

Análisis de conceptos de los estudiantes de Magisterio acerca de los minerales y algunas estrategias para mejorar su comprensión

Analysis of concepts that Teacher Training students have about minerals and some strategies to improve their understanding

HORTENSIA DURAN Y MANEL PUIGCERVER

Departamento de Educación Lingüística y Literaria y de Didáctica de las Ciencias Experimentales y de la Matemática, Fac. de Educación, Univ. de Barcelona. Paseo Valle Hebrón 171, 08035 Barcelona. E-mail: hduran@ub.edu; mpuigcerver@ub.edu

Resumen Durante las últimas décadas del pasado siglo se realizaron diversos estudios a fin de detectar las preconcepciones y conceptos erróneos de los estudiantes sobre los materiales terrestres (minerales y rocas). Para conocer si éstos han variado en la actualidad, hemos elaborado un cuestionario que reproduce preguntas similares a las que se les plantearon a los estudiantes de magisterio hace más de 20 años. Las respuestas indican que, a pesar del tiempo transcurrido y la sucesión de leyes educativas aplicadas, los estudiantes actuales llegan a la universidad con algunos errores conceptuales similares a los que mostraban en el pasado. La enseñanza recibida durante el grado logra revertir en parte la situación, ya que a los dos años de haber cursado una asignatura de ciencias, en muchas de las cuestiones los resultados son significativamente mejores que los iniciales. Sin embargo, la idea de que los minerales se formaron en el interior de la Tierra muchísimo tiempo atrás se mantiene a pesar de la docencia. A este respecto, la realización de prácticas de cristalización puede ayudar a mejorar los resultados de los estudiantes, tanto para modificar sus concepciones "fijistas" sobre minerales y rocas, como en su percepción de la geología como ciencia experimental.

Palabras clave: Crecimiento cristalino, enseñanza, materiales terrestres, minerales, preconcepciones.

Abstract *During the last decades of the last century, several studies were carried out to detect students' misconceptions about terrestrial materials (minerals and rocks). To find out if these misconceptions have changed since then, we have designed a questionnaire that reproduces questions similar to those that were presented to the Teacher Training students more than 20 years ago. The answers show that, despite the time elapsed and the succession of educational laws applied, students arrive at the university with some conceptual errors similar to those they had in the past. The current teaching received at grade level partially reverses the situation, since two years after completing a science course, in many of the questions the results have significantly improved. However, the idea that minerals were formed in the interior of the Earth very long ago still remains, in spite of teaching. In this respect, carrying out crystallization practices can help to improve students' ideas, both modifying their "fixist" conceptions of minerals and rocks, and their perception of geology as an experimental science*

Keywords: *Crystal growth, earth materials, minerals, preconceptions, teaching..*

INTRODUCCIÓN

Las rocas y minerales han sido una materia prima imprescindible desde el principio de la historia de la humanidad, por lo que el interés por su diversidad, características y utilidad ha precedido, no ya

a la formalización de la geología como ciencia, sino a la construcción de cualquier otro conocimiento geológico (Pedrinaci y Sequeiros, 1999) y su estudio constituye uno de los temas imprescindibles en la enseñanza de la geología tanto en la Educación Primaria como en la Secundaria. Por la misma razón,

los conocimientos sobre su origen, características y usos son considerados ideas clave en la alfabetización en ciencias de la Tierra (Idea Clave 3 “Los materiales de la Tierra se originan y modifican de forma continua”; Idea Clave 8 “La humanidad depende del planeta Tierra para la obtención de sus recursos y debe hacerlo de forma sostenible”, Pedrinaci, 2012 y Pedrinaci *et al.*, 2013).

Ahora bien, la enseñanza de minerales y rocas presenta algunas dificultades dignas de mención, causadas básicamente por la persistencia de errores conceptuales. Estos errores son debidos en buena medida a que su aspecto aparentemente estático provoca una idea inmovilista, que no solo afecta a la enseñanza de estos temas, sino que también dificulta la visión dinámica de la Tierra en su conjunto. Además, en los libros de texto, el tema es tratado con un enfoque marcadamente descriptivo; ello lleva a la idea de que la geología no es una “auténtica” ciencia, puesto que no parece utilizarse la experimentación ni la variedad de procedimientos científicos que son frecuentes en otras ciencias experimentales.

