

¿Cómo se abordan los minerales en la enseñanza obligatoria? Análisis del modelo de mineral implícito en el currículo y en los libros de texto en España

How are minerals tackled in compulsory education? Analysis of the mineral model included in the Spanish curricula and textbooks

ELISA LAITA¹, ESTER MATEO², BEATRIZ MAZAS², BEATRIZ BRAVO³ Y PEDRO LUCHA²

¹ Departamento de las Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza.

² Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Zaragoza. C/Pedro Cerbuna s/n. 50009, Zaragoza. E-mail: emateog@unizar.es

³ Departamento de Didácticas Específicas. Universidad Autónoma de Madrid.

Resumen En la actualidad, los minerales forman parte de nuestro día a día. Sin embargo, a pesar de su relevancia, el interés que presentan los estudiantes sobre este tema suele ser reducido. Diversos autores señalan que puede deberse al tratamiento que reciben en el aula, bastante anquilosado y alejado de la realidad del alumnado. En este estudio se propone un modelo de mineral a partir del modelo de referencia y los modelos derivados de los currículos oficiales de Educación Primaria y Secundaria Obligatoria (modelo escolar) que incluye las relaciones que existen entre las propiedades, el ambiente de formación y los usos de los minerales. Una vez definidos los modelos, analizamos a partir de éstos, cómo tratan el tema de los minerales los libros de texto que se utilizan en las aulas con la ley de educación vigente (LOMCE). En dicho análisis, se busca identificar qué tipo de relaciones intrínsecas al modelo de mineral promueven adquirir entre los estudiantes dichos manuales. Encontramos que existe una carencia de propuestas que permitan al alumnado establecer dichas relaciones lo que hace que, tras finalizar el sistema educativo, solo puedan adquirir un modelo incompleto del mismo.

Palabras clave: Currículo, Educación Primaria y Secundaria, libros de texto, mineral, modelo, pensamiento sistémico.

Abstract Currently, minerals are a part of our daily life. Nevertheless, in spite of their relevance, the interest showed by the students about them is low. Various authors indicate that it may be due to the treatment that minerals receive, which is far from the students' reality. In this study a mineral model is proposed in agreement with the expert model and the scholar model derived from the official curricula (Primary Education and Compulsory Secondary Education). This mineral model shows the existing relations between minerals, their properties, their origin and their uses. Once this model is defined, it is used as a basis to analyse how minerals are treated in textbooks of the present educative law (LOMCE). The aim of this analysis is to identify what kind of relations are favoured to be established by the students in order to acquire a more complex mineral model. We find that there is a lack of proposals which allow the students establishing those relations. For that reason, after finishing the education system, students can only acquire an incomplete model of mineral.

Keywords: Curricula, Primary and Secondary Education, textbooks, mineral, model, system thinking.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de los minerales constituye un tema fundamental en la enseñanza de la Geología debido a que: 1) son los materiales que forman la parte inerte de la Tierra; 2) soportan y son actores

de los procesos geológicos; y 3) constituyen la materia prima con la que se fabrican muchos objetos (Bravo *et al.*, 2016; Regueiro, 2008). Esta relevancia hace que hayan aparecido de forma recurrente en toda la escolaridad y que desde la Didáctica de las Ciencias Experimentales se haya investigado sobre

sus dificultades de enseñanza-aprendizaje. Se ha detectado que el interés que presentan los estudiantes hacia el estudio de minerales es reducido (Allison, 2005). Además, resultados de estudios como el de Gallegos (1998), Ford (2005) o Monteiro *et al.* (2012) señalan que la mayoría de los alumnos tienen problemas para reconocer que los minerales poseen una estructura cristalina y una composición química determinada, considerándolos como muestras de pequeño tamaño, brillo intenso y de formas geométricas definidas. Respecto a sus usos, únicamente los relacionan con la construcción, ornamentación y joyería, sin reconocer que están presentes en muchos productos de limpieza o fármacos (Regueiro, 2008; Jiménez Millán *et al.*, 2008). Además, los alumnos tienen una concepción “fijista” de los materiales terrestres, considerando los minerales tan antiguos como la Tierra ya que la idea de crecimiento y cambio la asocian exclusivamente a los seres vivos (Pedrinaci, 1996; Pedrinaci y Sequeiros, 1999; Monteiro *et al.*, 2012; Duran y Puigcerver, 2017).

Un origen de estas dificultades podría encontrarse en la disparidad de definiciones existentes sobre el concepto de mineral (Gallegos, 1998). Otro, en el proceso de transposición didáctica del mineral a los libros de texto y en cómo se presenta al alumnado (Pedrinaci, 1996). Una de las principales críticas a cómo son tratados los minerales en las aulas reside en la existencia de un enfoque demasiado academicista, fundamentalmente descriptivo y compartimentado (Jaén y Roca, 2016; Duran y Puigcerver, 2017).

Pedrinaci *et al.* (2013) en su propuesta para promover la alfabetización en Ciencias de la Tierra (basándose en los resultados de la “Earth Science Literacy Initiative” www.earthscienceliteracy.org), selecciona los conocimientos básicos que debería poseer todo estudiante al finalizar la educación obligatoria para entender cómo funciona nuestro planeta. Un punto clave sería entender cómo, dónde y por qué se forman los minerales, además de conocer su importancia como recursos (Ideas Clave 3 y 8). En este trabajo se busca caracterizar un modelo de mineral que integre y relacione las propiedades de los minerales, con los usos a los que se destinan y el contexto donde se originan. Para establecer dicho modelo nos basamos en el modelo de referencia, obtenido a partir de manuales de Mineralogía, y en el análisis de los currículos oficiales de enseñanzas mínimas de la ley educativa antigua (LOE) y vigente (LOMCE) de Educación Primaria (EP) y Educación Secundaria Obligatoria (ESO). Una vez establecido el modelo, lo contrastamos con el que se promueve en los libros de texto utilizados actualmente en los niveles de Educación Primaria y Secundaria, identificando qué aspectos de los minerales se trabajan, y qué relaciones favorecen que se establezcan. Se ha elegido realizar un análisis de libros de texto debido a que siguen siendo el recurso educativo que más utilizan los profesores en las aulas. Por lo tanto, ejercen una gran influencia en el proceso de enseñanza-aprendizaje, no sólo por la información que incluyen, sino también por la propuesta didáctica explícita o implícita de cómo se han de trabajar (Gimeno, 2005; Perales Palacios, 2006; Clement, 2008; Solbes *et al.*, 2010).

