

Llevamos los minerales al aula: actividades para trabajar la modelización

Bringing minerals into the classroom: some activities to work about modeling

BEATRIZ MAZAS¹, BEATRIZ BRAVO², ESTER MATEO¹, PEDRO LUCHA¹,
ÁNGEL CORTÉS¹ Y BEGOÑA MARTÍNEZ-PEÑA¹

¹ Dpto. Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad de Zaragoza. C/Pedro Cerbuna, 12, Zaragoza, 50009.
E-mails: bmazas@unizar.es, emateog@unizar.es, plucha@unizar.es, acortes@unizar.es, bpena@unizar.es

² Dpto. Didácticas Específicas, Universidad Autónoma de Madrid. C/Francisco Tomás y Valiente, 3, Madrid, 28049.
E-mail: beatriz.bravo@uam.es

Resumen En este artículo se presenta una secuencia didáctica de cuatro actividades para trabajar el modelo de mineral y los resultados obtenidos de su la aplicación con estudiantes con formación diferente. Los objetivos de la secuencia son que: 1) los futuros profesores desarrollen el modelo de mineral, relacionándolo con sus propiedades (nivel macroscópico), su estructura interna y composición (nivel microscópico) y sus posibles usos y 2) reconozcan la importancia de la modelización como actividad científica. La secuencia se diseñó inicialmente para trabajarla con futuros maestros y se adaptó para futuros profesores de Educación Secundaria. Los resultados muestran que se ha producido una profundización en el modelo de mineral de los dos grupos de estudiantes. Así, los futuros maestros han aprendido la importancia de las propiedades de los minerales, cómo analizar dichas propiedades y cómo algunas de esas propiedades les confieren una determinada utilidad. Sin embargo, aunque han percibido que las propiedades macroscópicas se relacionan con las microscópicas, estas últimas apenas se han incorporado al modelo final debido a las dificultades que presenta su identificación. En cuanto a los de secundaria, perciben las limitaciones de su modelo tanto en los aspectos basados en la definición académica como en los relativos a sus experiencias con minerales. En aquellos casos en que estas experiencias han sido escasas, destacan la comprensión de las propiedades de los minerales y cómo dichas propiedades determinan sus usos. Todos ellos enfatizan el valor de la secuencia de actividades no solo para la construcción personal del modelo, sino también para trabajar en niveles no universitarios.

Palabras clave: Modelización, mineral, docentes en formación, Educación Primaria, Educación Secundaria.

Abstract *In this article, a teaching sequence to develop the mineral model and the results after their implementation in two different contexts is presented. The aims of the sequence are that: 1) future teachers develop the mineral model, connecting it with their properties (macroscopic level), their internal structure and composition (microscopic level) and their possible uses, and 2) they recognise the importance of modelling as a scientific activity. The sequence was initially designed to work with future primary teachers and then it was adapted to future teachers of Secondary Education. The results show that there has been a deepening understanding in students' mineral model. The future primary teachers have learned the importance of the properties of minerals, how to analyse these properties and how some of them give minerals certain usefulness. However, although they have perceived that the macroscopic properties are related to the microscopic ones, these microscopic properties have barely been incorporated into the final model. Regarding the secondary teachers, after carrying out the activities, they perceived the limitations of their model both in the aspects based on the academic definition and in those related to their experiences with minerals. In those cases, in which these experiences have been scarce, it highlights the understanding of the properties of minerals and how such properties determine their uses. All of them emphasize the value of the sequence not only for the personal construction of the model, but also as an example to non-university levels.*

Keywords: Modeling, mineral, preservice teachers, Primary Education, Secondary Education.

INTRODUCCIÓN

Los minerales constituyen un tema que tradicionalmente ha formado parte del currículo de la enseñanza obligatoria (Educación Primaria y Secundaria), ya que se considera que su conocimiento es básico para una adecuada alfabetización científica (Pedrinaci *et al.*, 2013). Es por ello que su enseñanza y aprendizaje han sido objeto de estudio desde la didáctica de las ciencias tanto identificando sus dificultades de aprendizaje (Monteiro *et al.*, 2012), como planteando propuestas de enseñanza para intentar superarlas (Gallegos, 1996; Jiménez Millán *et al.*, 2008; Santó y Curto, 2008; Morcillo *et al.*, 2015, entre otros). Sin embargo, estudios recientes (Duran y Puigcerver, 2017) han detectado que, a pesar de las décadas que han transcurrido, las ideas previas no han variado entre los estudiantes, no obstante, las actividades diseñadas específicamente para cambiar esta situación pueden llegar a mejorar en algunas cuestiones sus conocimientos, así como su permanencia a medio y largo plazo.

Como se ha señalado, el tema de los minerales está recogido de forma sistemática en los currículos de toda la enseñanza obligatoria. En ellos, además de clasificar e identificar los minerales según sus propiedades, se deben tratar sus usos y utilidades, pero sin establecer relaciones entre propiedades y usos. Así, en la realidad, los estudiantes tienen pocas ocasiones de trabajar con minerales, siendo su aproximación fundamentalmente teórica. Desde instancias europeas se viene planteando la necesidad de cambiar la forma de trabajar las ciencias (Rocard *et al.*, 2007), tendiendo a ceder protagonismo a los estudiantes a través de la indagación. Pero, para que esta forma de trabajar llegue a las aulas, es necesario abordarla específicamente con los futuros docentes.

Habitualmente, los modelos científicos constituyen una herramienta utilizada por el profesorado para presentar de forma simplificada las ideas científicamente aceptadas (van Driel y Verloop, 2002). Sin embargo, distintos autores consideran que plantear el aprendizaje del alumnado a partir de la modelización, es decir, de la construcción, uso y revisión de modelos científicos (Justi, 2006), favorece la activación de sus conocimientos previos (Megalakaki y Tiberghien, 2011) y la expresión de su razonamiento y de los componentes de sus teorías.

Este uso restrictivo de los modelos científicos por parte del profesorado ha sido analizado por Justi y Gilbert (2003), quienes establecen que el problema reside en la limitación en la comprensión de lo que representa un modelo en relación con la construcción y validación del conocimiento científico. Así, encontraron que para el profesorado de Educación Primaria un modelo es una representación de algo concreto. Otros estudios señalan que los maestros en formación identifican modelo con método científico, (Bravo-Torija y Mateo González, 2018). Respecto a su función, se encuentra que tiende a considerar que se reduce a permitir una presentación estructurada de la teoría, sin identificar otras como construir explicaciones o predicciones (Crawford y Cullin, 2004).

