

El documento “Alfabetización en Ciencias de la Tierra” como referente para la investigación del potencial didáctico de las ilustraciones geocientíficas en los libros de texto de Enseñanza Secundaria

The document “Literacy in Earth Sciences” as a reference to research of the didactic potential of geoscientific illustrations in secondary education textbooks

EDSON SOUZA¹, DAVID BRUSI² Y AMELIA CALONGE³

¹ Programa de Posgraduación en Enseñanza y Historia de las Ciencias da Terra, Pehct, Ig/Universidade Estadual de Campinas, Brasil. E-mail: fisedsonson@gmail.com

² Facultad de Ciencias de la Universidad de Girona, España. E-mail: david.brusi@udg.edu

³ Facultad de Educación, Universidad de Alcalá, España. E-mail: a.calonge@uah.es

Resumen El documento “Alfabetización en Ciencias de la Tierra: propuesta curricular” de Pedrinaci *et al.* (2012) fue utilizado como instrumento diagnóstico de los contenidos geológicos de una colección de libros de texto de Enseñanza Secundaria. La investigación desarrollada en el marco de una tesis doctoral sobre las ilustraciones geocientíficas de manuales didácticos de España, Italia, Portugal y Brasil permitió analizar la presencia y distribución de las diez ideas clave en el conjunto de libros. El trabajo definió seis tipologías de ilustraciones: fotografías, representaciones esquemáticas, mapas, gráficos científicos, ilustraciones tradicionales y reproducción de obras de arte. El procesamiento estadístico de su presencia en las diversas publicaciones permitió identificar la idea clave 6 [La tectónica de placas es una teoría global e integradora de la Tierra] como la más representativa por lo que se refiere al uso más equilibrado de los diferentes tipos de representaciones. De este modo, fue elegido el bloque temático de Geodinámica interna y Tectónica de Placas para centrar el análisis pormenorizado de las ilustraciones en los libros investigados.

Palabras clave: Didáctica, Enseñanza Secundaria, ilustraciones, libros de texto, Tectónica de placas.

Abstract *The document “Literacy in Earth Sciences: a curricular proposal” by Pedrinaci et al. (2012) was used as a diagnostic tool for the geological contents of a selection of Secondary School textbooks. The research developed in the framework of a doctoral thesis on geoscientific illustrations of didactic manuals in Spain, Italy, Portugal and Brazil allowed us to analyze the presence and distribution of the 10 key ideas in the set of books. The work defined six types of illustrations: photographs, schematic representations, maps, scientific graphics, traditional illustrations and reproductions of works of art). Statistical processing of their presence in the various publications allowed us to identify the key idea 6 as the most representative in terms of a more balanced use of different types of images. Thus the thematic cluster “internal Geodynamics and Plate tectonics” was chosen, as it provides a focus for the detailed analysis of the illustrations in the books that were examined.*

Keywords: Didactics, illustrations, Plate tectonics, Secondary School, textbooks.

INTRODUCCIÓN

La Comisión “Qué Geología Enseñar” y su propuesta curricular para las Ciencias de la Tierra

El 31 de mayo de 2011, en la sede madrileña del Instituto Geológico y Minero de España, los repre-

sentantes de la práctica totalidad de las sociedades científicas relacionadas con la Geología y su enseñanza, así como de otras organizaciones afines que manifestaron su interés, se reunieron con un ambicioso objetivo. Acudieron a la convocatoria de la AEPECT que, recogiendo el mandato de su Asamblea

General de julio de 2010, había impulsado la constitución de la Comisión “**Qué Geología enseñar**” para consensuar una propuesta curricular sobre los contenidos geológicos para la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y el bachillerato. Una vez elaboradas las directrices curriculares, deberían ser trasladadas a las autoridades educativas españolas para tratar de influir en la presencia y desarrollo de los contenidos de Ciencias de la Tierra en la futura ley de Educación que se estaba gestando.

La presidencia de AEPECT propuso entonces a Emilio Pedrinaci como coordinador de la recién constituida comisión. Bajo el incansable liderazgo de Emilio, durante más de un año, un grupo de trabajo, integrado por más de veinte expertos, elaboró una propuesta. Como no podía ser de otro modo, el proyecto partía de experiencias internacionales equivalentes, pero tomó como referente principal los *Earth Science Literacy Principles*, definidos en Estados Unidos por la *National Science Foundation* (NSF, 2009).

Una propuesta de síntesis de los conocimientos fundamentales de la Geología

Las conclusiones del proyecto se plasmaron en un primer documento titulado “Alfabetización en Ciencias de la Tierra: propuesta curricular” (Pedrinaci *et al.*, 2012). En él se definían las 10 ideas clave de las Ciencias de la Tierra que todos los ciudadanos deberían conocer, y que deberían quedar reflejadas en los currículos de los sistemas educativos. Cada idea clave se estructuraba en distintas sub-ideas que se fundamentaban en la visión moderna del conocimiento geológico y su aplicabilidad para la resolución de problemas globales y locales. La universalidad de las ideas y sub-ideas clave sugeridas no radica en su rigidez sino en todo lo contrario, en su flexibilidad para guiar una visión panorámica y sintética de lo que la Geología puede aportar y que debería ser conocido por una persona “alfabetizada en Ciencias de la Tierra”. Desde esta perspectiva, las 10 ideas claves son un buen referente de lo que debería saber sobre Ciencias de la Tierra cualquier estudiante al finalizar la ESO.

Las Ideas clave sirvieron de base para formular una propuesta de contenidos para la ESO al Ministerio de Educación de España. Asimismo fueron difundidas a través de diversas conferencias, mesas redondas y publicaciones. Finalmente, fueron desarrolladas de un modo más extenso por distintos autores (Alfaro *et al.*, 2013; Anguita, 2013; Brusi *et al.*, 2013; Fernández-Martínez, 2013; Martínez-Frías, 2013; Pascual, 2013; Pedrinaci, 2013; Pedrinaci *et al.* 2013 y Ruiz de Almodóvar, 2013), en el monográfico 21.2 de la revista *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* titulado precisamente “¿Qué Geología enseñar?”

Las 10 ideas clave como instrumento diagnóstico en la investigación educativa

Las 10 ideas clave de la alfabetización en Ciencias de la Tierra y sus correspondientes sub-ideas contribuyen a definir las directrices de un diseño curricular, pero también pueden ser utilizadas en sentido inverso. Es decir, permiten -desde su voluntad sistematizadora de un campo de conocimiento- ser aplicadas como un instrumento de análisis de la presencia de los contenidos geológicos en un

determinado currículum educativo o en los libros de texto que lo concretan y despliegan. De este modo, algunas investigaciones han empezado a utilizarlas ya como patrón de referencia.

Este artículo aborda, precisamente, los principales resultados y conclusiones de un trabajo sobre el papel de las ilustraciones científicas de contenido geológico en libros de texto de la Enseñanza Secundaria en base al documento “Alfabetización en Ciencias de la Tierra”.

EL DOCUMENTO “ALFABETIZACIÓN EN CIENCIAS DE LA TIERRA” COMO REFERENTE

El punto de partida de una tesis doctoral

Teniendo en cuenta el papel crucial de las ilustraciones para la enseñanza de la Geología, el primer firmante de este trabajo inició, desarrolló y culminó una tesis doctoral (Souza, 2015)¹, realizada en convenio de co-tutela entre la Universidad Estadual de Campinas (UNICAMP, Brasil) y la Universidad de Girona (UdG, España), sobre “El potencial didáctico de las imágenes geocientíficas en los libros de texto de Enseñanza Secundaria”².

Asumiendo la importancia en los procesos de enseñanza-aprendizaje de Ciencias de los libros de texto y de la funcionalidad de sus ilustraciones desarrollada por numerosos autores (por ejemplo, Levie y Lentz, 1982; Perales y Jiménez, 2002), la investigación permitió analizar 119 libros de texto producidos en Brasil, España, Italia y Portugal (Fig. 1, Tabla I) y también el proceso editorial de las ilustraciones, a partir de encuestas respondidas por 52 profesionales (editores, autores e ilustradores) de los países involucrados.