Este trabajo forma parte de un proyecto más amplio, en el que los resultados obtenidos se utilizan

para diseñar una secuencia de aprendizaje que permita al alumnado trabajar los minerales en su contexto, relacionando de manera práctica las propiedades macro y microscópicas con sus usos, origen y formación.

METODOLOGÍA

El primer paso es caracterizar un modelo de referencia de mineral. Los modelos científicos anidan en la mente de cada individuo, por ello, la tarea de plasmar en un soporte (puede ser un mapa conceptual o una maqueta) el modelo de mineral no está exenta de cierta dificultad. Teniendo esto en cuenta, para elaborar el modelo de referencia, se ha seguido el siguiente proceso: 1) se presenta en forma de mapa conceptual el modelo de mineral de un experto universitario del área de Cristalografía y Mineralogía; 2) se revisa la bibliografía específica sobre el tema para: (a) contrastar los conceptos y relaciones plasmados en la versión inicial del modelo, con las relaciones que se establecen entre esos conceptos en la literatura especializada (Amigó, 1981; Putnis 1992; Hurbult y Klein, 1996; Bustillo y López Jimeno, 2000) y (b) identificar qué elementos, o relaciones, estaban ausentes, añadiéndolos al mapa; 3) Esta segunda versión es revisada por un grupo de expertos de Geología, incluyendo doctores en Mineralogía y en Didáctica de las Ciencias Experimentales, quienes cuestionaron algunas de las relaciones propuestas, modificándolas.

Para determinar la adecuación del modelo de referencia al contexto escolar, se contrasta con el currículo de EP y ESO de la LOMCE y la LOE. Seleccionamos estos currículos dado que parte del trato recibido por los minerales en los libros de texto está influenciado por cómo se presentan, y han presentado, en estas leyes educativas. También se realiza una comparación de contenidos entre el currículo que se expone en el Boletín Oficial del Estado (BOE) y en el Boletín Oficial de Aragón (BOA) como ejemplificación de la interpretación que hace una comunidad autónoma. Se ha examinado si se promueve trabajar el concepto de mineral de forma teórica y/o práctica respecto a: 1) las propiedades, 2) la clasificación, 3) la identificación, 4) los usos y 5) la importancia económica y la gestión sostenible de estos recursos; así como la relación entre estos ítems.

Posteriormente, se va a analizar cómo se abordan los minerales en los libros de texto. Para ello, se recoge una muestra de 20 libros de EP (5º y 6º curso) y 15 libros de ESO (1º, 3º y 4º curso) bajo la normativa LOMCE, pertenecientes a editoriales ampliamente distribuidas como Anaya, Vicens Vives, Santillana, Edelvives y SM. Teniendo en cuenta el modelo de referencia y el modelo escolar se han determinado 10 categorías de análisis (Tabla I). Se ha utilizado una vía mixta, donde se parte de unas categorías creadas deductivamente que después se modifican en el análisis a tenor de los datos. Se ha empleado una adaptación de la herramienta propuesta por Mampel y Cortés (2012). En concreto, se realiza una clasificación en función de la presencia o no del concepto de mineral en los libros de texto, para después identificar qué partes y qué relaciones del modelo de mineral se abordan y si la información

CATEGORÍAS DE ANÁLISIS			EXPLICACIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE ANÁLISIS	
1. ¿Está presente el término “mineral”?	Si	No	Permite diferenciar aquellos libros que incluyen el término “mineral” frente a los que no lo hacen.	
2. ¿Se define conceptualmente el término “mineral”?	Si	Completa	Se explica cada aspecto de la definición (sólido, natural, inorgánico, homogéneo, composición química definida y estructura interna ordenada) y se incluye algún ejemplo o imagen que facilite la comprensión.	
		Semi-completa	Se explica cada aspecto de la definición pero no incluye algún ejemplo o imagen que facilite la comprensión.	
		Incompleta	No se explica cada aspecto de la definición ni incluye ningún ejemplo o imagen que facilite la comprensión.	
	No	No se define conceptualmente.		
3. ¿Se trabajan las propiedades de los minerales?	Si	Macroscópicas	Se explican al menos 4 propiedades macroscópicas como pueden ser el color, el brillo o la dureza.	
		Microscópicas	Se nombra alguna propiedad microscópica como la composición química o la estructura interna.	
	No	No se trabajan las propiedades de los minerales.		
4. ¿Se clasifican los minerales?	Si	Por usos	Se clasifican los minerales en base a los usos a que se destinan.	
		Por composición química	Silicatos-no silicatos	Se clasifican los minerales separando silicatos de no silicatos.
			Metales-no metales	Se clasifican los minerales separando metales de no metales.
	No	No se hace una clasificación de minerales.		
5. ¿Se utilizan las propiedades para identificar los minerales?	Si	No	Permite diferenciar los libros que únicamente explican las propiedades de los minerales de aquellos que las utilizan para identificarlos.	
6. ¿Se indican los usos de los minerales?	Si	Se relacionan usos y propiedades	Relación total	Se explican los usos de los minerales en base a sus propiedades.
			Relación parcial	Se explica alguna de las propiedades de los minerales junto a los usos (aunque no se justifica que esa propiedad le confiere ese uso).
		No se relacionan usos y propiedades	Se explican los usos de los minerales sin hacer alusión a sus propiedades.	
	No	No se explican los usos de los minerales.		
7. ¿Qué tipo de imágenes incluyen? Según la clasificación de Gil y Martínez Peña (2005).	Motivadoras		Solo se incluyen imágenes de carácter motivador, es decir, aquellas que promueven la curiosidad y el interés por el contenido que se está tratando.	
	Cognitivas		Solo se incluyen imágenes cognitivas (descriptivas, ilustradoras de modelos o ambas), es decir, aquellas que permiten observar o identificar partes de un elemento o comparar y clasificar o analizar, interpretar, emitir hipótesis y hacer deducciones.	
	Ambas		Se incluyen imágenes motivadoras y cognitivas.	
8. ¿Qué actividades se incluyen?	Teóricas		Solo se incluyen actividades cuya respuesta se encuentra explícitamente dentro del texto.	
	Prácticas y/o aplicadas		Solo se incluyen actividades que plantean problemas al alumno cuya resolución implique aplicar la teoría y demostrar que se han comprendido los contenidos, hacer pruebas con minerales así como buscar información en otras fuentes.	
	Ambas		Se incluyen ambos tipos de actividades en el libro.	
9. ¿Existen contradicciones internas?	Si	No	Se diferencian los libros que contengan contradicciones dentro del propio texto o entre las imágenes y el texto.	
10. ¿Hay presencia de errores conceptuales?	Si	No	Se valora si el modo en que se trata el término presenta incorrecciones.	

