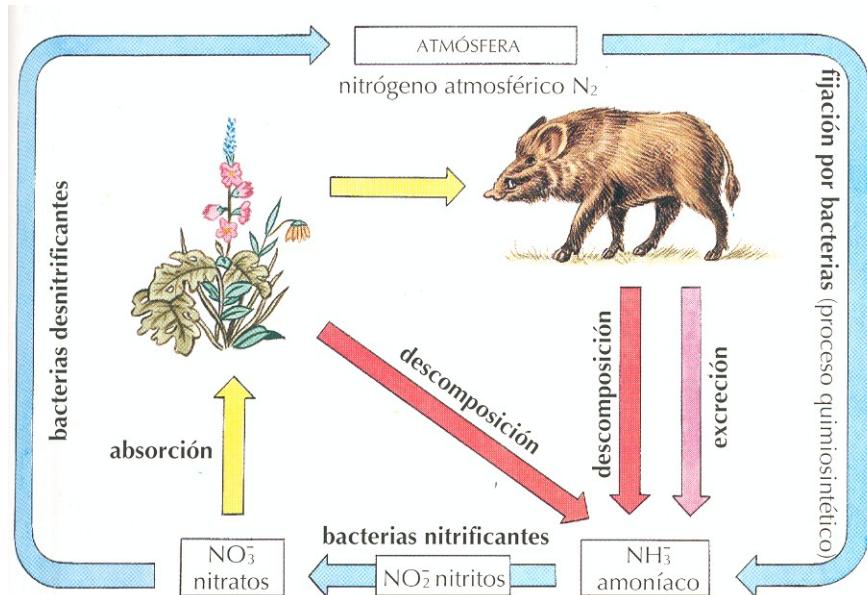


Figura 2.- Diagrama de flujo Tipo 2. Fuente: Biología y Geología, 4ESO, página 105, edición de 1999. Editorial EDELVIVES.

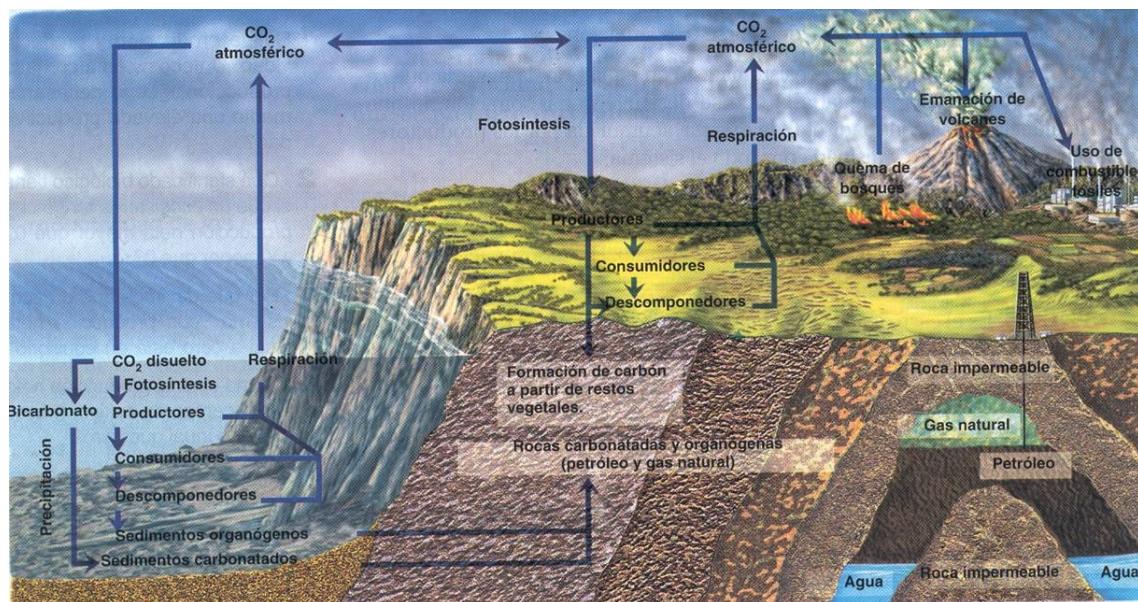


Figura 3.- Diagrama de flujo Tipo 3. Fuente: Biología y Geología, 4 ESO, página 110, edición de 1998. Editorial ANAYA.