Fig. 1. Muestra de algunos de los libros de texto analizados.

1 La tesis a la que nos referimos fue galardonada con la Mención Honrosa del Premio “Capes” de Tesis 2016, por su relevancia entre las tesis doctorales sobre Enseñanza, presentadas en Brasil en el año de 2015.

2 La tesis doctoral fue codirigida por David Brusi (UdG), Amelia Calonge (UAH) y Denise de la Corte Bacci (USP).

PAÍSES	EDITORIALES	COLECCIONES	LIBROS
Brasil	9	16	38
España	7	22	60
Italia	2	5	7
Portugal	3	4	14
Total	21	47	119

Tabla I. Caracterización de la muestra de libros investigados.

Los resultados globales de la investigación proporcionaron una comprensión general del complejo proceso editorial de producción de libros de texto; de la estructura didáctica de las obras; del papel fundamental que desempeñan las ilustraciones en contextos educativos para las Ciencias de la Tierra y de los errores más frecuentes que se producen en el diseño de las mismas (Brusi, Souza y Calonge, 2016).

La presencia de las ideas clave en los libros investigados

El análisis de las ilustraciones geocientíficas de un volumen tan elevado de libros de texto de Educación Secundaria recopilados para el proyecto de tesis doctoral requería conocer si las distintas asignaturas abordaban equilibradamente los contenidos geológicos más comunes. También resultaba imprescindible plantear una selección previa de una muestra de imágenes comparable y representativa de algún tema común en los cuatro países estudiados. El documento sobre las 10 ideas clave de la alfabetización en Ciencias de la Tierra fue aplicado a este propósito.

A pesar de las diferencias estructurales y curriculares de los sistemas educativos de España, Italia y Portugal, todos ellos comparten el hecho de tener disciplinas y libros específicos para la enseñanza las Ciencias de la Naturaleza (Biología y Geología). No sucede lo mismo en Brasil, donde los contenidos geológicos se hallan incluidos en otras disciplinas (Tabla II).

La distribución de contenidos en cada colección individual mostró una presencia generalizada de todas las ideas y sub-ideas contenidas del documento de referencia. Este hecho indica un patrón casi homogéneo de la distribución y existencia de contenidos, lo que permite examinar comparativamente la muestra de los libros de texto objeto de estudio. Una primera aproximación se centró en los libros

PAÍSES	ASIGNATURAS
Brasil	Biología
	Física
	Geografía
	Química
España	Ciencias de la Naturaleza - (ESO)
	Biología y Geología - (ESO)
	Ciencias da Natureza - (Bachillerato)
	Biología y Geología - (Bachillerato)
	Ciencias para el mundo contemporáneo - (Bachillerato)
Italia	Ciencias Naturales * - (Liceo científico).
Portugal	Biología y Geología
	Geología

Tabla II. Asignaturas que incluían, en el curso 2013/14, contenidos de Ciencias de la Tierra en la Enseñanza Secundaria de los países involucrados en la investigación.

*Biología, Química y Ciencias de la Tierra.

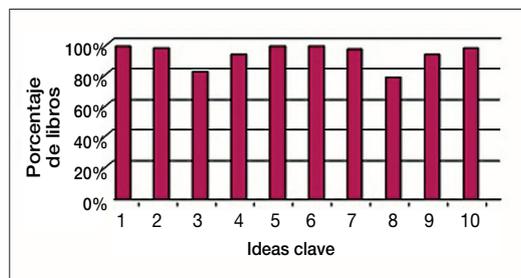


Fig. 2. Distribución porcentual de las ideas clave para la muestra de libros de España, Italia y Portugal.

Europeos por ser éstos los que se concretan específicamente en asignaturas de contenidos geológicos.

La figura 2 muestra la gráfica de la distribución de las ideas clave para el conjunto de libros de España, Italia y Portugal. En este caso destacamos la presencia completa de las ideas clave 1, 2, 5, 6, 7 y 10³ en los libros europeos investigados.

La distribución de las ideas clave también fue analizada para la colección de libros brasileños. El hecho de que no exista una asignatura específica de Ciencias de la Tierra en el currículo de Brasil no significa que el contenido de esa área de conocimiento no sea tratado en los libros de la escuela secundaria. En los libros de la muestra que reunió la investigación fue posible verificar que no sólo los contenidos estaban presentes en el conjunto total de libros de Biología, Física, Química y Geografía, sino también en la forma en que se distribuyeron estadísticamente en cada una de estas asignaturas.

La figura 3 muestra la distribución de las ideas clave en una muestra de 48 libros de Brasil, en las áreas de Geografía y de las Ciencias de la Naturaleza (Física, Química y Biología). En Brasil es común que una obra se divida en tres volúmenes, por lo que cada una de las cuatro asignaturas representaba 12 libros, distribuidos en 4 conjuntos.

Puede observarse que los libros de Geografía son los que concentran la mayor cantidad de ideas clave. Más concretamente, el 90% de las ideas clave de geociencias estaban presentes en el conjunto de los libros de Geografía investigados y sólo la idea clave 5 no aparece en ninguno de ellos. Otro hecho

3 Ideas clave:

- 1: La Tierra es un sistema complejo en el que interaccionan las rocas, el agua, el aire y la vida.
- 2: El origen de la Tierra va unido al del Sistema Solar y su larga historia está registrada en los materiales que la componen.
- 3: Los materiales de la Tierra se originan y modifican de forma continua.
- 4: El agua y el aire hacen de la Tierra un planeta especial.
- 5: La vida evoluciona e interacciona con la Tierra modificándose mutuamente.
- 6: La tectónica de placas es una teoría global e integradora de la Tierra.
- 7: Los procesos geológicos externos transforman la superficie terrestre.
- 8: La humanidad depende del planeta Tierra para la obtención de sus recursos y debe hacerlo de forma sostenible.
- 9: Algunos procesos naturales implican riesgos para la humanidad.
- 10: Los científicos interpretan y explican el funcionamiento de la Tierra basándose en observaciones repetibles y en ideas verificables.

que llama la atención es que la única idea clave que solo estaba presente en esta asignatura es la idea clave 9, que se ocupa de los riesgos naturales.

Los libros de Biología también tienen una buena presencia de ideas clave geocientíficas. Este estudio indica que alrededor del 70 % estaban presentes en el conjunto formado por estos libros. Curiosamente, las ideas 1, 2, 3, 4, 5, 8 y 10 estaban presentes en el 100 % de las obras Biología investigadas.

En los manuales de Química se constata que, como media, las ideas clave están presentes en un 42 %. Es posible señalar que las ideas clave 4 y 8 aparecen en el 100 % de los libros de Química investigados. Los libros de Física de la muestra total investigada son los que tienen la menor cantidad de contenidos de Geociencias. En el 10 % de las obras se observa la presencia de ideas clave. Sólo la idea clave 4 aparece en el 100 % de las obras.

La presencia de las ideas clave tanto en los libros europeos como en los brasileños permitió un análisis conjunto. La figura 4 muestra la distribución de las ideas clave para el conjunto completo de los libros investigados. Los datos representados en este gráfico ponen de manifiesto que las ideas fundamentales están presentes en casi la totalidad de los libros investigados. Este resultado fue bastante satisfactorio para focalizar nuestra investigación, dado que otorgaba representatividad a la hora de elegir una de las 10 ideas clave para llevar a cabo el análisis de las representaciones gráficas. Es de destacar la presencia de las ideas 1 y 2 en el 87 % de las colecciones de libros y la idea 4 en el 82 % de ellos.

En una primera aproximación, podía pues concluirse que para un análisis de las ilustraciones de los libros de texto, cualquier bloque temático –atribuible a una de las 10 ideas clave– podía ser representativo y comparable entre las colecciones de los cuatro países contrastados.