En este artículo se presenta una secuencia didáctica para trabajar el modelo de mineral y los resultados obtenidos tras su aplicación en dos

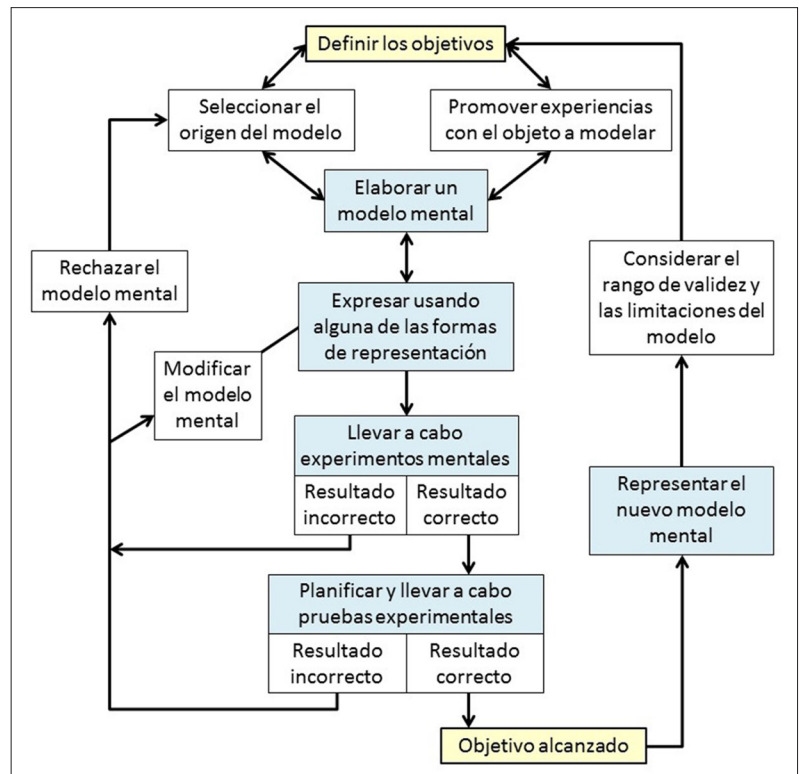
contextos diferentes. La secuencia se diseñó con el objetivo de que los futuros maestros de Educación Primaria desarrollen ese modelo y conozcan la importancia de la modelización como actividad científica (Bravo-Torija *et al.*, 2016), ya que se ha considerado que constituye un modelo lo suficientemente complejo para permitir reflexionar sobre el proceso de modelización. Para ello, los futuros docentes no solo han de construir progresivamente su modelo de mineral, sino que han de aplicarlo y evaluarlo, reflexionando sobre cómo las actividades realizadas ayudan a entender cómo se ha de trabajar la modelización en el aula. Se presenta también la adaptación de la secuencia a futuros profesores de Educación Secundaria, considerando su formación previa.

FUNDAMENTOS DEL DISEÑO DE LA SECUENCIA

El diseño de la secuencia se pensó para que los futuros profesores, durante su ejercicio profesional, pudieran aplicarla en sus aulas con un doble objetivo, la construcción del modelo de mineral y que las cuestiones de modelización pasasen a ser planteamientos metacognitivos sobre la construcción de un modelo científico por parte del alumnado. El análisis conceptual de la materia, el análisis de los currículos oficiales de la enseñanza obligatoria y el análisis de los libros de texto (Laita *et al.*, en este número) han constituido la base para elaborar la secuencia de aprendizaje sobre la construcción del modelo de mineral (Bravo-Torija *et al.*, 2016).

En la secuencia que se presenta en este trabajo también se han considerado tanto los pasos seguidos durante la construcción de modelos científicos, esquematizados por Justi (2006) en “un modelo para la modelización” (Fig. 1), como la forma en que se trabaja en las aulas el modelo de mineral y sus dificultades

Fig. 1. Esquema de “un modelo para la modelización” adaptado del propuesto por Justi (2006).



de aprendizaje. Esta autora establece una serie de pasos como son la selección de experiencias personales en relación con el objeto a modelizar para producir un modelo mental inicial, la expresión del modelo para hacerlo público o el reconocimiento de sus limitaciones para modificarlo. La secuencia no sería lineal, sino que implicaría un proceso de ida y vuelta donde se ponen a prueba las ideas (por ejemplo, las propiedades que el profesorado considera que caracterizan a uno o varios minerales), lo que obliga a reelaborar su modelo.

SECUENCIA PROPUESTA

Contexto de aplicación

Futuros maestros de primaria

Inicialmente, la propuesta fue diseñada para los maestros en formación con el objetivo de profundizar en su conocimiento sobre los minerales, construyendo un modelo progresivamente más complejo e incorporando aspectos como la estructura interna y la composición química en relación con las propiedades y estas con sus usos. Además, se pretendía que dispusieran de una secuencia de actuación vivida en primera persona para facilitar su transposición al aula de primaria. Respecto a la modelización, el objetivo consistía en que comprendieran qué son y cómo se construyen los modelos científicos para, de acuerdo con Acher, Arcá y Sanmartí (2007), poder trabajarlos con sus futuros alumnos.

Esta propuesta desarrollaba en paralelo una secuencia de clases teóricas en las que se discutían cuestiones sobre los minerales como su clasificación por composición y estructura (Strunz y Nickel, 2001) o su relación con las propiedades y usos¹. Así mismo se discutía sobre el aprendizaje basado en modelos, qué se entiende por modelo, sus funciones y su importancia para la enseñanza de las ciencias. Es decir, las actividades que realizan les ayudan a entender cómo van construyendo, usando y evaluando su modelo de mineral y cómo podrían trabajar la modelización en sus aulas.

Así pues, se trabajó con 126 estudiantes de la asignatura de Didáctica del medio Biológico-Geológico del 3^{er} curso del Grado en Magisterio en Educación Primaria de la Universidad de Zaragoza (curso 2015/16). En el aula había más estudiantes que realizaron las actividades, trabajaban en grupos de 4, pero en este trabajo solo recogemos aquellos que entregaron todas las actividades propuestas. Por tanto, el análisis se basa en las producciones escritas de 25 estudiantes.

Futuros profesores de secundaria

La propuesta se adaptó para trabajarla con los futuros profesores de secundaria en la especialidad de Biología y Geología, durante los cursos 2015/16 (N=17) y 2017/18 (N=34). En este caso se tuvo en cuenta que la formación inicial de estos estudiantes es muy diferente de la de los estudiantes de Magisterio. Los profesores de secundaria parten de

una fuerte formación en ciencias, bien en contenidos geológicos o bien en biológicos. Esta situación condiciona el planteamiento de la secuencia de actividades, puesto que unos estudiantes habrán trabajado el modelo de mineral en profundidad, pero otros no.

Objetivos de la secuencia de actividades

- Adquirir un modelo de mineral más complejo que el inicial, iniciando a los estudiantes en la comprensión de las estructuras cristalinas y la composición química y su reflejo en las propiedades que los minerales pueden llegar a mostrar y éstas a su vez con sus usos (para los futuros maestros y los estudiantes con una formación inicial más biológica).
- Conocer las limitaciones del modelo de mineral desde la perspectiva de su enseñanza en las aulas (para los estudiantes con una formación inicial más geológica).
- Comprender qué es un modelo científico, qué funciones tiene, qué limitaciones presenta y cómo ha de utilizarse (para futuros maestros y futuros profesores de secundaria).

Descripción de las actividades

Estas han sido diseñadas de manera que con cada una se trabaje un aspecto del modelo de mineral. Se plantean cuestiones para que los estudiantes hagan explícitos sus modelos mentales, se les pide que reflexionen sobre las limitaciones de los mismos frente a las cuestiones propuestas y que justifiquen cómo han cambiado sus modelos después de cada actividad (tablas I y II).

La tabla I recoge las cuatro actividades que se proponen, junto con los elementos del modelo de mineral que se manejan en cada una de ellas y su relación con la modelización. A continuación, se presentan las cuatro actividades diseñadas, incluyendo su propósito y descripción y unas fichas donde se recogen las demandas planteadas al alumnado. Todas las fichas se pueden descargar desde el siguiente enlace (<https://drive.google.com/open?id=1ZZfAXSZhelEbcKjg8etXSTzmM6R1txwH>)

Actividad 1: ¿Qué sabemos sobre minerales?