Tabla 1. Categorías de análisis para examinar los contenidos de los libros de texto.

sobre el concepto clave se trata en el texto o en las actividades. Además, se considera si la terminología utilizada es la adecuada.

Incluye los contenidos conceptuales más relevantes y las relaciones entre estos conceptos: propiedades que definen un mineral, origen de formación, usos a los que se destinan, su importancia económica y su constante interacción con el medio. Además, contiene los diferentes procedimientos científicos que implican su estudio: utilizar los cinco sentidos y algunos instrumentos ópticos y de medida para describir, comparar, clasificar e identificar los minerales. Igualmente es necesario sensibilizar sobre su conservación, implicaciones sociales y naturales de

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

¿Cuál es el modelo de mineral de referencia?

En la figura 1, se muestra el mapa conceptual de referencia elaborado sobre los principales contenidos que engloban el modelo de mineral.

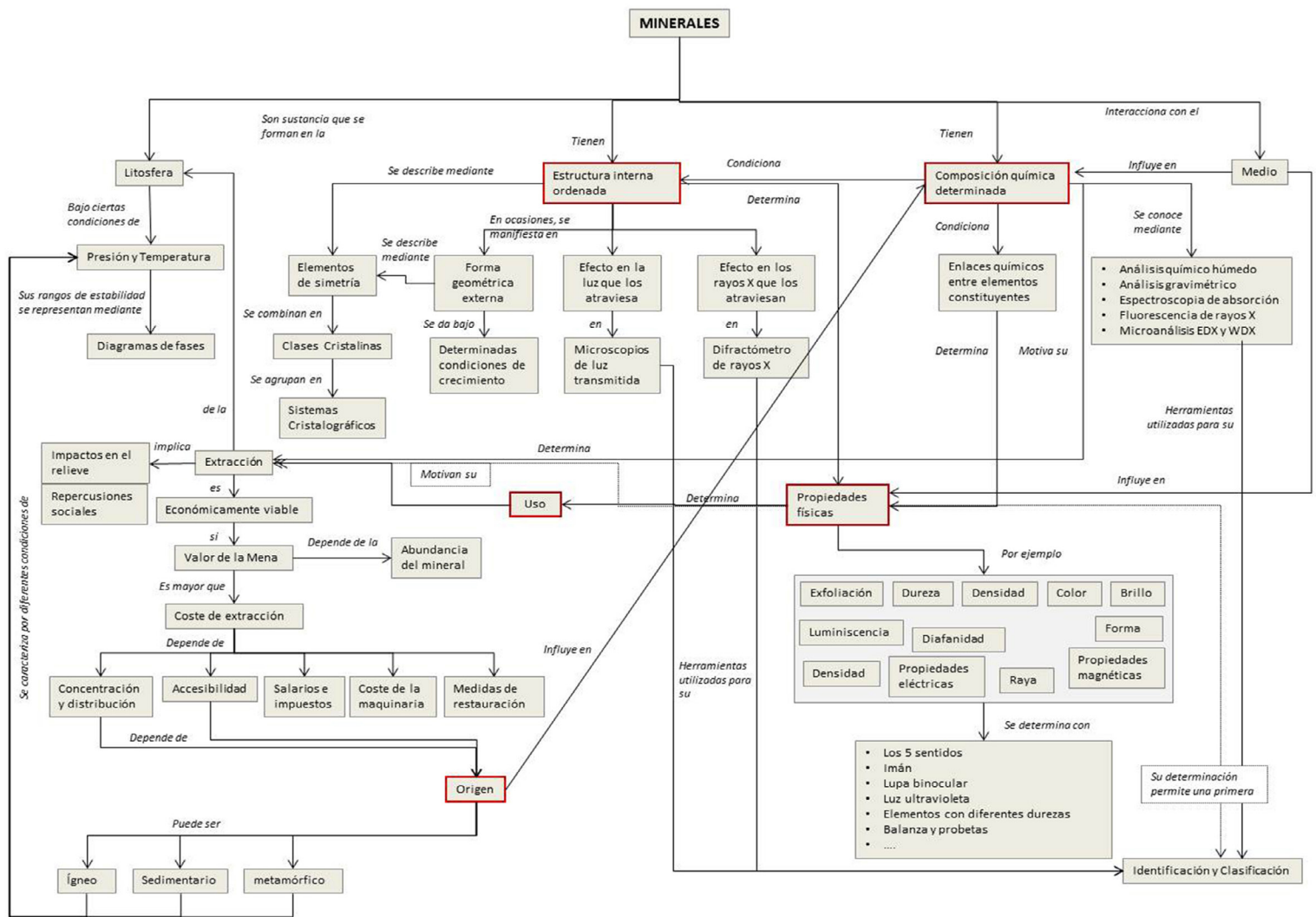


Fig. 1. Mapa conceptual donde se muestran los contenidos más relevantes y la relación entre ellos que engloba el modelo de mineral.

su extracción, desarrollando posturas críticas frente al deterioro del ambiente y la preocupación por el desarrollo sostenible, ya que los minerales son las materias primas básicas para el desarrollo económico y tecnológico de la sociedad.

¿Cómo se abordan los minerales en los currículos oficiales?