En el presente trabajo se presenta un análisis de la situación actual de los conocimientos previos y errores conceptuales más frecuentes sobre minerales que muestran los estudiantes de los grados de Maestro de Educación Infantil y Primaria de la Universidad de Barcelona, para, a partir de los datos obtenidos, poder diseñar estrategias que les ayuden a superarlos, proporcionándoles una visión más dinámica de los materiales terrestres y facilitándoles a la vez una percepción de la geología como una ciencia que, además de una faceta histórica, tiene una vertiente claramente experimental (Idea Clave 10 de los Principios de Alfabetización en Ciencias de la Tierra “comprender cómo funciona la Tierra requiere el uso de principios, métodos y teorías proporcionados por la geología y otras disciplinas científicas”, Pedrinaci, 2012; Pedrinaci *et al.*, 2013).

PRINCIPALES ERRORES CONCEPTUALES DE LOS ESTUDIANTES SOBRE MINERALES Y ROCAS

Diversos autores han comprobado que el estudio de los materiales terrestres se complica por la persistencia de algunos errores conceptuales. Entre los más extendidos destacamos dos:

- La confusión que muestran los estudiantes de diferentes edades entre los conceptos de mineral y roca y la ausencia de límites claros entre ellos (Happs, 1985; Lillo, 1992; Pedrinaci, 1996).
- Una concepción “fijista” de los materiales terrestres. Muchos estudiantes, incluso los que recuerdan la existencia de diversos tipos de rocas (establecidos en función de su origen), funcionan como si las rocas actuales siempre hubiesen estado ahí, como si fuesen tan antiguas como la Tierra (Pedrinaci, 1996).

Mientras que el primero de los errores conceptuales citados afecta casi exclusivamente al tema de rocas y minerales, el segundo tiene implicaciones

mucho más profundas y graves para la enseñanza de la geología a todos los niveles, ya que la idea de que los materiales terrestres proceden del «acto» de la Creación ha funcionado en el pasado no sólo como inhibidor de cualquier explicación científica sobre las condiciones de formación de los materiales terrestres y su evolución, sino que además, esta visión estática de la Tierra ha sido y es el más importante obstáculo para el desarrollo del concepto de tiempo geológico (Pedrinaci, 1993) y de las teorías que históricamente se han ofrecido sobre el origen de las rocas, la edad de la Tierra o el origen de las montañas; por esta razón, se considera que debe ser el primero que debe abordarse en la enseñanza de las ciencias de la Tierra (Pedrinaci, 1998).

No es casual que tanto los estudiantes actuales como los naturalistas del pasado hayan considerado las rocas tan antiguas como la Tierra ya que, exceptuando el caso de algunas rocas volcánicas, no se percibe su formación, puesto que el ritmo es demasiado lento y por tanto su percepción es que no “nacen” nuevas rocas (Pedrinaci, 1996).

La situación es todavía más difícil en el caso de los minerales, ya que incluso los alumnos que a través de la experiencia pueden interpretar correctamente la formación de rocas sedimentarias por acumulación de minerales preexistentes, ven reforzada la idea de que, aunque las rocas puedan formarse, los minerales ya estaban ahí, y la idea de crecimiento les genera gran rechazo cuando se trata de minerales, puesto que la ven ligada exclusivamente a los seres vivos.