El objetivo de la primera actividad es que los estudiantes expliciten su modelo mental de mineral, indicando qué propiedades recuerdan o consideran relevantes sobre los minerales para diferenciarlos y/o agruparlos, utilizando una colección de ejemplares que se les proporciona. A lo largo de su formación, los estudiantes han tenido contacto con la idea de mineral de manera formal y a través de sus experiencias personales, pero el contacto con ejemplares concretos puede haber sido muy diferente para cada uno de ellos. También se pretende que compartan su modelo mental inicial, expresándolo mediante alguna forma de representación, como puede ser una definición de mineral, un dibujo o un mapa conceptual para hacerlo accesible al profesorado y al resto de los compañeros. En el apartado "Think" de la ficha se le pide que reflexione sobre la actividad realizada para comenzar a trabajar sobre la modelización.

¹ Se pueden utilizar páginas web como webmineral.com o www.earthlearningidea.com

ACTIVIDADES		ACCIONES PARA TRABAJAR LOS ELEMENTOS DEL MODELO DE MINERAL	CORRELACIÓN CON LOS PASOS DE “UN MODELO PARA LA MODELIZACIÓN”
Actividad 1: ¿Qué sabemos sobre minerales?		Averiguar los conocimientos previos sobre las propiedades de los minerales que consideran relevantes para la caracterización de los mismos.	-Seleccionar, de entre sus observaciones y experiencias personales, aquellas que tienen relación con el objeto a modelar. -Expresar el modelo mental.
Actividad 2: ¿Quién es quién? Identificando el mineral perdido		Experimentar con las propiedades que tienen en cuenta los expertos para agrupar (clasificar) muestras de mano de minerales e identificar los desconocidos.	-Planificar y realizar pruebas experimentales. -Expresar el modelo mental, visualizando sus avances respecto a su modelo inicial y reconociendo su alcance y limitaciones.
Actividad 3: Cada oveja con su pareja		Relacionar las propiedades utilizadas habitualmente para la caracterización de minerales con su composición química, estructura interna y sus usos.	-Realizar experimentos mentales. -Planificar y llevar a cabo pruebas experimentales. -Expresar el modelo mental, visualizando sus avances respecto a su modelo inicial y reconociendo su alcance y limitaciones.
Grado Magisterio	Actividad 4a: ¿Cómo sería el mineral ideal para...?	Diseñar como debería de ser, tanto a nivel microscópico (estructura interna y composición) como macroscópico (propiedades físicas), un mineral idóneo para fabricar un producto concreto.	-Realizar experimentos mentales. -Expresar el modelo mental, visualizando sus avances respecto a su modelo inicial y reconociendo su alcance y limitaciones.
	Actividad 4b: Completa el mapa conceptual de mineral	Recoger todos los conceptos empleados en la definición de mineral e integrarlos en un mapa conceptual incompleto.	

Tabla I. Relación de las actividades con los pasos de “un modelo para la modelización” (Justi, 2006).

FICHA DEL ALUMNO-ACTIVIDAD Nº. NOMBRE DE LA ACTIVIDAD	
Descripción general de la actividad, de los materiales a emplear, recomendaciones y sugerencias.	
	
Listado de tareas “manipulativas” planteadas en la actividad	Reflexiones sobre la actividad. Listado de preguntas para “pensar” sobre la actividad.

Tabla II. Modelo de ficha del alumno para cada actividad.

Para realizar esta actividad, se proporcionan a los estudiantes varias colecciones con 20 ejemplares pertenecientes a entre 6 y 9 clases minerales distintas, relativamente abundantes en zonas próximas a su localidad. Se trata de minerales comunes como cuarzo, yeso, calcita, halita, galena, hematites, fluorita o sepiolita. Se ha buscado que los ejemplares

seleccionados presenten propiedades muy diferentes, con diversas formas, colores y tamaños, formados por uno o varios cristales, etc.

A cada grupo de cuatro estudiantes se le proporciona una bandeja con los minerales seleccionados (Fig. 2) y se solicita que, basándose en sus conocimientos iniciales, los agrupen en función de sus

Fig. 2. Minerales propuestos para la actividad 1 y estudiantes trabajando con ellos.



semejanzas y diferencias, señalando los criterios que utilizan. Aunque trabajan en grupo, las fichas se realizarán de forma individual.

Actividad 2: ¿Quién es quién? Identificando el mineral perdido

Con esta actividad tienen la oportunidad de experimentar con las propiedades físicas de diversos ejemplares de minerales, tal y como lo haría un geólogo, es decir, pueden observar minerales con diversos colores, brillos, exfoliación, formas cristalinas, determinar la dureza, raya, etc. Esta actividad se realizó después de haber discutido el valor de la actividad anterior como una forma de hacer explícito su modelo inicial y de haber trabajado los aspectos teóricos relativos a las propiedades macroscópicas de los minerales.

A partir de ahí pueden llegar a clasificar e identificar *de visu* algunos ejemplares problema (los minerales perdidos). El apartado “Think” permite valorar su modelo inicial de mineral, viendo sus limitaciones, y modificarlo de forma justificada a partir de la experiencia adquirida.

A cada grupo, se le proporcionan varios minerales problema y se les pide que los identifiquen estableciendo las propiedades físicas de cada ejemplar, de acuerdo con una ficha en la que se relacionan dichas propiedades.

Para ayudarles se establecen varios rincones en los que encuentran, por un lado, fichas con información sobre las propiedades y cómo determinarlas y, por otro, ejemplares muy parecidos, con algunas propiedades iguales o similares, pero que se pueden diferenciar entre ellos por la propiedad que da nombre al rincón (Tabla III).

En este enlace se pueden descargar las fichas que les entregamos a los estudiantes que les sirven para determinar cada una de las propiedades:

<https://drive.google.com/file/d/1ZmyavWPkKWWyuKMw15pcarGwWSvIDhS9/view?usp=sharing>

Actividad 3: Cada oveja con su pareja

Antes de realizar la tercera actividad se trabajó en la clase de teoría la clasificación de los minerales en función de la composición, y cómo la composición y la estructura interna determinan las propiedades de los minerales.

En esta actividad, se profundiza un poco más en el modelo de mineral, de manera que no se limiten a conocer algunos minerales y sus propiedades, sino que puedan llegar a construir la relación entre las propiedades y su utilidad en el día a día.



Fig. 3. Minerales y objetos propuestos para la actividad 2.

Para ello a cada grupo se les proporciona una colección de minerales junto con una serie de objetos de uso habitual (Fig. 3), y se les pide que identifiquen la propiedad de cada mineral que los hace adecuados para elaborar uno de los objetos entregados (Tabla IV). De este modo deben establecer una relación entre minerales y objetos y justificar mediante textos, dibujos y modelos didácticos analógicos (MDA) el origen microscópico de estas propiedades. La reflexión del apartado “Think” de-