Este modelo de referencia se contrasta con el currículum oficial desarrollado a partir de la LOMCE y la LOE (Tabla II). El tema de los minerales se trata fundamentalmente en 5º y 6º curso de EP y en 1º y 3º curso de ESO.

Comparación entre el currículo estatal (CE) y el currículo autonómico de Aragón (CA) (para la LOE y la LOMCE) para Primaria y Secundaria, respecto al modelo de mineral.

El currículo de la LOMCE es bastante similar en el ámbito estatal y en el ámbito autonómico de Aragón tanto para Primaria como para Secundaria. Sin embargo, el currículo de la LOE, para Primaria, presenta grandes diferencias entre el CE y el CA. El CE, trata los minerales a partir de 5º de Primaria en el bloque “El entorno y su conservación”, mientras que el CA no los incluye como contenidos a trabajar en ninguno de sus ciclos. Por lo tanto, algunos alumnos

han acabado sus estudios de Primaria sin abordar el tema de los minerales.

En Secundaria, la LOE trata los minerales en la asignatura de Ciencias de la Naturaleza de 1º de ESO y en Biología y Geología de 3º de ESO y la LOMCE los trata en la asignatura de Biología y Geología para 1º y 3º de ESO. Cabe destacar que si bien en la LOE se impartía Ciencias de la Naturaleza en 2º de ESO, no se incluyen contenidos relacionados con los minerales. Por otro lado, la LOMCE no contempla la asignatura de Biología y Geología en 2º de ESO. Además, en la LOE se encuentra una diferencia entre el CE y el CA ya que en el CA se hace explícito que se han de utilizar ejemplares para reconocimiento de visu y preparaciones microscópicas en el aula. Es importante esta matización porque lleva consigo una metodología más experimental, dado que los alumnos han de describir e identificar los minerales a partir del reconocimiento macroscópico de minerales a partir de la observación de sus propiedades físicas.

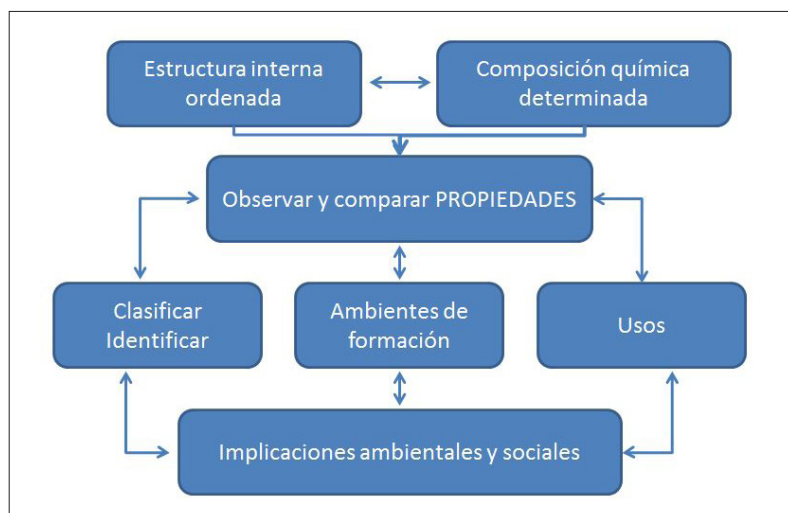
Comparación entre los currículos de la LOE y la LOMCE, para Primaria y Secundaria, respecto al modelo de mineral.

En Educación Primaria, la principal diferencia entre los currículos de LOE y LOMCE reside en que en la LOMCE los contenidos relacionados con los

	5º EP				6º EP				1º ESO				3º ESO			
	LOE ¹		LOMCE ²		LOE ¹		LOMCE ²		LOE ³		LOMCE ⁴		LOE		LOMCE ⁴	
	CE	CA	CE	CA	CE	CA	CE	CA	CE	CA	CE	CA	CE	CA	CE	CA
1. Propiedades de los minerales	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓
...de forma práctica										✓						
2. Clasificación de los minerales	✓		✓	✓	✓		✓	✓		✓						
3. Identificación de los minerales	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓
...a partir de sus propiedades	✓								✓	✓						
4. Usos de los minerales			✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓
...a partir de sus propiedades físico-químicas																
5. Importancia económica-social y gestión sostenible											✓	✓			✓	✓
...en relación con sus usos																

Tabla II. Aspectos del currículo de Educación Primaria y Secundaria Obligatoria relacionados con los minerales (¹ Área de Conocimiento del Medio Natural, Social y Cultural; ² Área de Ciencias Sociales; ³ Ciencias de la Naturaleza; ⁴ Biología y Geología y Geografía e Historia). CE=Currículo Estatal (Boletín Oficial del Estado), CA=Currículo Autonómico (Boletín Oficial de Aragón).

Fig. 2. Conceptos y relaciones relevantes para adquirir un modelo completo de mineral de acuerdo al análisis curricular realizado.



minerales se encuentran en el área de Ciencias Sociales. En la asignatura troncal de Ciencias Sociales no se trabajan los procedimientos propios de la actividad científica, por lo tanto, el enfoque es sustancialmente diferente respecto a lo previsto para otros contenidos de las Ciencias de la Naturaleza (Martínez-Peña *et al.*, 2015, Cortés y Martínez-Peña, 2017).

Por otra parte, en la LOMCE además de clasificar e identificar los minerales según sus propiedades, se deben de tratar los usos y utilidades de minerales (y rocas). Sin embargo, no establecen relaciones entre las propiedades y los futuros usos que pueden tener, tratándose como distintos ítems. Además, en la LOMCE se relacionan los minerales con la adquisición del concepto de litosfera mientras que en la LOE se relacionan con la identificación y clasificación de seres vivos e inertes. Así podríamos pensar que el enfoque que se pretende en la LOMCE es más sistémico respecto al origen de los minerales, sin embargo, no incluye establecer relaciones que permitan conectar sustancias concretas como son los minerales, con sus propiedades (nivel macroscópico) y con su estructura interna y composición (nivel microscópico). Considerando a partir de lo anterior, cómo ha de ser esta estructura para que un mineral

presente unas u otras propiedades y así poder identificar los usos a los que estaría destinado.