Monchamp y Sauvageot (1995) hacen referencia a esta perspectiva de los estudiantes y subrayan la magnitud del obstáculo que debe franquear un alumno para transformar su visión estática y actual de un objeto geológico en una cadena organizada de sucesos; sin embargo, resulta absolutamente fundamental superar esta visión estática y “fijista”, frecuente en el alumnado, para ir adoptando otra más dinámica y movilista (Pedrinaci, 1987; Sequeiros y Pedrinaci, 1992; Pedrinaci y Berjillos, 1994). Hay que tener en cuenta, no obstante, que estas concepciones, muy arraigadas en el alumnado, no se superarán porque se les diga que están equivocados, aunque ello se haga de manera repetida. Diversos autores (Champagne *et al.*, 1981; Serrano, 1987) trataron de provocar el paso de el alumnado a la concepción correcta de minerales y rocas, pero el aparente éxito inmediato de la intervención didáctica se desvaneció al comprobar que meses más tarde habían retrocedido a sus concepciones primitivas. Dada la resistencia al cambio que parecen mostrar las ideas “fijistas” y la importancia que tienen para el aprendizaje de la geología, resulta prioritaria su detección, y su movilización debe formularse como uno de los objetivos básicos de la enseñanza de la geología (Pedrinaci, 1987; García de la Torre *et al.*, 1993).

De esta manera, conseguir una visión dinámica de la formación de los materiales geológicos favorecerá no sólo una visión correcta de la evolución de nuestro planeta, sino que además permitirá a los estudiantes reconocer la importancia de las rocas y minerales como archivos que contienen información sobre cómo se formaron y los cambios posteriores que han experimentado (Pedrinaci, 1998).

CONOCIMIENTOS PREVIOS Y CONCEPTOS ERRÓNEOS EN LOS ESTUDIANTES DE MAGISTERIO

En el caso de los futuros maestros, la existencia de ideas erróneas es especialmente grave, ya que no solo afectan a su formación científica sino que éstas serán posteriormente transmitidas a sus alumnos (Mellado *et al.*, 1997), perpetuándolas y dificultándoles la comprensión de las ciencias de la Tierra en su conjunto; ello puede generar consecuentemente una actitud desfavorable que se mantendrá en los estudios posteriores. Por este motivo, diversos autores han investigado sobre los errores conceptuales que presentan los futuros maestros.

Algunos trabajos antiguos analizaron específicamente las concepciones sobre minerales que mostraban los estudiantes de Magisterio (Colomer *et al.*, 1993; Reyero, 1999). Ambos estudios proporcionaron resultados muy similares y ponían de manifiesto un grave desconocimiento sobre los conceptos de mineral y roca, tanto en referencia a su definición, como en lo tocante a su origen, transformación o aplicaciones. Aunque los estudiantes recordaban los nombres de algún mineral e incluso de los grupos de rocas (lo que indica que en algún momento los estudiaron) eran incapaces de relacionarlos con su origen o los aspectos que los caracterizan.

El tiempo transcurrido desde los análisis citados y los sucesivos cambios, tanto en los planes

de estudios de la enseñanza obligatoria como en los estudios de Magisterio, nos han llevado a cuestionarnos si las concepciones actuales de los futuros maestros sobre los minerales han variado respecto a los resultados que se obtuvieron hace casi 25 años. Con el fin de averiguarlo, hemos realizado un estudio para el que se ha confeccionado un cuestionario abierto con 10 ítems, que incluye preguntas similares a las propuestas en los trabajos anteriores de Colomer *et al.* (1993) y de Reyero (1999), como se aprecia en la tabla I.

Características de nuestro estudio

El cuestionario se ha aplicado a 198 estudiantes de los grados de Maestro de Educación Infantil y de Educación Primaria de la Universidad de Barcelona. Las características de la muestra se recogen en la tabla II.

Se pretende averiguar por un lado si los conocimientos, ideas previas y errores conceptuales han variado en el mismo tipo de estudiantes con el tiempo transcurrido, y por otro, observar si los conocimientos adquiridos recientemente consiguen provocar un cambio conceptual real a corto plazo y si éste se mantiene a medio y largo plazo. Para ello, se han comparado los resultados que se obtuvieron con los estudiantes en 1993 y 1999 respecto a los actuales, así como su evolución a lo largo de dos cursos en los estudiantes actuales.