RINCÓN 1: FORMA Y EXFOLIACIÓN	RINCÓN 2: DENSIDAD	RINCÓN 3: DUREZA
<ul style="list-style-type: none"> - Cuarzo (forma de prismas hexagonales) - Cuarzo (sin exfoliación) - Fluorita (forma cúbica y con exfoliación octaédrica) 	<ul style="list-style-type: none"> - Sepiolita (densidad baja) - Calcita (densidad media) - Celestina (densidad alta) 	<ul style="list-style-type: none"> - Yeso (dureza 2) - Calcita (dureza 3) - Cuarzo (dureza 7)
Instrumentos <ul style="list-style-type: none"> - Lupas 	Instrumentos <ul style="list-style-type: none"> - Balanza y probetas 	Instrumentos <ul style="list-style-type: none"> - Trozo de acero y vidrio
RINCÓN 4: RAYA	RINCÓN 5: COLOR Y BRILLO	RINCÓN 6: OTRAS PROPIEDADES COMO LUMINISCENCIA O SABOR, ABSORCIÓN, COMPOSICIÓN QUÍMICA
<ul style="list-style-type: none"> - Hematites (raya roja) - Goethita (raya negra) 	<ul style="list-style-type: none"> - Fluorita (amarilla, verde y morada, brillo vítreo) - Moscovita (incolora, brillo nacarado) - Biotita (negra, brillo nacarado) - Piritita (amarilla, brillo metálico) - Sepiolita (gris muy claro, brillo mate) 	<ul style="list-style-type: none"> - Sepiolita (absorbente) - Calcita (efervescencia) - Dolomita (no efervescencia) - Halita (sabor salado) - Silvita (sabor amargo)
Instrumentos <ul style="list-style-type: none"> - Porcelana (para el color de la raya) 	Instrumentos <ul style="list-style-type: none"> - Concha (brillo nacarado) - Pañuelo de seda (brillo sedoso) - Objeto de vidrio (brillo vítreo) - Vela (brillo céreo) 	Instrumentos <ul style="list-style-type: none"> - Frasco de agua - Frasco de Ácido clorhídrico

Tabla III. Especies minerales y recursos materiales disponibles en cada rincón.

MINERAL	Uso
Grafito	Lápiz
Cuarzo	Vaso de vidrio
Fluorita	Pasta de dientes
Moscovita	Maquillaje

MINERAL	Uso
Halita	Sal de mesa
Yeso	Escayola
Pirita	Clavo
Talco	Polvos de talco

Tabla IV. Ejemplos de minerales y productos que se podrían utilizar.

bería permitir detectar cómo evoluciona el modelo de mineral, relacionando las propiedades macroscópicas con las microscópicas, composición química y estructura cristalina, y estas características con sus usos.

En este caso, aunque se trabaja con los ejemplares presentados, la demanda no es meramente manipulativa sino mental, ya que deben pensar (y dibujar o construir) qué composición o qué tipo de red cristalina sería la adecuada en relación con una propiedad que va a permitir un uso determinado. Para ello, pueden consultar libros sobre minerales, Internet, disponen del material de laboratorio y de piezas para construir las redes cristalinas (MDA). Además, deben reflexionar sobre los cambios en el nuevo modelo respecto del anterior, teniendo en cuenta sus limitaciones y justificando las modificaciones incorporadas.

Actividad 4a: ¿Cómo sería el mineral ideal para...?

Antes de realizar esta última actividad, se profundiza en la clase teórica sobre la importancia de la estructura interna de los minerales y su composición en relación con las propiedades macroscópicas de los mismos y cómo ello condiciona los posibles usos. Esta actividad trata de proporcionar la oportunidad de que apliquen el modelo de mineral desarrollado a una situación nueva. Se les pide que diseñen un mineral imaginario que pueda resultar útil ante la necesidad de resolver un problema: construir cerramientos; hacer un recipiente que mantenga las bebidas frías en verano y calientes en invierno; y crear un filtro para separar moléculas de diferentes tamaños. Para ello deben imaginar qué propiedades serían adecuadas para el uso al que se destina y, por tanto, qué composición química y qué estructura interna requeriría. Se trata de una actividad mental en la que plantean razonamientos sobre las características del mineral imaginario para responder al problema, expresándolo mediante texto, dibujos y MDA. De nuevo, el apartado "Think" en esta actividad promueve la percepción de la evolución final del modelo de mineral.

Actividad 4b: Completa el mapa conceptual de mineral

En esta última actividad desarrollada únicamente con los estudiantes del Master de Secundaria, se les propone hacer explícitos todos los conceptos empleados en el modelo de mineral, en las actividades realizadas. Para ello, se les plantea completar un mapa conceptual (Fig. 4) donde aparecen solo aquellos conceptos que suelen formar parte de una definición "formal" de mineral. El resto de los conceptos y los conectores lógicos deben ser aportados por ellos considerando lo realizado con anterioridad.

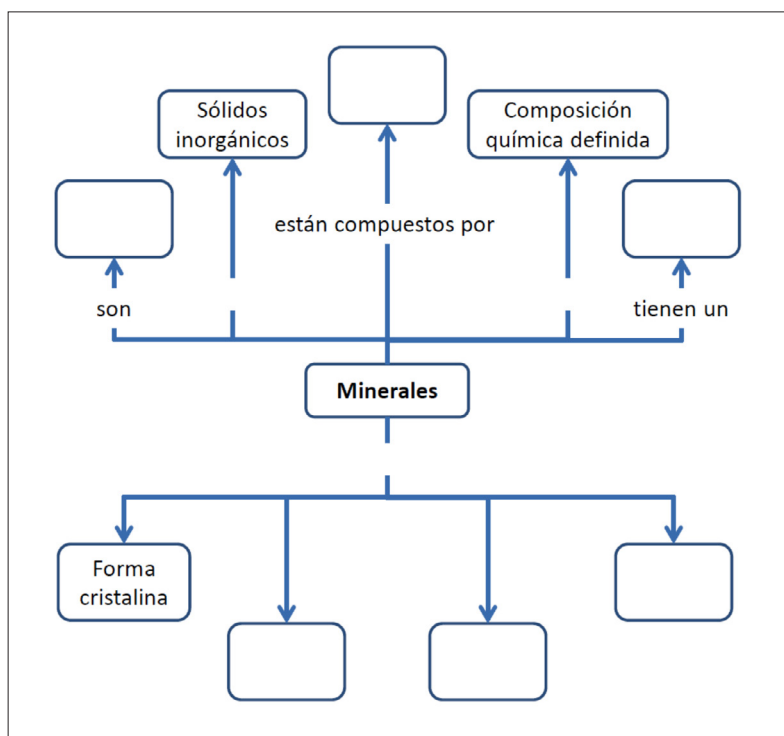
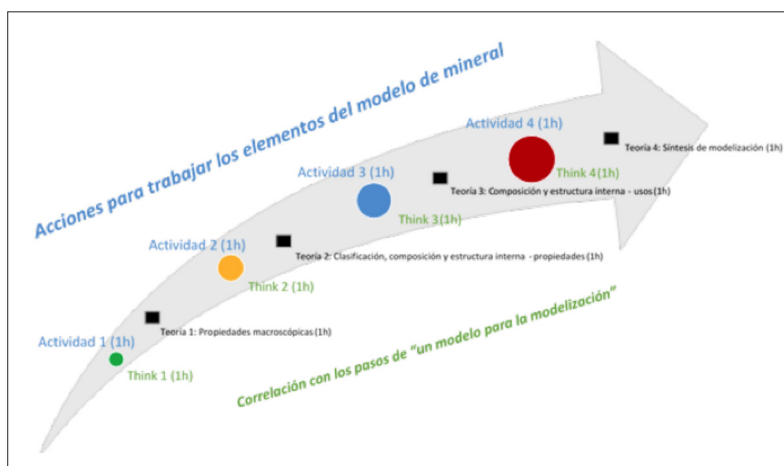


Fig. 4. Mapa conceptual incompleto de la actividad 4b (adaptado de McConnell et al., 2009).



Para resumir la secuencia global de actividades, incluimos la figura 5 con la temporalización de cada una de las sesiones: actividades, "Think" y teoría.

Fig. 5. Temporalización de las sesiones planteadas.