Para los mismos libros de la muestra se analizó la distribución de las sub-ideas clave. La figura 5 muestra la presencia de todas las sub-ideas en alrededor del 76 % de los libros investigados. Y si tenemos en cuenta el número total de libros investigados están presentes el 100 % de las ideas secundarias, que incluyen no sólo el contenido geocientífico, sino también muchos de los conceptos epistemológicos.

Distribución estadística de las ilustraciones de acuerdo con las ideas clave

En el marco de la investigación doctoral se definieron y caracterizaron seis tipologías de ilustra-

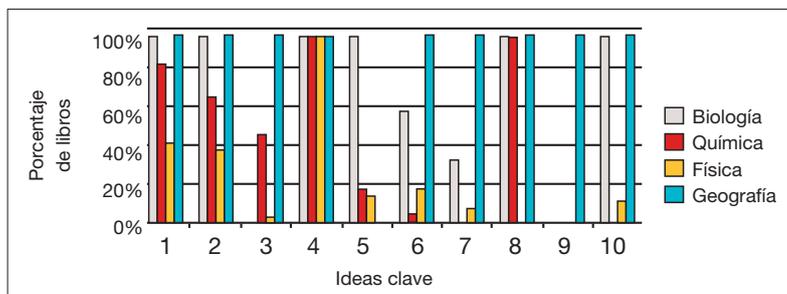


Fig. 3. Distribución de las ideas clave en una muestra de libros brasileños de Física, Química, Biología y Geografía.

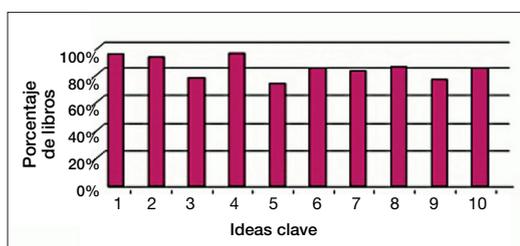


Fig. 4. Distribución porcentual de las ideas clave para la muestra general de libros.

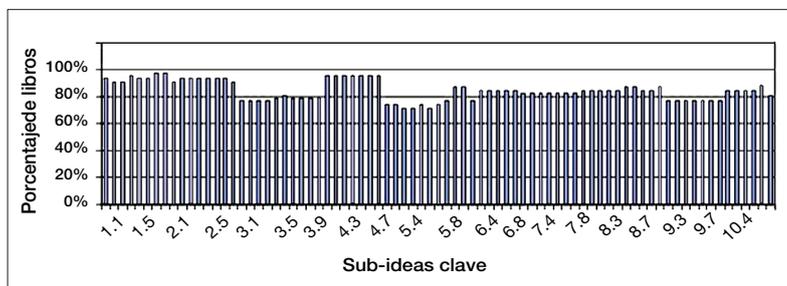


Fig. 5. Distribución porcentual de algunas sub-ideas clave para la muestra general de libros.

ciones geocientíficas (que serán posteriormente descritas en este artículo). Se procesaron todas las ilustraciones de los 119 libros analizados clasificándolas en una de las seis categorías propuestas. Llegados a este punto, el volumen de ilustraciones examinadas exigía una selección para poder profundizar en su funcionamiento discursivo para el alumnado. De nuevo, el documento “Alfabetización en Ciencias de la Tierra” se mostró como un instrumento útil de análisis. Nuestro propósito fue comparar las 10 ideas clave con la distribución estadística de los diferentes tipos de representaciones gráficas (Tabla III). Nos interesaba seleccionar un bloque temático (Idea clave) en el que el papel de las ilustraciones adquiriese cierto protagonismo por ser estadísticamente relevante en el conjunto de las obras. También queríamos encontrar un bloque te-

TIPOS DE IMÁGENES	PORCENTAJE DE IMÁGENES (%)										TOTAL
	IDEAS CLAVE										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Fotografías	1,7	4,5	13,5	4,6	2,6	2,7	7,8	6,9	3,2	3,3	51%
Mapas	0,2	0,4	0,3	0,9	0,4	2,6	0,5	0,5	0,8	0,5	7%
Gráficos	0,6	0,3	0,3	0,7	0,2	0,6	0,1	1,2	0,1	0,6	5%
Esquemas	0,8	5,2	2,9	2,9	1,1	6,8	4,2	2,6	1,2	2,4	30%
Dibujos tradicionales	0,5	0,4	0,4	0,3	1,4	0,2	0,3	1,1	0,3	0,6	6%
Obras de arte	0,0	0,2	0,1	0,0	0,1	0,2	0,01	0,0	0,1	0,1	1%
Total	4%	11%	18%	9%	6%	13%	13%	11%	8%	6%	100%
Desviación estándar	1,2	3,0	9,5	3,2	1,8	1,9	5,5	1,5	2,2	2,6	

Tabla III. Caracterización de la muestra de libros investigados.

mático (Idea clave) que presentase una distribución equilibrada de los distintos tipos de ilustraciones.

La tabla III muestra que entre las tres ideas que presentaban el mayor porcentaje de utilización de ilustraciones (ideas 3, 6 y 7), la idea clave 6 es la que exhibe el uso más equilibrado de los diferentes tipos de representaciones (presenta menor desviación estándar). Como ya es conocido, la idea clave 6 nos indica que “La tectónica de placas es una teoría global e integradora de la Tierra”. A menudo, esta idea se encuentra en los libros de texto bajo la denominación clásica de “Geodinámica interna y Tectónica de Placas”. De este modo, éste fue el tema elegido para centrar el análisis pormenorizado de las ilustraciones en los libros investigados.

Entendemos que la destacada cantidad de ilustraciones de la idea clave 6, así como la distribución más uniforme de los diferentes tipos de representaciones, puede atribuirse, entre otras cosas, al hecho de que la Geodinámica interna y la Tectónica de Placas requiere de un gran esfuerzo para representar procesos que no son visibles a simple vista o que, junto a las imágenes de campo, intentan representar a través de todos los recursos gráficos disponibles unas magnitudes espaciales y temporales considerables. Esto atestigua el papel trascendental de las ilustraciones para la formulación de conceptos y teorías en el campo de las Ciencias de la Tierra, además de su decisiva contribución a la enseñanza de las mismas.

La tabla III también revela el porcentaje de distribución de los tipos de imágenes en el total de libros investigados. Vemos que, en el conjunto de libros de texto, existe una supremacía de las fotografías (51 %) en relación a los demás tipos de representaciones, seguida -a cierta distancia- por las representaciones esquemáticas (30 %). Este hecho puede estar relacionado con la facilidad para la obtención de registros fotográficos frente a otros tipos de imágenes, los cuales demandan el trabajo específico de un ilustrador y un proceso de producción más laborioso.

Análisis del papel didáctico de las ilustraciones geocientíficas a partir de las 10 ideas clave y sub-ideas

Contextualizar los fenómenos, materiales y procesos complejos relacionados con la dinámica de la Tierra es una ardua tarea para los investigadores y profesionales involucrados en el desarrollo de los libros de texto de Geociencias. Este proceso está determinado por las especificidades de los fenómenos geológicos y los métodos establecidos en un área de estudio. Tal como se ha apuntado anteriormente, el amplio intervalo temporal (de segundos a millones de años) sobre el cual se analizan los sucesos y procesos naturales y el amplio espectro espacial (desde espacios micrométricos a escalas astronómicas) sobre el que se estudian determinados procesos son rasgos particulares del estudio de Geociencias que convierten la ilustración en un desafío.

¿Cómo puede un libro de texto representar el tiempo, el espacio y otras dimensiones de una manera apropiada a la epistemología de las Ciencias de la Tierra? Este dilema es uno de los principales retos en este campo del conocimiento, ya que requiere el uso de contenidos escritos y un número significativo de representaciones gráficas. Los estudios han de-

mostrado el papel vital que desempeñan las ilustraciones para la adquisición de conceptos científicos (Cassiano, 2002) y para la difusión del conocimiento en ciertos temas (Jiménez, 1997; Kress y Ogborn, 1998 y Lemke, 1998). Por otro lado, existen numerosas investigaciones que abordan los obstáculos asociados con el uso de representaciones gráficas en la enseñanza para describir conceptos científicos generales (Mayer, 2001).