COLOMER ET AL. 1993	REYERO 1999	ÍTEM	CUESTIONARIO ACTUAL
Define qué es un mineral	¿Qué entiendes por mineral?	1	Describe qué es un mineral
Di cuales de estas sustancias son minerales: Cuarzo, diamante, aluminio de fundición, granito, agua, aire, hueso, coral, concha, perla, vidrio, porcelana.		2	Di cuales de estas sustancias son minerales: Cuarzo, diamante, aluminio de fundición, granito, agua, aire, diente de dinosaurio, coral, perla, vidrio, porcelana, pirita, hielo glacial, mármol, mercurio.
		3	¿Dónde puedes observar minerales?
	¿En qué lugares de la Tierra crees que pueden formarse los minerales?	4	¿Dónde crees que se forman los minerales?
	¿Cuándo crees que se han formado?	5	¿Cuándo crees que se han formado los minerales?
		6	¿Cómo crees que se han formado los minerales? Di todas las formas que se te ocurran.
	¿En qué estado crees que pueden presentarse?		Se incluyen materiales en diferentes estados.
	Los elementos químicos que los forman ¿son los mismos o diferentes a los que constituyen la materia viva?	7	¿Los minerales están formados por los mismos elementos químicos que los seres vivos?
	Una vez formados los minerales ¿crees que pueden sufrir algún cambio o transformación?	8	¿Los minerales pueden crecer?
Cita aplicaciones de los minerales		9	Cita posibles utilidades de los minerales
		10	¿Crees que es posible reproducir experimentalmente en un laboratorio los procesos de formación de minerales?

Tabla I. Comparación entre algunas de las preguntas de los cuestionarios de Colomer *et al.* (1993) y Reyero (1999) y las correspondientes del cuestionario aplicado en este trabajo.

GRUPO	MUESTRA	CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA
1	82	Estudiantes de segundo curso que no han estudiado ciencias durante la carrera; sus conocimientos provienen de la Enseñanza Primaria y Secundaria.
2	19	Estudiantes de segundo curso que han trabajado con rocas y minerales recientemente durante la carrera (unos 2 meses atrás).
3	71	Estudiantes de segundo curso que estudiaron estos temas el semestre anterior (unos 6 meses atrás).
4	26	Estudiantes de cuarto curso que estudiaron estos temas dos años atrás pero han trabajado recientemente con rocas mediante itinerarios de campo y urbanos.

Tabla II. Características de los grupos de alumnos consultados en el cuestionario.

Resultados

Concepto de mineral:

Un mineral, según la definición más comúnmente aceptada, es una sustancia sólida, natural e inorgánica, que debe poseer una estructura interna ordenada y una composición química definida (Tarbuck y Lutgens, 1999; Klein y Hurlbut, 2001). Teniendo en cuenta esta definición, en total solo un 11 % de los alumnos indicaron alguna de las características que definen un mineral, considerando especialmente que eran sustancias naturales o sólidas, o más raramente, que eran inorgánicas, cristalinas o con una composición determinada. Sin embargo, la gran mayoría (casi el 90 %) sólo fueron capaces de decir que eran una piedra o una especie de roca, que estaban hechos de materias o de partículas o trozos (sin especificar), o bien que tenían propiedades (mayoritariamente hacían referencia a su dureza, aunque también incluían su solidez); también se referían a que eran “piedras” que se podían encontrar en las montañas, en la tierra, en cuevas o en la naturaleza en general. Las respuestas obtenidas son similares a las de los alumnos analizados por Reyero en 1999 (Fig. 1).

Estos resultados muestran que los obtenidos tanto por Colomer *et al.* (1993) como por Reyero (1999) no se diferencian de los obtenidos con alumnos del grado de Maestro que todavía no han cursado asignaturas de ciencias (Chi cuadrado=0.006, 1 g.l., $p=0.937$); en este sentido, puede inferirse que la situación actual no ha cambiado significativamente respecto a la de 1993 y 1999. Sin embargo, sí hay diferencias significativas con respecto a los alumnos que han estudiado estos temas en el aula hace 2 y

6 meses (Chi cuadrado=112.606, 1 g.l., $p<<0.01$), y con los que lo hicieron hace dos años (Chi cuadrado = 47.89, 1 g.l., $p<<0.01$), indicando que la docencia ha logrado revertir una situación considerada como negativa y que, si bien al cabo de dos años se produce la esperada erosión del recuerdo, no se llegan a alcanzar los niveles de la situación de inicio.