RESULTADOS DE LOS FUTUROS MAESTROS DE PRIMARIA

Atendiendo a los datos obtenidos, a continuación, se exponen los resultados de la aplicación de cada una de las actividades en el Grado en Magisterio en Educación Primaria.

Actividad 1: ¿Qué sabemos sobre los minerales?

Los estudiantes trabajaron esta actividad sin haber realizado un recordatorio previo de sus conocimientos sobre los minerales. En la ficha del alumno se realizan varias preguntas sobre los minerales. Agrupamos algunas de ellas como la definición, las propiedades que los estudiantes consideran originalmente que tienen los minerales, así como sus lugares de aparición, usos y “categoría de dibujo” dominante.

En cuanto a las propiedades que tienen los minerales, podemos extraer los resultados que se presentan en la tabla V.

Tabla V. Propiedades de los minerales consideradas originalmente por los futuros maestros.

PROPIEDADES ACORDES CON EL MODELO DE MINERAL DEL EXPERTO	Nº ALUMNOS	PROPIEDADES AL MARGEN DEL MODELO DE MINERAL DEL EXPERTO	Nº ALUMNOS
Color	23	Rugosidad/textura	18
Dureza	21	Peso	17
Comportamiento respecto a la luz (transparente/translúcido/opaco)	19	Elementos de la composición (¿aspecto externo?)	16
Brillo	14	Porosidad	9
Forma (geométrica)	14	Procedencia/ origen	7
Densidad	11	Otras (tamaño, reacción con agua, flotabilidad, semejantes a rocas, cristalinidad, pureza, volumen, se deshacen, electricidad, corte, salinidad, son bonitos)	4 o menos
Exfoliación	10		
Sabor	7		
Otros con 5 o menos citas (tenacidad, fractura, magnetismo, color de la raya, olor)	18		

De entre las propiedades acordes con el modelo de mineral del experto (Laita *et al.*, en este número), identificaban el color, la dureza y el comportamiento con respecto a la luz como propiedades más frecuentes. En el caso de aquellas que no se consideran se encuentran la rugosidad o la textura, el peso




volcanes...), en casa (12), centros escolares (8), en la ciudad (5) o en joyas (4).

En el apartado de la ficha correspondiente a “Think”, un alumno comenta que “podemos encontrar minerales en muchos lugares u objetos de la vida real”, por lo que relaciona los minerales con sus usos en la vida cotidiana, lo cual viene a ser una parte del modelo de mineral que proponíamos. Cuando se les pregunta específicamente sobre los usos de los minerales las respuestas que aportan mayoritariamente los relacionan con joyería, construcción, elaboración de objetos y decoración. En menor medida, señalan la investigación, comida, pinturas y

usos en la industria y la tecnología.

Para terminar la actividad se solicita que dibujen su modelo (inicial) de mineral. Para su análisis se proponen tres categorías: 1) figura geométrica regular, 2) figura geométrica irregular y 3) figura no geométrica (Tabla VI).

Tabla VI. Clasificación de los dibujos del modelo de mineral realizado por los alumnos.

	EL ALUMNO DIBUJA UNA FIGURA GEOMÉTRICA REGULAR	EL ALUMNO DIBUJA UNA FIGURA GEOMÉTRICA "IRREGULAR"	EL ALUMNO DIBUJA UNA FIGURA NO GEOMÉTRICA
Nº estudiantes	9	6	10
Ejemplo			

o elementos que están relacionados con su aspecto externo.

Atendiendo a la definición de mineral que aportan inicialmente, se puede señalar que 12 de los 25 estudiantes indican que los minerales tienen un origen natural, cuatro dicen que es inorgánico, seis que es sólido, tres que tiene una estructura interna ordenada y dos que tiene una composición química determinada. En ningún caso aluden a todos los conceptos en la misma definición.

En el caso de los lugares donde hay minerales, la mayor parte de las localizaciones (23) las sitúan en la naturaleza (cuevas, campo, montes, ríos, minas,

Por tanto, como resumen, seleccionando la definición, las propiedades que los estudiantes consideran originalmente, así como sus lugares de aparición, usos y la categoría de dibujo dominante, podemos extraer que el modelo general inicial de mineral es el siguiente (extraído directamente de las producciones de los alumnos): “Un mineral es una sustancia natural y sólida con una forma geométrica no definida que forma parte de las rocas y que está formado por uno o más elementos químicos. Se pueden encontrar en lugares naturales como cuevas, minas, monte, ríos, aunque también podemos hallarlos en lugares comunes como en casa o en el

centro escolar. Se utilizan en la construcción, en decoración, en joyería o en la elaboración de diferentes utensilios”.

Actividad 2: ¿Quién es quién? Identificando el mineral perdido

El análisis que realizamos consiste en la identificación o no del mineral y en el número de propiedades que son determinadas correctamente. Así, muchos estudiantes han sido capaces de determinar que uno de los ejemplares era yeso, aunque fallen en algunas de las propiedades que lo caracterizan, pero han identificado otra clave como su dureza. Como respuesta incorrecta, un alumno ha determinado que era halita en lugar de silvina probablemente porque ambas tienen sabor, aunque la halita es salada y la silvina amarga.

De las 50 opciones que existen (25 alumnos x 2 muestras) se han determinado apropiadamente 12. De entre éstas, solo dos estudiantes han conseguido determinar correctamente todas las propiedades; las otras 10 identificadas oscilan entre siete y nueve propiedades determinadas con acierto. Es de destacar que muchos no proponen un mineral “solución” al problema planteado, pese a determinar la mayor parte de las propiedades. Podríamos señalar que son capaces de realizar un análisis de las propiedades del mineral problema, pero no de integrarlas para caracterizar e identificar cuál es.

En el apartado “Think”, los estudiantes reconocen que han recordado algunas propiedades, que las pueden utilizar para determinar qué minerales son. En cuanto a la pregunta en la que deben indicar los cambios que realizarían en el modelo original, proponen: “haríamos más indicaciones en el dibujo, semejanza en el color, en el color de la raya, en las características por su forma, en la transparencia”. Otros estudiantes especifican que indicarían en el modelo cómo podríamos determinar cada propiedad. Por otra parte, un alumno señala que existen dos grupos de propiedades: macro y micro. Por último, frente a la cuestión: ¿Cómo te ha ayudado esta actividad 2 a mejorar tu modelo de mineral?, en general, indican que les ha servido para conocer y determinar las características de los minerales, para poder clasificar e identificar qué son, manipulando los objetos de estudio.

Tras el debate en el aula, los estudiantes afirman que la actividad 2 les ha servido también para despertar su interés sobre cómo analizar y reconocer las propiedades de los minerales. Aseguran que, de este modo, comprenden mejor el “significado real” de las propiedades y valoran la importancia del estudio de los minerales a partir de los ejemplares investigados.

Actividad 3: Cada oveja con su pareja

En esta actividad se deben identificar qué propiedades de los minerales los hacen idóneos para un uso concreto. A tenor de los resultados, se puede señalar que la identificación de los minerales con los usos se realiza prácticamente en todos los casos, proponiendo la respuesta correcta 20 de los 25 alumnos. Donde mayores problemas se observan es en el caso de la halita/sal, con sólo 15 respuestas correctas.

Aunque prácticamente la totalidad identifica la relación mineral/uso, no todos ellos explican qué propiedades los harían ideales para tal uso. En algunos casos nombran que una de las propiedades sería la composición química (en el caso de la fluorita o de la pirita); y en otros, por ejemplo, mantienen el peso como propiedad (sepiolita). En general, siguen utilizando color, dureza, comportamiento con respecto a la luz, propiedades de su modelo inicial, e incorporan otras como color de la raya, brillo, composición o estructura. Sin embargo, no acometen un estudio sistemático de las propiedades como en la actividad anterior.