La discusión anterior pone en valor la importancia de las ilustraciones, tanto para la estructuración de los modelos de Geociencias como para el proceso de aprendizaje asociado a cada uno de estos modelos. Sin embargo, debemos considerar que la creación de libros de texto requiere formular y elegir formas de representaciones gráficas que, asociadas al contenido textual, deberían funcionar de acuerdo con la epistemología de las Geociencias. Por lo tanto, podemos especular que la función de tales ilustraciones está fuertemente relacionada con sus condiciones de producción, las cuales, como ya se ha comentado, involucran un complejo proceso editorial dividido en distintas etapas productivas, cada una de las cuales incluye la participación de varios profesionales de diferentes especialidades.

¿Hay algún criterio que sustente la elección del tipo de representación gráfica que mejor se adapte al desarrollo de un determinado tema? ¿El lenguaje científico y sus criterios de representación sirven como parámetro para la preparación de ilustraciones? ¿Qué procedimientos garantizan la armonía entre las ilustraciones y el contenido textual? Estas son algunas preguntas relacionadas con las condiciones de producción de las representaciones gráficas que ciertamente influyen en su comportamiento discursivo.

EL LIBRO DE TEXTO Y EL POTENCIAL EDUCATIVO DE LAS ILUSTRACIONES GEOCIENTÍFICAS EN LIBROS DE TEXTOS DE ENSEÑANZA SECUNDARIA

El libro de texto en Ciencias de la Tierra y el proceso editorial

Los libros de texto son una herramienta de apoyo a la enseñanza. Su supremacía actual es todavía incuestionable en el entorno escolar -especialmente en los niveles preuniversitarios de cualquier sistema educativo-, en comparación con otros medios de difusión del conocimiento (Santano, 2004; Brusi *et al.*, 2016).

Bajo nuestra perspectiva, el libro de texto es un instrumento didáctico que recibe la influencia directa de los factores sociales, culturales, tecnológicos y científicos. El lenguaje utilizado, el contenido actual y la forma en que se presentan los conceptos de textos científicos actuales, su diseño gráfico, el uso de más o menos ilustraciones, los tipos de representaciones gráficas y la forma en que son elegidas o producen son ejemplos de algunos de los hechos que se ven influidos por factores externos.

El editor es el agente que hace posible la conexión entre las varias partes del proceso. Además de las cuestiones de cuño didáctico, el editor necesita estar al corriente de las propuestas curriculares oficiales del sistema educativo en el cual está inserto,

de las novedades de contenidos y de la pedagogía, además de mantenerse actualizado sobre las tendencias mercadológicas de los libros de texto (Romero, 2004). También está bajo la responsabilidad del editor la función de encargar ilustraciones, fotografías, mapas, gráficos y cualquier otra representación gráfica necesaria para la obra. Existe un mayor consenso en cuanto a la conveniencia de proporcionar imágenes que sirven de referencia para lo que el ilustrador o fotógrafo va a producir. Todas las características de las imágenes, como su tamaño, el tipo de ilustración, los colores utilizados, los recortes de la imagen, son decididas y definidas por el editor ejecutivo del proyecto y su equipo de trabajo. En ocasiones, el autor del texto es quien sugiere la ilustración. Otras veces, son decididas por la propia editorial. A veces, las imágenes producidas son rechazadas por no alcanzar sus objetivos básicos.

Tipología de las ilustraciones

Tanto en general, como en los libros de texto impresos entendemos por “ilustración” aquella imagen que adorna o documenta los contenidos desarrollados. Una ilustración puede ser una fotografía, un dibujo, una pintura... que representa, complementa, aclara, sintetiza o enriquece visualmente un texto escrito. Una ilustración puede incluir etiquetas verbales que pueden complementarla. Los expertos en artes visuales suelen distinguir entre ilustraciones “literales” e ilustraciones “conceptuales”, “narrativas”, “científicas”, o “tecnológicas”, entre otras. Las primeras aspiran a representar exactamente la realidad y encuentran en las fotografías su máxima expresión. Las segundas son representaciones “metafóricas” o “no realistas” en las que las imágenes otorgan un mayor margen a la creatividad del ilustrador. Las imágenes “no literales” tienen una función narrativa o infográfica que pretende plasmar gráficamente una idea, un concepto, un modelo o unos resultados.

Los libros de texto de Ciencias de la Tierra requieren de la ilustración para conseguir un apoyo visual que es fundamental para el aprendizaje. En el análisis de las ilustraciones del conjunto de libros de texto, se han identificado seis tipos de representaciones gráficas que se utilizan para desarrollar temas geocientíficos:

- 1) Fotografías
- 2) Mapas
- 3) Gráficos científicos
- 4) Representaciones esquemáticas
- 5) Ilustraciones tradicionales
- 6) Reproducciones de obras de arte.

A continuación se describen las seis tipologías propuestas, aportando algunos ejemplos de las ilustraciones correspondientes a los bloques temáticos de los libros de texto que tratan sobre la idea clave 6 seleccionada para el estudio.

Fotografías

Como de todos es sabido, las fotografías son las imágenes captadas de la realidad. Desde un punto de vista de la Ciencia -y también para la Geología- las fotografías permiten mostrar materiales y fenómenos de la naturaleza. La fotografía científica permite

ilustrar evidencias de objetos y procesos a todas las escalas, desde la fotografía microscópica hasta la fotografía astronómica. Los principios técnicos de la fotografía posibilitan además obtener imágenes más allá incluso de la capacidad de la visión humana en el espectro visible (infrarrojas, ultravioletas, polarizadas) o mediante imágenes aéreas, panorámicas, estereoscópicas, tomográficas... En ocasiones, las imágenes fotográficas incluyen textos o signos superpuestos para referenciar su escala o identificar o destacar determinados elementos.

En el contexto de la Geodinámica interna y la Tectónica de placas en los libros de texto, las fotografías constituyen, aproximadamente un 20 % de las ilustraciones. Esto contrasta con el 75 % que esta tipología representa en los capítulos dedicados a los materiales terrestres o el 60 % en la idea clave 7, centrada en los procesos externos. En las fotografías analizadas para la idea clave que nos ocupa –la 6– los recursos fotográficos suelen emplearse para mostrar paisajes, imágenes de evidencias superficiales de la actividad interna de la Tierra o de otros planetas (volcanes, efectos de los movimientos sísmicos, dorsales oceánicas, focos geotérmicos), imágenes de satélite, muestras de rocas o fósiles o retratos de científicos que contribuyeron al avance del conocimiento en este campo (Fig. 6).