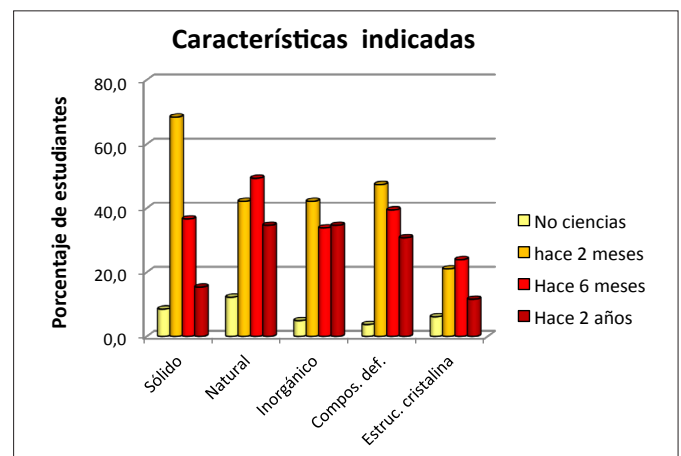
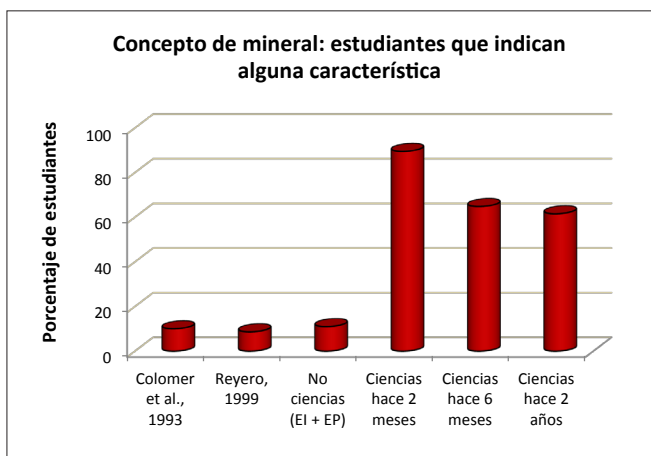
Si se analiza cuáles de los aspectos del concepto de mineral mejoran con la docencia, se aprecia que el porcentaje de alumnos que menciona el estado sólido aumenta mucho al principio para descender rápidamente (en entrevistas responden que no lo indican por considerarlo obvio). El hecho de que sean naturales, inorgánicos y posean una composición química definida mejora y se mantiene bien a largo plazo. Sin embargo, la estructura cristalina es mal comprendida y no mejora apreciablemente a largo plazo (Fig. 2).

Aunque hacer una pregunta abierta sobre el concepto de mineral es una buena manera de conocer lo que piensan los estudiantes, hay que tener en cuenta que es posible que no sean capaces de reflejar correctamente sus ideas. Por ello, además de solicitar que intentaran describir qué es un mineral, se les pidió que eligieran, entre una serie de sustancias, cuáles pensaban que lo eran (Tabla 1). A fin de poder efectuar comparaciones, en la lista se incluyeron las citadas en el estudio de Colomer *et al.* (1993). Entre las sustancias que debían escoger se encontraban minerales (cuarzo, diamante, pirita, hielo glaciar), rocas (granito y mármol), líquidos (agua y mercurio), materiales artificiales (lingote de aluminio, vidrio, porcelana) y sustancias de origen orgánico (perla, coral, diente de dinosaurio).