También se les pide que establezcan la relación entre estas propiedades que son macroscópicas con aquellas microscópicas (tabla VII) y para ello disponen de piezas para construir redes cristalinas (MDA), aunque ninguno de los grupos las utiliza. Esta circunstancia es comprensible ya que, al abordar el tema de la estructura interna de los minerales, los estudiantes no trabajaron con ellas, lo que hace necesario introducir una sesión específica para ello.

RELACIÓN PROPIEDADES MACROSCÓPICAS / CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS (RESPUESTAS LITERALES)	Nº DE ALUMNOS QUE REALIZAN LA RELACIÓN
Malaquita/composición química (Cu)	8
Absorción de agua (sepiolita)/átomos separados	20
Dureza/estructura	1
Baja densidad (sepiolita)/poco compacta	1
Clavo/Composición hierro (enlaces fuertes)	6
Yeso (blando)/enlaces separados	9

En el apartado “Think” los estudiantes señalan que no sabían cuáles son las propiedades de los minerales y no saben de qué están compuestos los objetos que utilizamos diariamente, por lo que se les hace complejo relacionar una cosa con la otra. Un estudiante comenta que le parece una limitación que para que “mi modelo se ponga en funcionamiento necesite un nombre de mineral, dando mayor importancia a cómo se llama que a cómo es y por qué”. En cuanto a los cambios que realizarían en el modelo en este punto, contemplan añadir información adicional conociendo las características físicas del mineral; otros añadirían a la definición ciertos usos que no conocían como la pasta de dientes o el maquillaje. En algún caso señalan que la elaboración de productos (usos) se realiza en función de las propiedades. Esta actividad les ha ayudado a mejorar su modelo en la medida de que “hemos reflexionado sobre qué se necesita para que esos minerales puedan utilizarse en la fabricación de objetos”.

Actividad 4a: ¿Cómo sería el mineral ideal para...?

Para diseñar el mineral ideal para un uso concreto, los estudiantes tienen que expresar sus modelos mentales visualizando las mejoras de sus modelos. Exponemos las respuestas de los estudiantes cuando se enfrentan a resolver el caso que se les presenta con respecto a qué minerales utilizarían para construir: a) un cerramiento, b) un recipiente aislante térmico y c) un filtro de moléculas (Fig. 6).

Dos de los alumnos que seleccionaron la opción del cerramiento han utilizado minerales que se han

Tabla VII. Número de alumnos que establecen relación entre las propiedades macroscópicas y las características microscópicas de los minerales.

trabajado previamente (moscovita y cuarzo). El resto prefirieron presentar minerales ficticios y, por tanto, asignarles las propiedades que ellos consideraban más apropiadas para el caso concreto. Las que describen no presentan contradicciones, aunque parece que señalan más las características que tiene que tener un cerramiento (resistente, impermeable, aislamiento acústico...) que las propiedades más apropiadas del mineral que le confiera al material las características para el uso solicitado.

En el caso del recipiente térmico, la mayoría de los estudiantes han elegido un mineral ficticio. De esta manera (Fig. 6) existen diversidad de opiniones y el color sería una de las propiedades a considerar.

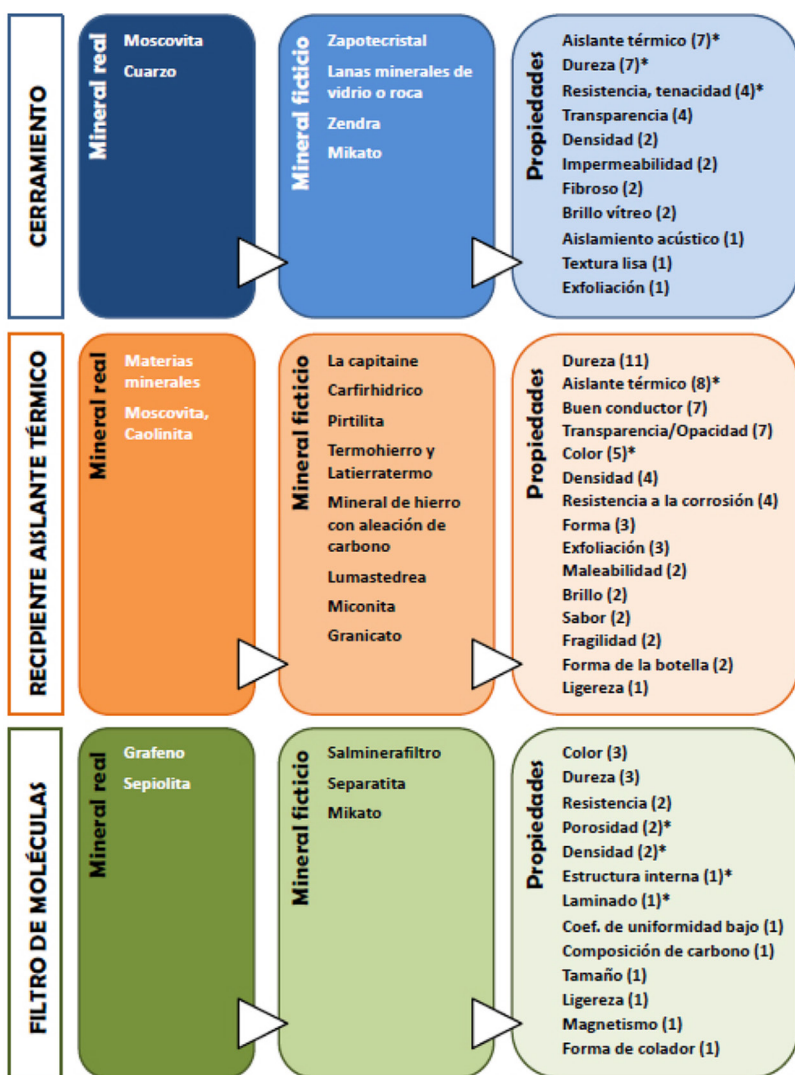
Para el filtro de moléculas la mitad indica minerales reales y la otra mitad ficticios. De entre las propiedades que señalan destacan la resistencia, la porosidad o la dureza. Por ello parece que, a pesar de haber trabajado las propiedades de los minerales, no siempre les queda claro cuáles son aquellas que se definen como tales en el modelo del experto (estructura interna: huecos, densidad).

En la segunda parte, se preguntaba por las características microscópicas del mineral. En el caso del cerramiento dicen que “debe tener enlaces fuertes y estables, cristales idénticos”. En el recipiente aislante térmico consideran que lo más importante

es la estructura interna, que sea poco poroso (frente a otro alumno que defiende que debe ser poroso), con los átomos unidos en malla y su composición. Y finalmente, el filtro de moléculas debería tener partículas irregularmente distribuidas a nivel micro (frente a otros que dicen que tiene que tener una estructura homogénea), alto contenido en carbono, enlaces próximos, masas nodulares y tener en cuenta la estructura interna. En este sentido, las respuestas evocan que no tienen muy claro qué es eso de la estructura interna, ni la composición química de los minerales. Todo esto se manifiesta también en los dibujos que apenas evolucionan respecto a los iniciales, sin llegar a incorporar, en la mayoría de los casos, la estructura interna.