Respecto a Educación Secundaria, en la LOE se indica que la identificación de minerales se ha de hacer mediante claves y observación de visu y preparaciones microscópicas, reconociendo los minerales más abundantes en su entorno, mientras que en la LOMCE no se explicitan ambos aspectos. Por otra parte, únicamente la LOMCE recoge la gestión sostenible de los recursos minerales. Además, al igual que ocurre en el caso de Primaria, aparentemente, el enfoque es más sistémico respecto al origen de formación ya que los minerales se incluyen en los bloques “2. La Tierra en el Universo” y “7. Estructura y Composición de la Tierra” mientras que en la LOE se incluyen en el bloque “3. Materiales terrestres”.

En cuanto a las relaciones que se necesitan establecer para conseguir un modelo de mineral más completo (Fig. 1), no aparece ninguna referencia a ellas, ni implícita ni explícita en ninguno de los niveles examinados.

A partir del análisis del currículo en el mapa conceptual de referencia (Fig. 1), en la figura 2 se presentan los conceptos relevantes para adquirir un modelo completo de mineral y las relaciones que se deben establecer entre ellos. De estas relaciones se derivan los cinco puntos clave y las relaciones que son necesarias trabajar para construir un modelo de mineral completo, siendo utilizadas para analizar el tratamiento de los minerales en los libros de textos: 1) Identificación y clasificación de los minerales en función de sus propiedades; 2) Relación entre las propiedades macros y microscópicas (composición química y estructura cristalina); 3) Relación entre las propiedades macro/micro y los usos; 4) Relación entre los minerales y su entorno, uso y explotación y 5) Relación de las propiedades con su origen.

¿Cómo se abordan los minerales en los libros de texto?

En la tabla III se muestran los resultados encontrados al analizar los libros de texto, indicando en el número de libros de cada curso que incluye esos contenidos.

En 5º curso de EP, en general no se utiliza el término mineral de manera explícita y cuando se utiliza se hace de forma muy general “los minerales son sustancias naturales obtenidas del suelo” (editorial SM). Además, utilizan los minerales como ejemplo para: los estados de los materiales (hielo y sal como ejemplos de sólidos); algunas de sus propiedades (diamante como ejemplo de material duro); o tipo de sustancias (oro, como ejemplo de sustancias puras). Dada la escisión de Conocimiento del Medio, en Ciencias Naturales y Sociales que se produce en la LOMCE, hemos analizado también los libros de Ciencias Sociales. En tres de ellos, el mineral se define de forma parcial (“Los minerales forman las rocas”), señalando de manera teórica y breve algunas de las propiedades que se pueden utilizar para su identificación como forma, dureza, color, brillo o densidad.

En todos los libros de texto de 6º curso de EP citan el término mineral de manera explícita y se muestran ejemplos como oro y sal cuando hablan de sustancias puras o se nombran los metales y se relacionan con sus usos en joyería y herramientas. Solo en la editorial Vicens Vives está definido mineral, aunque de manera incompleta: “un mineral es cada uno de los componentes de las rocas con una composición y unas propiedades características”. En Ciencias Sociales, solo en uno de los cinco libros analizados aparece el término mineral, relacionando su identificación con sus propiedades físicas de manera teórica, pero sin explicar cada una de ellas, ni poner ejemplos que clarifiquen dichas propiedades (“Para identificar un mineral, hay que tener en cuenta su forma, su brillo, el color y la raya, su dureza y su densidad”). En la editorial Vicens Vives encontramos un ejemplo en que se aborda la fabricación de lápices y nombran la extracción del grafito, pero no se menciona ni que el grafito es un mineral, ni la relación entre sus propiedades y sus usos.

En todos los libros de ESO se cita el término mineral dentro de los contenidos, sin embargo, en todos los niveles no se trabajan igual. Como se ha visto previamente en la tabla II, según la LOMCE, tanto en 1º como en 3º de la ESO deben tratarse contenidos relacionados con los minerales. Sin embargo, si bien todas las editoriales dedican una unidad relacionada con la Geosfera para tratarlos exclusivamente, en los libros de 3º generalmente no existe dicha unidad. Solo se ha encontrado una editorial que sí incluye una unidad para los minerales en 3º de la ESO. Por otro lado, en el resto de editoriales, así como en el resto de libros de 4º de ESO, los minerales solo se nombran en aquellas unidades que tratan los procesos geológicos, la dinámica interna de la Tierra y los impactos en los ecosistemas, pero sin hacer mayor hincapié en contenidos relacionados con ellos.

En 1º curso, al tratarse de manera más amplia el tema, todos los libros de texto incluyen una definición de mineral. Se ha encontrado que dos de ellos lo hacen de manera completa, donde además de enumerar y describir las características fundamentales de los minerales se proponen varios ejemplos e imágenes que pueden ayudar a los alumnos a comprender estas propiedades: “El cuarzo es un mineral formado por dos sustancias: oxígeno y silicio. Si partimos un

En 1º curso, al tratarse de manera más amplia el tema, todos los libros de texto incluyen una definición de mineral. Se ha encontrado que dos de ellos lo hacen de manera completa, donde además de enumerar y describir las características fundamentales de los minerales se proponen varios ejemplos e imágenes que pueden ayudar a los alumnos a comprender estas propiedades: “El cuarzo es un mineral formado por dos sustancias: oxígeno y silicio. Si partimos un