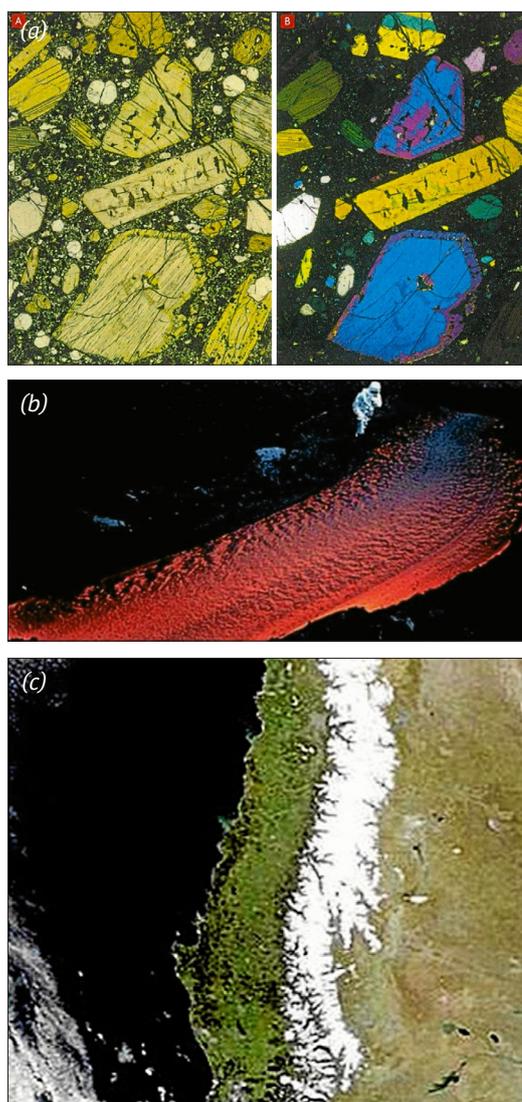


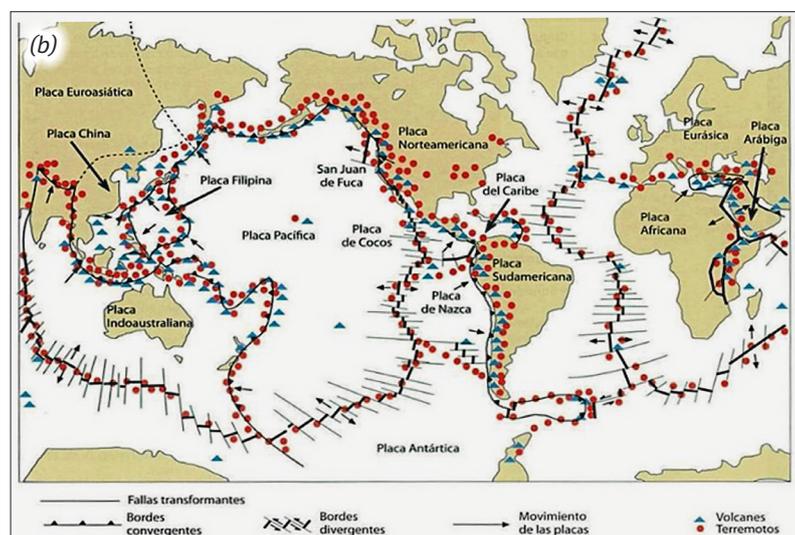
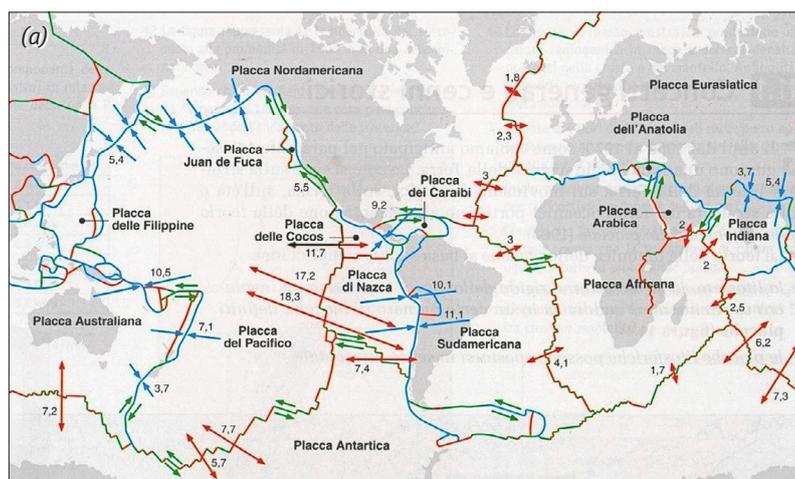
Fig. 6. Las fotografías en el contexto didáctico de las Geociencias pueden ser utilizadas para representar fenómenos, materiales y procesos a distintas escalas: (a) microscópica; (b) mesoscópica; (c) macroscópica. Procedencia de las ilustraciones: a: libro 8, b: libro 3, c: libro 4 (ver referencias bibliográficas).

Mapas

En nuestra propuesta de clasificación hemos identificado los mapas como una de las tipologías de las ilustraciones. Un mapa es una representación cartográfica a escala de un territorio. Los mapas temáticos que representan distintas características geológicas pueden mostrar todo tipo de información. Los mapas geológicos clásicos representan los distintos tipos de rocas y formaciones superficiales aflorantes, indicando sus edades, contactos, pliegues y fallas. Frecuentemente se acompañan de columnas estratigráficas, esquemas interpretativos y cortes geológicos en secciones representativas para revelar la disposición tridimensional de los materiales y estructuras. También existen mapas geomorfológicos, tectónicos, hidrogeológicos, geotécnicos, de riesgos, de rocas industriales, entre otros. Para que los mapas cumplan su función informativa didáctica es esencial que el lector identifique con claridad los elementos representados. Por ello deben contener una leyenda y/o unos signos convencionales que permitan identificar con tramas, colores, símbolos y descripciones las distintas unidades y elementos representados.

En los bloques temáticos centrados en la idea clave 6 sobre dinámica interna de la Tierra, los mapas representan un 20 % de las ilustraciones. Son herramientas visuales muy importantes puesto que aportan una información insustituible para la comprensión

Fig. 7 (a) y (b). Los mapas que representan el movimiento de las placas tectónicas son muy comunes en los libros de texto de las Ciencias de la Tierra. Procedencia de las ilustraciones: a: libro 7, b: libro 4 (ver referencias bibliográficas).



de las características espaciales y evolución temporal de muchos materiales y procesos. Algunos ejemplos los encontramos en los mapas de las principales placas tectónicas y su desplazamiento, de la distribución de terremotos y volcanes, de localización geográfica de epicentros sísmicos o de la evolución paleogeográfica de continentes, océanos o cordilleras (Fig. 7).

Gráficos científicos

Según Fera (2010) “un gráfico científico es una pieza de información que expresa en forma clara y concisa aquello que, de otra forma, requeriría cientos de palabras o tablas complejas. Representa, de forma visual, los resultados de experiencias bien diseñadas, y se nutre de resultados y análisis estadísticos consistentes. Como parte del proceso de comunicación científica debe ser preciso, ilustrativo e informativo; como gráfico debe ser claro, pulcro y acercarse a la perfección estética”.

Las representaciones gráficas de datos numéricos, de la evolución espacial o temporal de variables son muy útiles para la transmisión del conocimiento científico porque tienen la capacidad de describir el desarrollo de muchos fenómenos naturales a partir del cruzamiento de datos de distintos parámetros. En nuestra investigación hemos asimilado a esta tipología los gráficos de barras, de sectores (tarta), lineales, de dispersión, de roseta, estereográficos... En ocasiones, algunos ilustradores combinan en un mismo dibujo gráficos científicos y representaciones esquemáticas (Fig. 8: a y b).

En los temas de dinámica interna de la Tierra de los libros de texto investigados, los gráficos científicos representan poco más del 4,5 % de las ilustraciones. Los ejemplos vinculados a la idea clave 6 suelen emplearse para enseñar la velocidad de propagación de las ondas sísmicas, la evolución de la temperatura y la presión en el interior del planeta (Fig. 8).

Representaciones esquemáticas

Las representaciones esquemáticas constituyen un tipo de ilustración ampliamente utilizada en libros de texto de las Ciencias de la Tierra. Este tipo de dibujos suele omitir detalles irrelevantes para centrarse en aquellos elementos esenciales y representativos de la información que interesa resaltar. En nuestro estudio hemos otorgado la consideración de “representaciones esquemáticas” a un amplio conjunto de ilustraciones. Incluimos aquí, por ejemplo, los simples diagramas, entendidos como los gráficos construidos con globos, recuadros, textos, flechas y dibujos que se utilizan para representar visualmente la evolución de un fenómeno, los elementos de un conjunto, las interrelaciones entre elementos, entre otros muchos ejemplos. También calificamos como representaciones esquemáticas los dibujos –ya sea en formato bidimensional o simulando tres dimensiones– que conllevan una cierta simplificación y abstracción, pero aspiran a ser fácilmente accesibles a la comprensión del lector. En ellos no se pretende representar con exactitud la realidad como lo hacen las “ilustraciones tradicionales” descritas en el apartado siguiente.