En la parte “Think”, plantean que las mayores dificultades que han tenido se basan en la relación entre los usos de los minerales y su estructura interna, pues tal y como señala un estudiante: “Me ha parecido especialmente difícil imaginar cómo sería la estructura interna de los minerales respecto a las propiedades”. En cuanto a los cambios que harían en su modelo, indican que integrarían la estructura interna, los usos y las propiedades, y mejorarían el dibujo para que todo esto quedase representado y el modelo fuese lo más “real” posible. En general, esta actividad les ha ayudado “a tener en cuenta la composición y la estructura interna de los minerales para comprenderlos mejor, sobre todo los usos que pueden tener en los objetos de la vida cotidiana”.

Fig. 6. Minerales propuestos y propiedades seleccionadas por los estudiantes en los diferentes casos (con asterisco aquellas propiedades que se consideran necesarias para el uso propuesto).



RESULTADOS DE LOS FUTUROS PROFESORES DE SECUNDARIA

Actividad 1: ¿Qué sabemos sobre los minerales?

La actividad comienza demandando que hagan explícitos sus conocimientos sobre minerales. De entrada, la tendencia general en las respuestas, independientemente de la formación geológica previa, consiste en la formulación de una definición formal y académica del tipo “es un sólido natural, inorgánico, de composición química definida...”. Es decir, tienden a lo que han aprendido en su formación previa. En muchos casos, una de las principales preocupaciones en esta actividad es encontrar un conjunto de palabras adecuadas que no admitan dudas o cuestiones sobre la validez de la definición. Como ejemplo, algunos de los estudiantes introducen aspectos del tipo “poseen un conjunto de propiedades físicas fijas o variables dentro de un rango...”. De esta forma, anticipan cualquier problema que pueda aparecer si las propiedades observadas no se ajustan exactamente a un estándar determinado y aportan ejemplos: “la calcita posee un color que puede variar desde cristales incoloros y transparentes a blancos, grisáceos o amarillentos, translúcidos u opacos, dependiendo de las impurezas”, “la densidad suele estar en torno a 2,7 g/cm³, aunque puede variar dependiendo de lo anterior...”.

No obstante, cuando la demanda va más allá de una simple definición, aparecen las limitaciones que presentan estos futuros docentes. Por ejemplo, ¿se puede considerar el hielo como un mineral?; si una roca está compuesta por un solo mineral, como el caso de los yesos ¿la debemos considerar como mi-

neral o como roca?; si los minerales forman parte de las rocas, ¿es posible construir definiciones del mismo nivel ontológico? Para este tipo de cuestiones no hay respuestas directas y mucho menos acuerdos, ni siquiera entre aquellos que poseen una acreditada formación geológica: “*si nos atenemos a la definición (anteriormente expuesta por ellos mismos), el hielo debería considerarse como mineral, pero no me cuadra...*”, “*tengo claro que es un mineral cuando veo un cristal aislado (yeso), pero a ese fragmento de roca (nódulo de yeso blanco) yo no lo llamaría mineral*”, “*el problema es que la definición de roca está más abierta e incluye otras cosas (citan varias, como fragmentos de rocas, fósiles, gases, líquidos), además de los minerales que la forman*”.

Actividad 2: ¿Quién es quién? Identificando el mineral perdido

Para esta actividad se emplean las mismas colecciones y claves de identificación que con los docentes de Magisterio, trabajando en equipos de tres a cinco personas. En general, el grado de acierto en las identificaciones es muy elevado y la mayoría de los equipos tratan de conocer el mayor número de propiedades posibles que les permitan llegar a su objetivo: “poner nombre a cada mineral”.

Una vez más, los conocimientos previos de algunos expertos determinan la forma en la que los equipos abordan la identificación de algunos minerales: “*yo creía que la calcita solo podía ser blanca o crema, así que esta incolora me había despistado*”, “*siempre hemos visto las pirritas de color dorado y brillo metálico, por lo que estas marrones-rojizas (oxidadas) nos han dado problemas*”. En ocasiones, conocen la solución final y tratan de ajustar sus observaciones para que las propiedades cuadren con aquellas que supuestamente debería tener el mineral conocido.

Al igual que los maestros, muchos de los futuros profesores de secundaria, especialmente aquellos que no poseían una formación profunda en geología o mineralogía, indican que con esta actividad comprenden mejor el “significado real” de las propiedades, ya que han podido ponerlas a prueba desde el punto de vista práctico.

Actividad 3: Cada oveja con su pareja

Del mismo modo que en la actividad 2, los estudiantes del máster utilizan las mismas colecciones y realizan la actividad 3 de modo similar a los estudiantes del grado. Como ocurría con la actividad anterior, sus conocimientos previos vuelven a condicionar la tarea de emparejar los minerales con sus usos. En algunos casos, la relación se establece de antemano (por ejemplo, el yeso con la tiza o la malaquita con la pintura verde) y posteriormente se buscan aquellas propiedades que permitan justificar las relaciones establecidas.

Hay que destacar que en algunos grupos comienzan a discutir sobre minerales y usos introduciendo aspectos que van más allá de lo observable (o de los ejemplos existentes). Por ejemplo, hablan del uso ornamental de la malaquita, del uso de la pirita para la fabricación de ácido sulfúrico, de las micas o la fluorita en óptica y microscopía, de la necesidad de arcillas (además de grafito) para las minas

de los lapiceros, que la tiza puede contener otros minerales además del yeso (arcillas como la caolinita, calcita, etc.). Por otro lado, algunos consultan la composición declarada del maquillaje o la pasta de dientes y señalan que hay más de un mineral de los presentes implicado en su elaboración.

Los principales problemas tienen que ver con la consideración de algunos productos elaborados como el mineral original (sal de mesa, piedras de gato, polvos de talco) que al no encontrarse en sus “envases comerciales típicos” no se consideraban por algunos estudiantes como productos manufacturados.

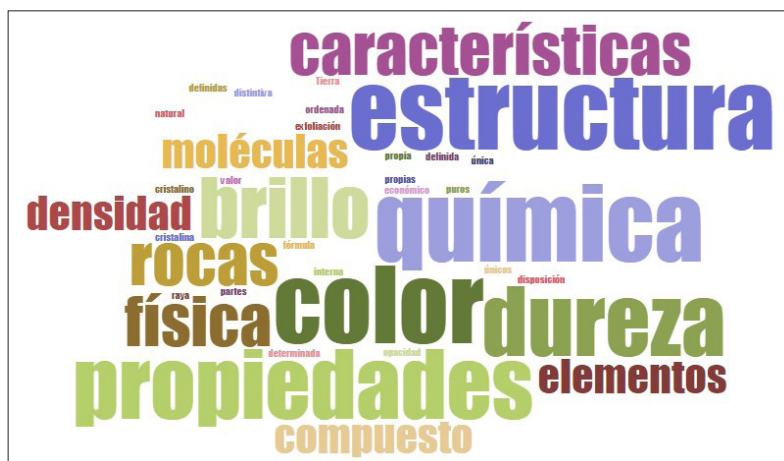
En general, tras la realización de esta actividad, los futuros profesores señalan que les ha permitido reflexionar sobre cómo las propiedades físicas y/o químicas determinan el uso o usos de determinados minerales. También añaden que les ha permitido conocer que es posible disponer de una colección sencilla y económica de pares minerales/ usos con la que poder trabajar en Educación Secundaria. La interacción entre estudiantes “expertos” en el tema y otros con menos conocimientos enriquece el desarrollo de la actividad, ya que emergen muchas cuestiones que ponen en juego distintos elementos del modelo que van más allá de la simple relación propiedades/ usos.