	Nº DE LIBROS				
	5º EP	6º EP	1º ESO	3º ESO	4º ESO
Número total de libros analizados	10*	10*	5	5	5
1. Presencia del término mineral	4	6	5	5	5
2. Se define el término mineral	4	1	5	1	-
2a. de manera incompleta	4	1	-	1	-
2b. de manera semicompleta	-	-	3	-	-
2c. de manera completa	-	-	2	-	-
3a. Se explican las propiedades macroscópicas	3	1	5	1	-
3b. Se explican las propiedades microscópicas	-	-	4	1	-
4. Se clasifican los minerales	-	-	5	-	1
4a. Por sus usos	-	-	2	-	-
4b. Por su composición química	-	-	3	-	1
5. Se utilizan las propiedades de los minerales para identificarlos	-	1	4	-	-
6. Se indican los usos	-	4	5	1	1
6a. relacionados totalmente con las propiedades	-	-	1	-	-
6b. relacionados parcialmente con las propiedades	-	-	2	-	-
6c. no relacionados con las propiedades	-	4	2	1	1
7a. Utilizan imágenes motivadoras	2	3	-	4	3
7b. Utilizan imágenes cognitivas	-	-	-	-	1
7c. Utilizan imágenes motivadoras y cognitivas	-	-	5	2	1
8a. Incluyen actividades teóricas	-	-	1	3	1
8b. Incluye actividades prácticas	-	-	-	-	1
8c. Incluye actividades teórico-prácticas	-	-	4	2	-
9. Existen contradicciones internas	-	1	3	1	-
10. Existen ideas alternativas	-	1	5	1	-

Tabla III. Resultados del análisis de los contenidos en los libros de texto (*5 libros de Ciencias de la Naturaleza y 5 libros de Ciencias Sociales).

Fig. 3. Ejemplo extraído de un libro de texto donde se utilizan las propiedades macroscópicas para la identificación de minerales (Modificado de Edelvives, 1º de ESO).

Cuarzo

- Forma cristales hexagonales.
- Es transparente o coloreado.
- Su raya es blanca.
- No presenta exfoliación.
- Tiene brillo vítreo.
- Su dureza es alta.



Olivino

- Forma cristales prismáticos terminados en punta.
- Tiene color verde oliva.
- Su raya es blanca.
- No presenta exfoliación.
- Tiene brillo graso.
- Su dureza es alta.



trozo de cuarzo por la mitad, cada mitad tendrá los mismos componentes: oxígeno y silicio” (Anaya de 1º de ESO). En los casos restantes, la definición de mineral es semicompleta ya que no se ejemplifica ni se apoyan con imágenes estas propiedades.

En lo referente a las propiedades de los minerales, en todos los libros de 1º de la ESO se incluye un apartado en el que se explican determinadas propiedades macroscópicas, siendo las más comunes: el color, el brillo, la dureza, el color de la raya y la exfoliación. La forma de tratar estas propiedades es muy similar en todas las editoriales analizadas. De manera general, en todos los libros de texto se ha observado que primero se define qué es esa propiedad y posteriormente se indican ejemplos con un mineral determinado, añadiendo en ocasiones imágenes de carácter motivador de algunos minerales. Sin embargo, las propiedades microscópicas se tratan en menor profundidad ya que solo se nombran cuando se define el término mineral, donde se indica que los minerales tienen una estructura interna ordenada y una composición química definida.

Por otro lado, tres de los cinco libros analizados para este nivel incluyen una clasificación basada en la composición química (diferenciando entre silicatos y no silicatos) y dos de ellos los clasifican según los usos a los que se destinan. Además, la mayoría de los libros de texto analizados utilizan algunas de las propiedades de los minerales para identificarlos, como se ejemplifica en la figura 3.

Todos los libros de texto de 1º curso destacan la importancia económica y social que tienen los minerales porque la inmensa mayoría de objetos cotidianos que nos rodean están hechos con o a partir de minerales. Sin embargo, solo en el libro Vicens Vives de 1º de ESO se considera que existe una relación

total entre las propiedades físico-químicas que poseen los minerales y los usos a los que se destinan. En este ejemplo, utiliza la composición química de los minerales para explicar el uso que tienen. Por otro lado, en otros dos libros (Edelvives, 1º de ESO y SM, 1º de ESO) esta relación se considera parcial dado que se explican propiedades macroscópicas junto a los usos, pero no queda explícito si esa propiedad le confiere ese uso o no. En la figura 4, se muestra un ejemplo de esta relación parcial, donde sería más adecuado decir que la fluorita se utiliza para hacer pasta de dientes porque presenta flúor en su composición química en lugar de comentar únicamente propiedades de este mineral que no están relacionadas con su uso. Esto es un hecho importante ya que en la gran mayoría de los libros de textos no se explica realmente qué propiedades tienen los minerales que les confieren determinadas utilidades y, por tanto, no se establece una conexión que permita a los alumnos entender que los minerales tienen determinados usos gracias a sus propiedades macro y microscópicas.

En cuanto a las imágenes, se han encontrado ejemplos de imágenes tanto motivadoras como cognitivas descriptivas e ilustradoras de modelos en 1º de la ESO. Respecto a las imágenes motivadoras se limitan a mostrar minerales en muestra de mano. Dentro de las imágenes cognitivas las más abundantes son las descriptivas, ya que en muchos de los libros se incluye una imagen de la escala de Mohs cuando se habla de la dureza, pero también se han encontrado ejemplos de imágenes cognitivas ilustradoras de modelos, principalmente redes cristalinas que ayudan a comprender cómo es el orden interno de los minerales. Ambas son utilizadas por los libros de texto para acompañar a la explicación teórica y reforzar conceptos relacionados con los minerales. Además, en los libros de 3º y 4º curso de la ESO, aunque no se tratan los minerales con tanta profundidad, se incluyen imágenes de minas a cielo abierto y subterráneas o de minerales vistos en el campo.

Respecto a las actividades, también se han encontrado ejemplos tanto de actividades teóricas como prácticas. Las actividades teóricas son en general más abundantes y consisten en preguntas simples como ejemplo: “¿Cuáles son las cuatro propiedades usadas para identificar minerales? Nómbralas y pon un ejemplo” (Santillana, 1º de ESO) o “¿Qué características poseen los minerales? ¿Por cuántos elementos químicos suelen estar formados?” (Vicens Vives, 1º de ESO) y su respuesta se encuentra directamente en los contenidos del libro. Las actividades encontradas de carácter más práctico consis-

Fig. 4. Ejemplo de relación parcial entre las propiedades de los minerales y los usos a los que se destinan encontrado en un libro de texto (izda.; modificado de SM, 1º de ESO) y propuesta de cómo conseguir una relación más apropiada (dcha.).