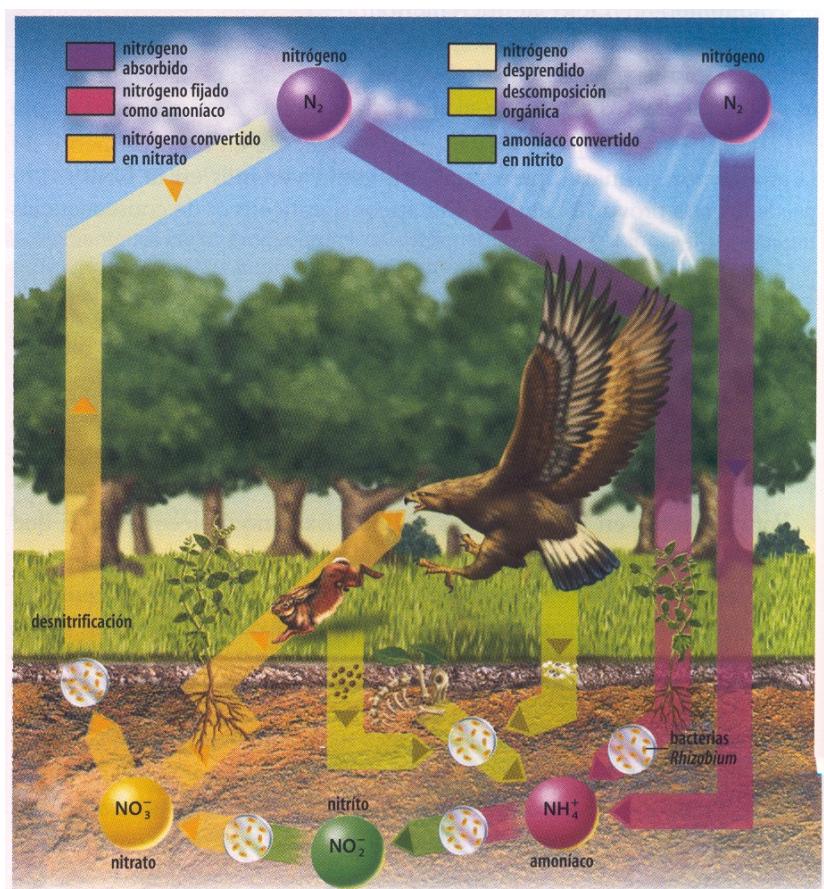


Figura 4.- Diagrama de flujo Tipo 3. Fuente: Biología y Geología, 4 ESO, página 258, edición de 1998. Editorial SM-proyecto Darwin.