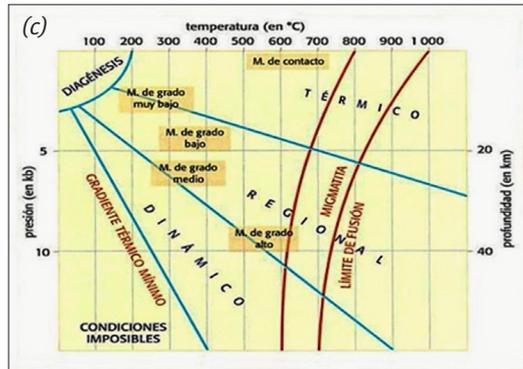
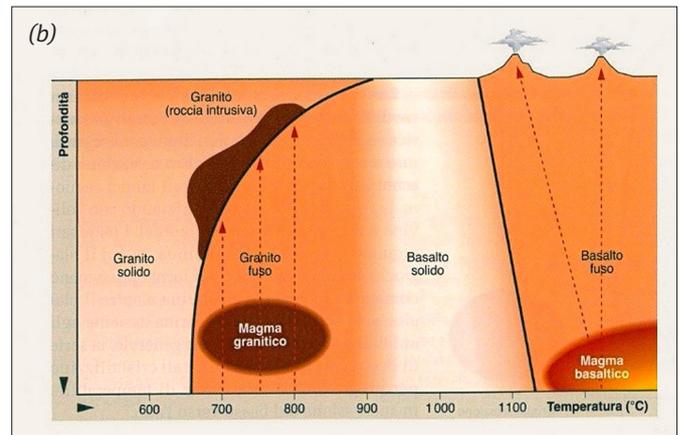
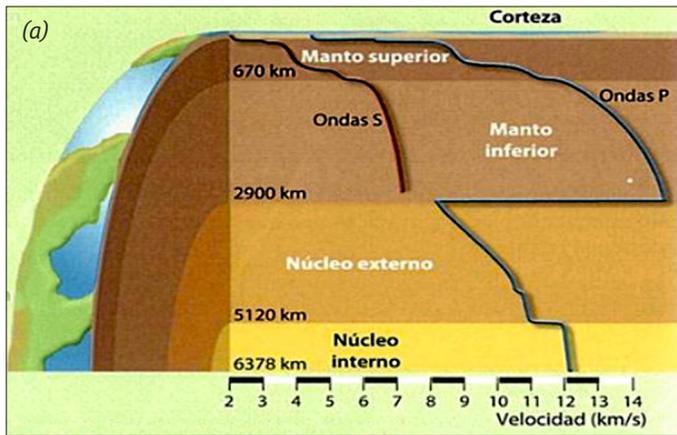


Fig. 8 (a), (b) y (c). Es una práctica común en textos didácticos de Ciencias de la Tierra, la presencia de gráficos que mezclan datos cuantitativos con ilustraciones tradicionales. Procedencia de las ilustraciones: a: libro 4, b: libro 8, c: libro 3 (ver referencias bibliográficas).

En las representaciones esquemáticas es muy habitual que se juegue con el grosor de las líneas o que se modifiquen las escalas o las proporciones y se utilicen tramas, texturas o colores para simbolizar determinados aspectos. Las representaciones esquemáticas se aplican también a ilustrar visualmente las partes de un conjunto o los nombres de los elementos descritos en el texto. En las Ciencias de la Tierra este tipo de ilustraciones son ampliamente utilizadas y sirven, por ejemplo para mostrar las partes de un microscopio petrográfico, los elementos geométricos de un pliegue o una falla o las formas del relieve.

En las ilustraciones de los contenidos de la idea clave 6 procesadas en la muestra de referencia, las representaciones esquemáticas protagonizan un 52 % de los recursos gráficos utilizados. Como el estudio se centró en los procesos internos del planeta que, en su mayor parte, no pueden observarse de un modo directo, y cuya comprensión exige la construcción de modelos didácticos, las representaciones esquemáticas constituyen un tipo de ilustración crucial para la construcción del conocimiento geocientífico.

Los esquemas se aplican a la representación de la estructura interna del planeta, de las placas tectónicas, del campo magnético, de los tipos y formas de propagación de las ondas sísmicas, de las manifestaciones de actividad volcánica, entre otros ejemplos (Fig. 9). Las representaciones esquemáticas permiten reproducir secuencias temporales y, de este modo, reflejar el dinamismo de algunos procesos geológicos a través de flujos, ciclos imperceptibles en la naturaleza por su inaccesibilidad o por sus magnitudes de espacio o de tiempo.

Ilustraciones tradicionales

En nuestra propuesta, definimos como ilustraciones tradicionales aquellos dibujos figurativos que pretenden reproducir escenarios o representar fenómenos de los que no es posible obtener imágenes por distintos motivos. En ocasiones, se persigue la representación de un proceso, la reconstrucción de un paisaje, o la plasmación de una

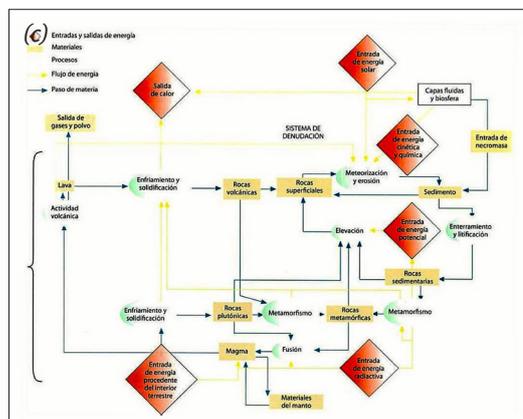
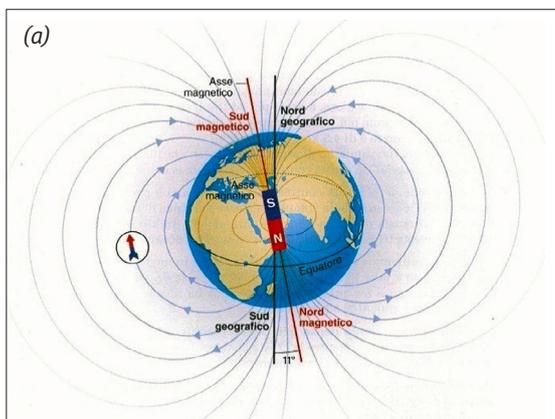
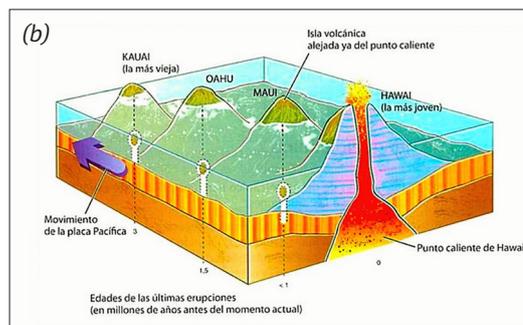


Fig. 9 (a), (b) y (c). Ejemplo de representaciones esquemáticas utilizadas en libros didácticos en el contexto de la dinámica interna de la Tierra. Procedencia de las ilustraciones: a: libro 8, b: libro 2, c: libro 1 (ver referencias bibliográficas).

dinámica que no puede captarse fotográficamente. Dentro del estilo que caracteriza a cada ilustrador suelen perseguir un alto grado de realismo esperando que el lector asocie rápidamente la imagen a una situación concreta y factible. Son habituales las reconstrucciones artísticas de imágenes astronómicas, organismos extintos, recreaciones de ecosistemas pretéritos, escenas de eventos catastróficos...

Las ilustraciones tradicionales utilizadas en los contextos que tratan de la dinámica interna de la Tierra se emplean en un porcentaje muy reducido (1,5 %) para reproducir escenarios de los estadios iniciales de evolución de la Tierra, de impactos meteoríticos, de tsunamis o de erupciones volcánicas con alto grado de realismo (Fig. 10).