Ejemplo de libro de texto	Nuestra propuesta
	
<p>Fluorita. Tiene dureza 4, su color es rojo púrpura o amarillento, y su brillo, vítreo. Se utiliza para hacer pasta de dientes.</p>	<p>Fluorita. Tiene dureza 4, puede ser de colores diversos y su brillo es vítreo. Debido a su composición química se utiliza para hacer pasta de dientes, ya que contiene flúor.</p>

ten en otro tipo de preguntas teórico-prácticas que obligan al alumno a aplicar la teoría para resolver un problema que se le plantea, así como a buscar información en otras fuentes diferentes al propio libro de texto. Por ejemplo: “¿Cómo es posible que una pirita con una masa de 100 gramos sea más pequeña que una halita que tiene la misma masa?” (Anaya, 1º de ESO) o “Busca información sobre las siguientes sustancias e identifica las que no sean minerales. Explica por qué no lo son: Grafeno, Conchas, Benzeno, Granate” (Edelvives, 1º de ESO). Para resolver las cuestiones anteriores, los alumnos deben aplicar los conceptos que han aprendido. En la primera pregunta deben utilizar el concepto de densidad que se explica dentro de las propiedades de los minerales y en la segunda, una vez que los alumnos hayan buscado información sobre las sustancias que se les pide justificar, a partir de esa información y a los conceptos que han adquirido, han de justificar qué ejemplos son minerales y cuáles no.

En 3º y 4º de la ESO, como ya se ha comentado, solo uno de los libros de texto examinados incluye una unidad para tratar los contenidos sobre minerales (Santillana, 3º de ESO). En dicho libro, se define el término mineral de forma parcial, se incluye un apartado para las propiedades macroscópicas y microscópicas y se tratan los usos de los minerales sin relacionarlos con las propiedades de éstos. Por otro lado, en el libro de Vicens Vives para 4º de ESO se incluye una pequeña clasificación de los minerales basada en la composición química (metales y no metales).

Por último, destacar que se han encontrado errores conceptuales que se repiten en todas las editoriales y en todos los niveles educativos. Por ejemplo, existe gran confusión con el concepto de cristal. En muchos casos se define cristal como aquel mineral que presenta formas poliédricas (“a veces los minerales presentan formas poliédricas con caras planas, aristas y vértices. Son lo que denominamos cristales”, “yeso cristalino”, “la materia mineral puede ser materia cristalina y materia amorfa”, “los cristales de algunos minerales pueden ser usados para distintos propósitos industriales y comerciales”), cuando todos los minerales son cristales y no todos los cristales son idiomorfos. Esta confusión consideramos que podría ser debida a que no se considera que los minerales tengan estructura interna ordenada al definirlo y al determinar sus propiedades y sus usos. Otros errores comunes que también identificamos son considerar la bauxita o el carbón como un mineral cuando es una roca (“la bauxita es un mineral del que se extrae aluminio”), o el uranio y el plutonio como minerales cuando son elementos químicos que no se encuentran como sustancias independientes en la naturaleza. Por otra parte, consideran que las piedras preciosas tienen que ser transparentes.

Estos errores conllevan, en muchas ocasiones, a encontrar contradicciones internas en algunos libros de texto (en un libro en 6º curso de EP, en tres libros de 1º curso de ESO y en un libro de 3º curso de ESO). Por ejemplo, en el libro de Vicens Vivens de 1º de ESO a la hora de definir que es un mineral se indica que deben tener una estructura ordenada. Sin embargo, después se explica que, a la hora de formarse, si el enfriamiento ha sido rápido, los minerales son amor-

fos. Otro ejemplo se puede encontrar en el libro de Santillana de 1º de ESO donde dentro de la definición de mineral se incluye: “tienen composición definida y un orden atómico” y más adelante se comparan minerales cristalinos y minerales “amorfos” y dice: “los minerales amorfos no son cristalinos”.

CONSIDERACIONES FINALES

Si nos atenemos al modelo de referencia (Fig. 1) y a las propuestas curriculares (Tabla II) encontramos que, para que los estudiantes adquieran un modelo completo de mineral, éste debería relacionar los aspectos de composición química y estructura interna ordenada que determinan sus propiedades físicas, lo que les hace adecuados para unos usos concretos. Además, se ha de considerar que su formación y composición están condicionadas por sus ambientes de formación (Fig. 2).

Sin embargo, en el análisis del currículo de la enseñanza obligatoria no se aprecia una secuencia de profundización progresiva en ese modelo de mineral. Además, al tratar los aspectos más importantes del modelo de mineral lo hacen de manera independiente dejando inconexos conceptos como propiedades, usos y formación.

Esto mismo se observa en el análisis de los libros de texto, en el que encontramos que mientras la identificación y clasificación de los minerales está presente en la mayoría de niveles educativos, el establecimiento de relaciones entre las propiedades y sus características microscópicas solo aparece en 1º de ESO. Es necesario promover que los alumnos establezcan estas relaciones entre los cinco puntos clave para construir un modelo de mineral completo: 1) identificación y clasificación de los minerales en función de sus propiedades; 2) relación entre las propiedades macros y microscópicas; 3) relación entre las propiedades macro/micro y los usos; 4) relación entre los minerales y su entorno, uso y explotación y 5) relación de las propiedades con su origen. Y así, conseguir que adquieran un modelo más completo y contextualizado que les permita pensar, hablar y actuar sobre este tema.

Al analizar las actividades propuestas en los libros, se observa que para resolver la mayoría de ellas los alumnos únicamente tienen que hacer una nueva lectura del tema. Se concluye que es necesario plantear actividades donde los alumnos tengan un papel más activo y les sirvan para construir nuevos modelos que les permitan describir, explicar, predecir o proponer hipótesis e interpretar resultados experimentales (Bravo y Mateo, 2017) relacionados con los minerales.

Respecto a los errores conceptuales encontrados en los libros de textos se detectan problemas a la hora de diferenciar mineral – cristal, mineral – roca y para definir las propiedades fundamentales que hacen que un mineral sea una gema. Se sugiere un mayor asesoramiento científico al trabajar contenidos de Ciencias por parte de las administraciones educativas que supervisaran la publicación de los libros de texto.