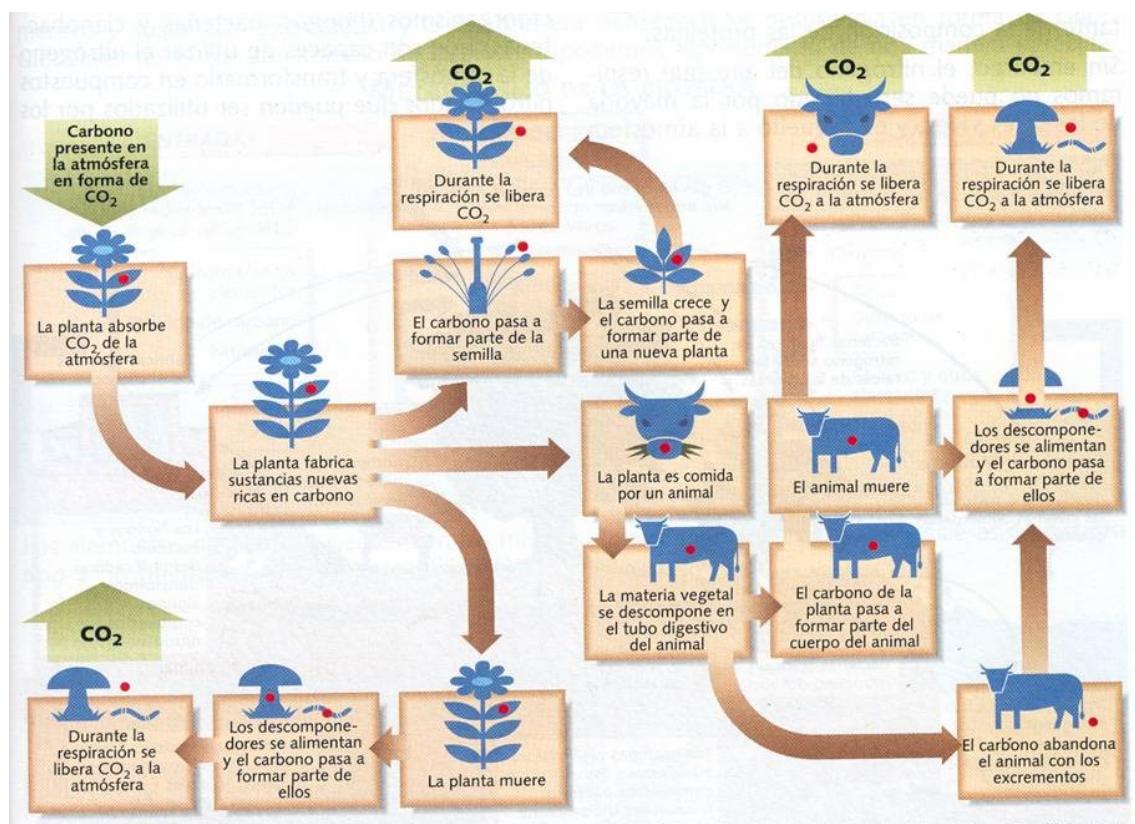


Figura 5.- Diagrama de flujo Tipo 4. Fuente: Biología y Geología 4 ESO, página 201, edición de 1998. Editorial SM-proyecto Biosfera.

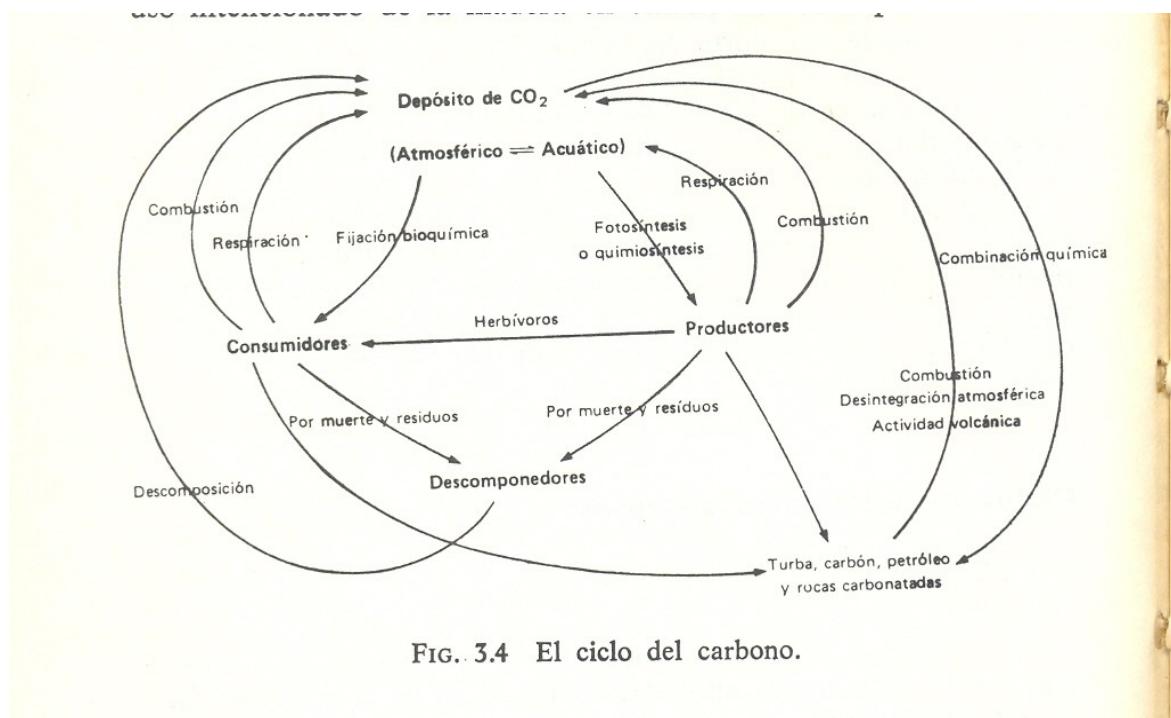


FIG. 3.4 El ciclo del carbono.

Figura 6.- Diagrama de flujo Tipo 1, Fuente: Kormondy, E.J. 1973. Conceptos de Ecología. Alianza Editorial, página 66.

ILLUSTRATIONS OF CARBON AND NITROGEN BIOGEOCHEMICAL CYCLES IN TEXTS OF SECONDARY EDUCATION

SUMMARY

Text Illustrations are a basic tool for the material cycling teaching. We make an analysis of carbon and nitrogen cycle illustrations in 16 textbooks. The results are showed and compared with Ecology textbooks. The comparison facilitates to discuss about the improvement in the use of text illustration for the teaching of Biology.

Key words: *Material cycling; Textbooks analysis; Text Illustration analysis.*