En el caso de los auténticos minerales, un altísimo porcentaje de los estudiantes (entre el 85 y el 100 %) identificaron sin problema el cuarzo, el diamante y la pirita como minerales, dando un resultado similar al obtenido por Colomer *et al.* (1993) para el cuarzo y el diamante. Sin embargo, llama la atención que ningún estudiante con anterioridad a la docencia y tan sólo 6 con posterioridad (de entre 116) asignaron al hielo natural el carácter de mineral, incluyendo aquellos que definían correctamente

Fig. 1. Porcentaje de estudiantes que son capaces de incluir algunas de las características del concepto de mineral, comparados con los de los artículos de Colomer *et al.* (1993) y Reyero (1999). El análisis incluye alumnos que todavía no han cursado la asignatura de Ciencias Naturales durante la carrera y los que lo han hecho hace 2 meses, 6 meses y dos años.

Fig. 2. Porcentaje de estudiantes que indican cada una de las características de mineral según el tiempo transcurrido desde la docencia.

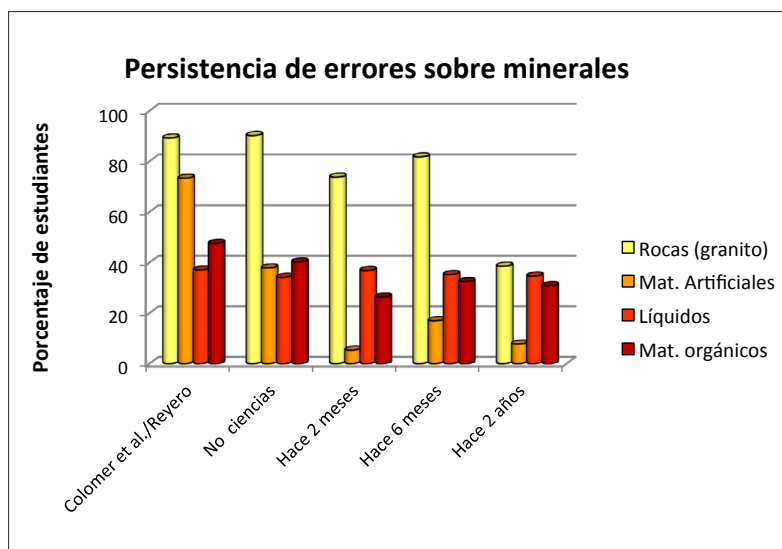


el concepto. Preguntados sobre la cuestión, todos ellos indicaron que, aunque el hielo sea sólido, en realidad es agua y por tanto su “esencia” es líquida (como si las sustancias tuvieran un estado “natural” y los otros fueran una circunstancia accidental). El otro motivo ampliamente aducido es que el hielo puede fundirse y esta posibilidad hace que, aunque sea sólido ya no sea un mineral, poniendo de manifiesto la idea subyacente de que los minerales no pueden cambiar, y por tanto las sustancias que lo hacen no pueden ser minerales.

Entre las sustancias que erróneamente eligieron como minerales destacan las rocas, tal como ya detectó Pedrinaci con estudiantes de Secundaria en 1996. Si en el artículo de Colomer *et al.* (1983) el 89.2 % de los estudiantes incluyeron el granito entre los minerales, en el estudio que presentamos lo hace un casi idéntico 90.2 % de los estudiantes que no han cursado la asignatura de ciencias (Chi cuadrado=0.135, 1 g.l., $p=0.713$). Con posterioridad a la docencia, muchos estudiantes incluyen en la definición de mineral la condición de una composición química definida o bien una sustancia pura y homogénea; sin embargo, siguen eligiendo el granito en un porcentaje del 74 % a los dos meses, y cercano al 80 % a los 6 meses (Fig. 3). Destaca el descenso en los alumnos que hicieron ciencias hace dos años, pero más recientemente, en otra asignatura, debían realizar y preparar salidas al campo e itinerarios urbanos, lo que les obligó a trabajar con rocas. Este hecho facilitó sin duda un mejor aprendizaje, ya que el porcentaje de alumnos que incluye las dos rocas entre los minerales es la mitad del previsible.

Los materiales artificiales que se han incluido en la lista son un metal (lingote de aluminio), el vidrio y la porcelana. En este punto se encuentra la principal discrepancia entre los datos actuales y los de 1993, ya que entonces un 73 % incluyó materiales artificiales y ahora tan sólo lo hace el 37.8 %. Claramente, el hecho de que los minerales tienen origen natural es fácilmente comprensible para los alumnos, lo que se demuestra tanto por el hecho de que es la característica más citada en la definición, como por la casi total ausencia de materiales artificiales entre los minerales (Fig. 3).