Por tanto, es necesario seguir revisando, como señala Pedrinaci (1996) y Jaén y Roca (2016), el pro-

ceso de transposición didáctica del mineral a los libros de texto para adecuarlo al modelo de mineral que queremos que adquieran nuestros estudiantes. Y, a partir de los resultados obtenidos, diseñar secuencias de aprendizaje sobre la construcción del concepto de mineral a partir del modelo propuesto (Bravo *et al.*, 2016).

AGRADECIMIENTOS

Grupo Consolidado de Investigación Aplicada BEAGLE (Gobierno de Aragón y Fondo Social Europeo) perteneciente al Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA-UNIZAR). Proyecto EDU2016-76743-P financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y proyecto JIUZ-2015-CIE-04 financiado por la Universidad de Zaragoza e IberCaja. Agradecemos al editor y a los dos revisores del trabajo las valiosas sugerencias y aportaciones para la mejora del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

- Allison, D. (2005). Identification of minerals... there has to be a better way. *Science Scope*, 24-29.
- Amigó, J.M. (1981). *Cristalografía*. Ed. Rueda.
- Bravo, B. y Mateo, E. (2017). Visión de los maestros en formación sobre los modelos científicos y sus funciones en las ciencias y en su enseñanza. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 33, 143-160.
- Bravo, B., Mateo, E., Mazas, B., Lucha, P. y Martínez-Peña, M.B. (2016). Promover la competencia de modelización a través de la construcción del modelo de mineral. *XIX Simposio sobre Enseñanza de Geología*, 85-95, Ed. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.
- Bustillo, M. y López Jimeno, C. (2000). *Recursos minerales: tipología, prospección, evaluación, explotación, mineralurgia, impacto ambiental*. Madrid: E.T.S.I. - U.P.M.
- Clement, P. (2008). Critical analysis of school science textbooks. *Science Education International*, 19, 93-96.
- Cortés, A.L y Martínez Peña, M.B. (2017). Del mundo en que vivimos a la dinámica de la Tierra: el particular recorrido de las Ciencias de la Tierra por el sistema educativo español. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25.3, 285-294.
- Duran, H. y Puigcerver, M. (2017). Análisis de conceptos de los estudiantes de Magisterio acerca de los minerales y algunas estrategias para mejorar su comprensión. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25.3, 341-352.
- Ford, D. J. (2005). The challenges of observing geologically: third graders' descriptions of rock and mineral properties. *Science Education*, 89, 276-295.
- Gallegos, J. A. (1998). La construcción del concepto de un mineral: bases históricas y un diseño de enseñanza-aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16.1, 156-167.
- Gil, M.J. y Martínez Peña, B. (2005). El modelo Sol-Tierra-Luna en el lenguaje iconográfico de estudiantes de magisterio. *Enseñanza de las Ciencias*, 23.2, 153-166
- Gimeno, J. (2005). *Comprender y transformar la enseñanza*. Madrid: Ediciones Morata.
- Hurbult, C. y Klein, C. (1996). *Manual de Mineralogía*. Barcelona: Reverté.
- Jaén, M. y Roca, M. L. (2016). El enfoque de los contenidos sobre rocas y minerales en los libros de texto de 1º de ESO. *Actas del 27 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 1367-1374.
- Jiménez-Millán, J., Alfaro, P., Muñoz, M.C., Cañaveras, J.C., Alfaro, N.C., González-Herrero, M., López-Martín, J.A. y Andreu, J.M. (2008). Actividades didácticas con minerales y rocas industriales. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16.3, 295-308.
- Mampel, L. y Cortés, A. L. (2012). El concepto "dinosaurio" en los libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20.3, 239-248.
- Martínez Peña, B., Calvo, J.M. y Cortés, A.L. (2015). De la estabilidad al continuo cambio inapreciable. La situación de la geología en la enseñanza obligatoria. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 79, 9-16.
- Monteiro, A., Nóbrega, C., Abrantes, I. y Gomes, C. (2012). Diagnosing Portuguese students' misconceptions about the mineral concept. *International Journal of Science Education*, 34.1, 2705-2726.
- Pedrinaci, E. (1996). Sobre la persistencia o no de las ideas del alumnado en geología. *Alambique*, 7, 27-36.
- Orden de 9 de mayo de 2007, del Departamento de Educación, Cultura y Deporte, por la que se aprueba el currículo de la Educación secundaria obligatoria y se autoriza su aplicación en los centros docentes de la Comunidad Autónoma de Aragón. Boletín Oficial de Aragón (BOA).
- Orden de 15 de mayo de 2015, de la Consejería de Educación, Universidad, Cultura y Deporte, por la que se aprueba el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria y se autoriza su aplicación en los centros docentes de la Comunidad Autónoma de Aragón. Boletín Oficial de Aragón (BOA).
- Pedrinaci, E. y Sequeiros, L. (1999). Conocer los archivos del planeta. *Alambique*, 22, 9-16.
- Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro García, P., Almódovar, G.R., Barrera, J.L., Belmonte, A., Brusi, D., Calonge, A., Cardona, V., Crespo-Blanc, A., Feixas, J.C., Fernández-Martínez, E., González-Díez, A., Jiménez-Millán, J., López-Ruiz, J., Mata-Perello, J.M., Pascual, J.A., Quintanilla, L., Rábano, I., Rebollo, L. Rodrigo, A. y Roquero, E. (2013). Alfabetización en Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21.2, 117-129.
- Perales Palacio, F. (2006). Uso y abuso de la imagen en la enseñanza de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 24, 13-30.
- Putnis, A. (1992). *Introduction to Mineral Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Real Decreto 1631/2006 (Nº5/677), de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria. Boletín Oficial del Estado (BOE). España, 5 de enero de 2007.
- Real Decreto 1105/2014 (Nº3/169), de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. Boletín Oficial del Estado (BOE). España, 3 de enero de 2015.
- Rogueiro, M. (2008). Los minerales industriales en la vida cotidiana. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16.3, 276-286.
- Solbes, J., Ruiz, J. J. y Furió, C. (2010). Debates y argumentación en las clases de física y química. *Alambique*, 63, 65-75. ■

Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 10 de enero y aceptado definitivamente para su publicación el 20 de abril de 2018.