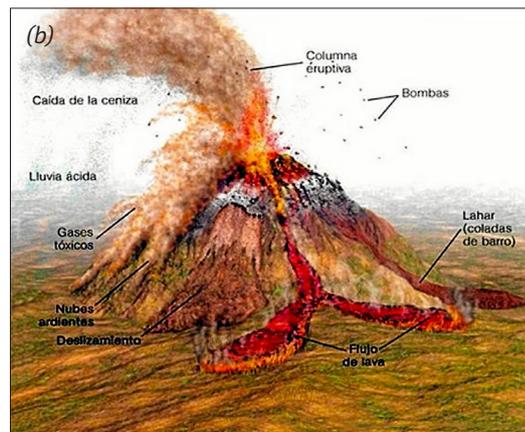
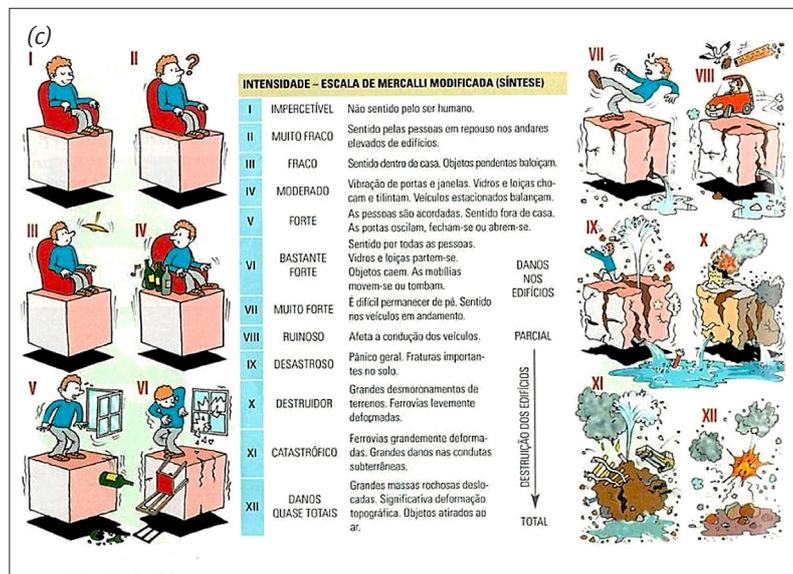


Fig. 10 (a), (b) y (c). Las ilustraciones tradicionales en los contextos didácticos de las Ciencias de la Tierra en general tienen la función de sustituir las fotografías para la presentación de fenómenos o eventos que no tengan registro de esa naturaleza. Procedencia de las ilustraciones: a: libro 8, b: libro 2, 6; libro 9 (ver referencias bibliográficas).



Reproducción de obras de arte

Las reproducciones de obras de arte (grabados, pinturas, construcciones) son utilizadas en los libros de texto de Ciencias de la Tierra. Aunque en realidad son también fotografías, en este caso no son imágenes de materiales o paisajes de la Naturaleza. Nos acercan a productos surgidos de la creación plástica para poder constatar una efeméride histórica, el uso de los materiales geológicos o las similitudes de determinadas formas de relieve con obras arquitectónicas. Aunque su empleo suele ser muy reducido a nivel porcentual, atestiguamos su presencia ocasional en los temas de geodinámica interna para representar eventos sísmicos o erupciones volcánicas de épocas históricas como demostración incontestable de que sucedieron (Fig. 11).

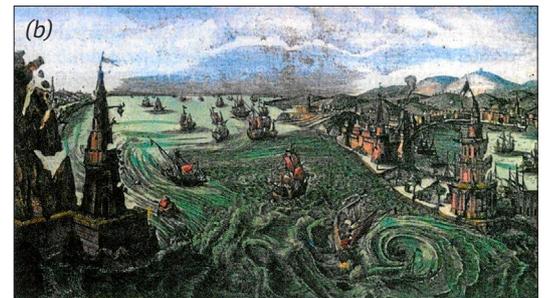


Fig. 11 (a) y (b). Las reproducciones de obras de arte son utilizadas en contextos didácticos de las Geociencias para relacionarlas con los recursos naturales o episodios históricos. Procedencia de las ilustraciones: a: libro 5, b: libro 2 (ver referencias bibliográficas).

El funcionamiento de las ilustraciones en los textos didácticos

Las representaciones gráficas dentro del contexto de la Dinámica Interna de la Tierra tienen un papel determinante en la comprensión de los fenómenos discutidos en los textos didácticos, ya que muchos de esos fenómenos nunca fueron, ni serán, observados, además de que la descripción de varios procesos son facilitados por el uso de representaciones gráficas de diferentes naturalezas. Así, teorías y modelos formulados para explicar la dinámica de los procesos ocurridos en el interior de nuestro planeta se apoyan sobremanera en el lenguaje no verbal.

Diversas investigaciones han demostrado una serie de problemas asociados al uso de imágenes en los libros de texto de Ciencias. También, en particular, en el campo de las Ciencias de la Tierra. En nuestro estudio el objetivo del análisis de las representaciones persiguió otro enfoque. Buscamos la identificación de problemáticas específicas muy habituales vinculadas a la labor del ilustrador y a los

procesos de producción editorial. Para ello, realizamos un amplio análisis de representaciones gráficas en un número considerable de libros de texto, al mismo tiempo que investigamos el proceso de elaboración de las imágenes a partir de la visión de sus protagonistas: editores, autores e ilustradores.

El proceso de análisis consistió en verificar el papel desempeñado por cada uno de los tipos de representaciones gráficas categorizadas en ese trabajo, en el contexto ya discutido. Así, para cada uno de los seis tipos de representaciones (fotografías, representaciones esquemáticas, mapas, gráficos, ilustraciones tradicionales y reproducción de obras de arte) se analizaron todas las imágenes de la muestra de libros de los cuatro países participantes de la investigación. Así, utilizando como referencia los conceptos descritos en el documento “Alfabetización en Ciencias de la Tierra”, se investigó la función discursiva de diferentes tipos de ilustraciones que representan la tectónica de placas. Este análisis reveló una serie de incoherencias, presentadas en la tabla IV, las cuales fueron agrupadas en tres categorías principales: 1) cuestiones técnicas/estéticas; 2) problemas generados por el uso del lenguaje científico y 3) problemas de inducción a errores conceptuales.

A partir de esta caracterización, se propuso un código de buenas prácticas para editores, autores e ilustradores. No obstante, los pormenores de este planteamiento escapan ya al objetivo y extensión de este artículo.

CONCLUSIONES

Más allá de su contribución al diseño curricular, este trabajo otorga un valor adicional a la propuesta de “Alfabetización en Ciencias de la Tierra” de Pedrinaci *et al.* (2013) como documento de referencia para un análisis de contenidos. Los resultados presentados, aunque no constituyeron el objetivo central de nuestra investigación doctoral, demuestran que el documento sobre las 10 ideas clave adquiere una gran validez como instrumento de análisis de la presencia de los contenidos geológicos en un determinado currículum educativo y, por extensión, en los libros de texto o en sus ilustraciones. Es fundamental que los responsables de los diseños curriculares y las editoriales conozcan la existencia de ese marco de referencia.

BIBLIOGRAFÍA

Cassiano, W. S. (2002). Análise de imagens em livros didáticos de Física. *Dissertação de Mestrado*, Brasília, Universidade de Brasília.

Brusi, D., Souza, E y Calonge, A. (2016). Chapter X. Textbooks: A tool to Support Geosciences Learning. In C. Vasconcelos(ed.), *Geoscience Education*. Springer International Publishing, Switzerland, 173-193. DOI: 10.1007/978-3-319-43319-6_10

Tabla IV. Problemas relativos al funcionamiento discursivo de las ilustraciones.