Actividad 4b: Completa el mapa conceptual de mineral

La principal diferencia en la secuencia planteada en la formación del profesorado de secundaria es esta actividad. En ella, se solicita que hagan explícitos todos los elementos del modelo de mineral que han recogido en las actividades previas. Para ello, deben completar de forma individual un mapa conceptual incompleto (Fig. 4) en el que han de incorporar los distintos componentes del modelo de mineral trabajados (adaptado de McConnell *et al.*, 2009). Se presentan los resultados de dos cursos académicos en los que el grupo-aula tenía un número de estudiantes muy distinto y por ello se trabajó de forma ligeramente diferente. En ambos cursos se solicitaba que los estudiantes completasen el mapa conceptual de forma individual, si bien el número total de estudiantes y la forma de trabajar condicionaron el resultado.

En el curso 2015/16 los 17 estudiantes realizaron una puesta en común tras las actividades y poste-

Fig. 7. Principales conceptos empleados por los alumnos del curso 2015/16.



riormente cumplimentaron el mapa conceptual de forma individual. Los resultados recogidos (Fig. 7) muestran un total de 36 términos diferentes para 72 términos totales usados en sus mapas (sin contar los predeterminados). A pesar de trabajar en equipo, los resultados muestran modelos con un destacado sesgo individual (los mapas presentados por los componentes de un mismo equipo no coinciden en todos los términos).

En el curso 2017/18 los 34 estudiantes realizaron en grupo no solo las actividades 2 y 3, sino que también pusieron en común todas sus ideas antes de rellenar el mapa conceptual. En este caso (Fig. 8) aparecen más de 70 términos diferentes de 352 términos totales (sin contar los predeterminados). Parece claro que esa puesta en común específica enriquece el modelo de mineral que construyen los estudiantes (términos diferentes), al incorporar todas las ideas de los componentes del grupo, aunque no deberíamos considerar muchos de los recogidos como producciones individuales, sino como repeticiones de un modelo grupal consensuado. Este hecho en lugar de verse como un defecto, se debería valorar ya que se consigue construir un modelo mucho más complejo, valorando las limitaciones de los modelos escolares tradicionales.



Fig. 8. Principales conceptos empleados por los alumnos del curso 2017/18.

CONSIDERACIONES FINALES

En la secuencia de actividades propuesta para trabajar el modelo de mineral, el principal objetivo ha sido tratar las propiedades macroscópicas, relacionarlas con la composición y la estructura interna y cómo todo ello condiciona los usos que se realizan de los minerales. Es decir, de manera intencionada no se ha trabajado el origen de los minerales ni sus relaciones con las rocas, a pesar de que se trata de uno de los aspectos en los que habitualmente los estudiantes tienen dificultades. También se ha perseguido que los futuros profesores de cada nivel aprendiesen cómo se estructura una secuencia de modelización en el sentido de Justi (2006) con la aplicación a la construcción del modelo de mineral.

Los resultados obtenidos en la aplicación de la secuencia varían en función de la formación inicial de los participantes. Así los futuros maestros han aprendido la importancia de las propiedades de

los minerales, cómo analizar dichas propiedades y cómo algunas de esas propiedades les confieren determinada utilidad. Sin embargo, aunque han percibido que las propiedades macroscópicas están relacionadas con las microscópicas, éstas apenas se han incorporado al modelo final.

También, se ha puesto de manifiesto que la solicitud de un dibujo como manifestación del modelo no ha sido demasiado acertada, ya que la expresión del mismo resultaba más completa cuando lo hacen con palabras. Por ello nos planteamos modificar la propuesta añadiendo la solicitud de mapas conceptuales, como en el caso de secundaria.

En cuanto a los futuros docentes de secundaria, tras realizar las actividades, perciben las limitaciones de su modelo tanto en los aspectos basados en la definición académica como en los relativos a sus experiencias con minerales, destacando la comprensión de las propiedades de los minerales y cómo dichas propiedades físicas y/o químicas determinan sus usos.

Otro aspecto positivo es que tanto los estudiantes del Grado como los del Máster han considerado factible aplicar las tres primeras actividades de la secuencia tanto en las aulas de Primaria como en las de Secundaria y que con ello la actividad ayudaría a sus futuros alumnos a mejorar su propio modelo de mineral. Así mismo, han valorado la utilidad de trabajar el modelo para la modelización, identificando cada uno de los pasos y relacionándolos con las actividades de la secuencia.

AGRADECIMIENTOS

A los proyectos JIIUZ-2015-CIE-04 (Universidad de Zaragoza e Ibercaja), EDU2015-66643-C2-2-P y EDU2016-76743-P (Ministerio de Economía y Competitividad) y al grupo BEAGLE de Investigación en Didáctica de Ciencias Naturales (UCA, Universidad de Zaragoza). También a los revisores, por su esfuerzo y dedicación en la consideración de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Acher, A., Arcá, M. y Sanmartí, N. (2007). Modelling as a teaching learning process for understanding materials: a case study in primary education. *Science Education*, 91, 398-418.
- Bravo-Torija, B., y Mateo González, E. (2018). 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-Torija, B., Mateo González, E., Mazas Gil, B., Lucha López, P. y Martínez Peña, B. (2016). Promover la competencia de modelización a través de la construcción del modelo de mineral. *XIX Simposio sobre Enseñanza de la Geología* (p. 85-95), Manresa: Ed. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.
- Crawford, B. y Cullin, M. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science. *International Journal of Science Education*, 26.11, 1379-1401.
- 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.

Gallegos, J.A. (1996). La elaboración del concepto de mineral y su aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4.3, 212-217.

Jiménez Millán, J., Alfaro, P., Muñoz, M.C., Cañaveras Jiménez, J.C. y Alfaro, N.C. (2008). Actividades didácticas con minerales y rocas industriales. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16.3, 295-308.

Justi, R. (2006). La enseñanza de las ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24.2, 173-184.

Justi, R. y Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25.11, 1369-1386.

Laita, E., Mateo, E., Mazas, B., Bravo, B. y Lucha, P. (2018). ¿Cómo se abordan los minerales en la enseñanza obligatoria?: Análisis del modelo de mineral implícito en el currículo y en los libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, en este número.

Megalakaki, O. y Tiberghien, A. (2011). A qualitative approach of modelling activities for the notion of energy. *Electronic Journal in Educational Psychology*, 9.1, 157-182.

McConnell, D., Steer, D., Owens, K. y Knight, C. (2009). *The Good Earth: Introduction to Earth Science 2nd Edition*. McGraw-Hill Education.

Monteiro, A., Nóbrega, C., Abrantes, I. y Gomes, C. (2012). Diagnosing Portuguese Students' Misconceptions about the Mineral Concept. *International Journal of Science Education*, 34.17, 2705-2726.

Morcillo, J.G., Martín Sánchez, M., Martín Sánchez, M.T. y Reyero, C. (2015). Cristales, minerales y minería: una secuencia de actividades. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 81, 50-58.

Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro García, P., Almodóvar, G. R., Barrera, J. L., Belmonte, 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-Perelló, 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.

Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H. y Hemmo, V. (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Bruselas: Directorate General for Research, Science, Economy and Society.

Santó, R. y Curto, C. (2008). Los minerales son inocentes; las personas, no (minerales y personas). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16.3, 287-294.

Strunz, H. y Nickel, E. H. (2001). *Strunz Mineralogical Tables* (9ª ed.). Stuttgart: Schweizerbart.

Van Driel, J.H. y Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in Science Education. *International Journal of Science Education*, 24.2, 1255-1272. ■

Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 10 de enero y aceptado definitivamente para su publicación el 15 de junio de 2018