TIPO DE PROBLEMAS	DESCRIPCIÓN GENERAL
1. Técnicos/Estéticos	<p>La falta de brillo, contraste y nitidez adecuadas no permiten ver lo que se pretende</p> <p>1.2. Las dimensiones de la imagen no permiten que se tenga la percepción de los detalles esenciales de la ilustración</p> <p>1.3. La calidad de la distribución, el color y el sombreado débil dificulta la percepción del fenómeno/proceso</p> <p>1.4. Algunas de las imágenes de satélite y/o obtenidas de la web no permiten que su lectura sea apropiada por la falta de buena definición visual</p> <p>1.5. La falta de perspectiva 3D no contribuye a la lectura adecuada de la ilustración</p> <p>1.6. Inapropiada elección del tipo de ilustración para representar cierto fenómeno y/o proceso.</p>
2. El uso del lenguaje científico	<p>2.1. Falta de título</p> <p>2.2. Pie de página con los datos omitidos o inexactos</p> <p>2.3. Falta de escala</p> <p>2.4. Falta de leyenda o leyenda incompleta</p> <p>2.5. Cotas inexactas</p> <p>2.6. Falta de citación de la ilustración en el texto</p> <p>2.7. No identificación de las cantidades físicas relacionadas con los gráficos ortogonales</p> <p>2.8. Falta de identificación de las unidades de medida asociadas a las magnitudes físicas en los gráficos ortogonales</p> <p>2.9. Confusión entre las magnitudes físicas y las unidades de medida</p> <p>2.10. Falta de recursos adicionales que permitan la lectura precisa de los datos en gráficos ortogonales</p> <p>2.11. Falta de información técnica de la obra de arte reproducida en la obra</p> <p>2.12. Incumplimiento de las convenciones científicas en la construcción de gráficos lineales.</p>
3. Inductores de errores conceptuales	<p>3.1. Posición y/o ángulo en el que la representación gráfica ha sido generada no permite que se cumplan las expectativas generadas por el texto y/o por el pie de página</p> <p>3.2. Falta de citación de la ilustración en el texto</p> <p>3.3. Ilustraciones “desconectadas” sin ningún estímulo verbal (comentarios, preguntas o explicaciones) que ayuden a su contextualización</p> <p>3.4. Falta de herramientas (cuadro de texto, flechas, lupas ...) que faciliten la lectura de la ilustración</p> <p>3.5. Cuadros de texto posicionados de forma imprecisa</p> <p>3.6. Exceso de información en una sola ilustración</p> <p>3.7. Mezcla de gráficos e imágenes</p> <p>3.8. No hay referencias que ilustren procesos evolutivos o movimientos relativos</p> <p>3.9. Falta de proporcionalidad entre las partes de la ilustración</p> <p>3.10. Uso inadecuado de símbolos icónicos</p> <p>3.11. Falta de organización para representar eventos temporales</p> <p>3.12. Falta de patrón en las ilustraciones utilizadas en la misma obra</p> <p>3.13. Un solo tipo de ilustración no es capaz de representar lo que se pretende.</p>

Feria, M. (2010). Consejos para la confección de gráficos científicos. In: Presentaciones orales en biomedicina. *Cuadernos de la Fundación Antonio Esteve*, 20. Barcelona.

Jiménez, J. de D. (1997). Análisis de los modelos y los grafismos utilizados en los libros de texto. *Alambique Didáctica de La Ciencias Experimentales*, 11, 75-85.

Kress, G. y Ogborn, J. (1998). Modes of representation and local epistemologies: the presentation of science and education. *SCISC Working papers*, SISC Paper 2.

Lemke, J. L. (1998). Teaching All the Languages of Science: Words, Symbols, Images and Actions. *Unpublished Paper for Barcelona Conference*.

Levie, W. y Lentz, R. (1982). Effects of text illustrations: a review. *Research Educational Communications and Technology Journal*, 30 (4), 195-232.

Mayer, V. J. (2001). A alfabetização global em Ciências no currículo da escola secundária. In Marques L & Praia. *J. Geociências nos currículos do ensino básico e secundário*. Departamento de Ditactica e Tecnologia Educativa. Universidade de Aveiro, 169-190.

NSF (National Science Foundation) (2009). Earth Science Literacy Principles. <http://www.earthscienceliteracy.org/>. Consulta 17 de septiembre de 2017.

Pedrinaci, E., Ruiz de Almodovar, G., Alfaro, P., Brusi, D., Fernández, E., Pascual, J.A., Alcalde, S., Barrera, J.L., Belmonte, A., Calonge, A., Cardona, V., Crespo, A., Feixas, J.C., González, A., Jiménez, J., Mata-Perelló, J. M., López, J., Quintanilla, L., Rábano, I., Rebollo, L., Rodrigo, A. y Roquero, E. (2012). Alfabetización en Ciencias de la Tierra: propuesta curricular. *Comunicaciones del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología*. Universidad de Huelva. 295-309.

Perales, F.J. y Jiménez, J.D. (2002). Las ilustraciones en la Enseñanza-aprendizaje de las Ciencias. Análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 369-386.

Romero, L. et. al (2004). *La Argentina en la escuela. La idea de nación en los textos escolares*, Buenos Aires, Siglo Veintiuno Editores.

Santano, P. J. P. (2004). Los libros de texto en la enseñanza obligatoria de las ciencias de la Tierra. El caso de la estructura y la dinámica terrestre y sus riegos asociados. *Tesis doctoral. Universidad de Alcalá*, 2004.

Souza, E. R (2015). O potencial didático das imagens geocientíficas em livros de textos do ensino secundário: representação da dinâmica interna da Terra. *Tesis doctoral inédita. Universidad de Campinas/Universitat de Girona*. 470 p.

Libros de Texto

- 1.- Bio
Editora Saraiva, 2010
Autores: Sônia Lopes y Sergio Rosso
Ilustradores: Alex Argozino, Alex Silva, Conceitograf,

Estúdio Ampla Arena, Jurandir Ribeiro, Luiz Rickardo de Krishna, Rodival Matias, Selma Caparroz, Sic y Walter Caldeira.

- 2.- Biología y Geología (Bachillerato)
Mc Graw-Hill, 2012
Autores: Alejandra Garcia Frnak, Gema González Alonso, Ana Luiz Maroto García, Maria Isabel Martínez Magro y Maria Concepción Pilar Izquierdo.
Ilustraciones: Ángel Ovejero, Sergio Guinot, David Guinot, Alejandra García Frank, Pablo Jurado y SAI comunicación y marketing
- 3.- Biología y Geología – Proyecto Conecta 2.0
Ediciones SM, 2012
Autores: Emilio Pedrinaci y Concha Gil
Ilustradores: Archivo SM, José Santos, Félix Moreno, Clueca Diseño Gráfico e Ilustración S.L, Amadeu Blasco, Augustí Serrano, José Luis Navarro, Ariel Alejandro Gomez y Ricardo Salas.
- 4.- Biología y Geología (Bachillerato) – Proyecto La Casa del Saber
Santillana Educación, S.L, 2011
Autores: Aurelio Castillo, Ignacio Meléndez y Miguel Ángel Madridi
Ilustradores: Digitalartis, Alademosca, David Cabacas y Carlos Aguilera
- 5.- Dentro le Scienze della Terra: La dinamica endógena. La storia della Terra
ZanichelliEditore, 2012
Autores: Alba Gainotti y Alessandra Modelli
Ilustradores: Luca Tible, Grafitto, Claudia Saraceni y Thomas Trojer
- 6.- Desafios – Biologia e Geologia
Edições Asa, 2008
Autores: João Carlos Silva, Elsa Ribeiro y Óscar Oliveira
Ilustradores: Maria João Sá y Manuel Pina
- 7.- Geografia – A Dinâmica do Espaço Geográfico – Projeto ECO
Editora Positivo, 2009
Autora: Luíza Angélica Guerino
Ilustradores: Divanzir Padilha y Júnior Henrichs
- 8.- Le Scienze della Terra: I material della Terra solida
Itálo Bovelenta Editore, 2012
Autor: Alfonso Bosellini
Ilustrador: Andrea Pizzirani
- 9.- Natura – Biología y Geología
Vicens Vives
Autores: M. Á. Fernández Esteban, B. Mingo Zapatero, R. Rodríguez Barnabé y M. D. Torres Lobejón
Ilustrador: Marcel Sociais. ■

Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 2 de febrero de 2017 y aceptado definitivamente para su publicación el 17 de septiembre de 2017.