Por otra parte, nuestros datos actuales indican que, como sucedía en 1993, el agua es considerada un mineral por un porcentaje muy bajo de estudiantes, (inferior al 5 %) , pero si se amplía a los líquidos, incluyendo el mercurio, el porcentaje de alumnos que los eligen se sitúa en torno al 35 %, dando un resultado casi idéntico al de 1999 (comparación de los resultados obtenidos por Rejero con alumnos que todavía no han cursado asignaturas de ciencias: Chi cuadrado=0.141, $p=0.700$, ver Fig. 3). La inclusión de un líquido entre los minerales se mantiene invariable a pesar de la docencia, seguramente porque prevalece la idea de metal sobre la de líquido (comparación de los resultados obtenidos por Rejero con alumnos que han cursado asignaturas de ciencias hace un máximo de 6 meses: Chi cuadrado=0.04, $P=0.841$; y con los que han cursado asignaturas de ciencias hace dos años: Chi cuadrado=0.050, $P=0.823$). Así, aunque una elevada proporción de estudiantes indique que los minerales deben ser sólidos, siguen incluyendo al mercurio



entre ellos. En ningún caso los gases han sido considerados minerales.

El último grupo de materiales analizados fueron los de origen orgánico (Fig. 3). En una proporción similar a la de 1993, más del 40 % de alumnos del grupo 1 incluye alguno entre los minerales, y aunque se produce un leve descenso a corto plazo, el porcentaje se estabiliza rápidamente en los valores iniciales. Nuestros resultados parecen indicar que los estudiantes no diferencian bien el término inorgánico de la definición de mineral.

Origen, formación y transformación de los minerales

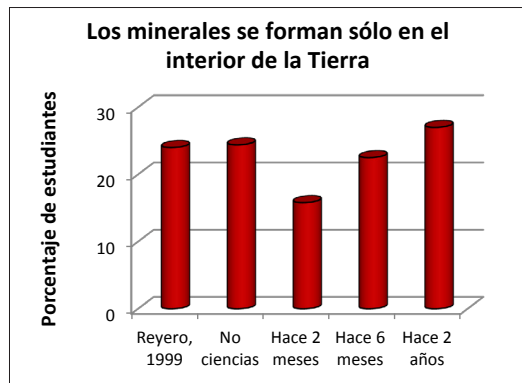
La segunda parte del cuestionario hace referencia a preguntas que fueron formuladas a los estudiantes de magisterio por Rejero en 1999, y están relacionadas con el origen, formación y transformación de los minerales. Las respuestas nos pueden indicar hasta qué punto los alumnos consideran la formación de minerales como un proceso dinámico y continuo.

La primera de ellas “¿dónde se forman los minerales?” (pregunta 4 del cuestionario) es en todo similar a la formulada en 1999, en la que un 24 % de los antiguos estudiantes respondieron que únicamente en el interior de la Tierra. Las respuestas actuales del grupo 1 dan un resultado idéntico y aunque el porcentaje desciende algo con la docencia, al poco tiempo se estabiliza en los valores iniciales. Claramente vuelve a aflorar la idea de los minerales formándose en sitios profundos vedados a su observación y nos encontramos, por tanto, ante una concepción errónea que la docencia no ha conseguido erradicar (Fig. 4).

La pregunta 5 “¿Cuándo crees que se han formado?” es la misma que la de 1999, pero los resultados son diferentes. Mientras que en el estudio de Rejero sólo el 31 % de los estudiantes indicaba que cuando se formó la Tierra, en nuestro caso muy pocos alumnos mencionan que se forman continuamente (Chi cuadrado=47.505, 1 g.l., $P<<0.01$). Una amplia mayoría, que alcanza el 80 % antes de la docencia, indica que hace millones de años, cuando se formó la Tierra e incluso durante el Big Bang (Fig. 5). En buena parte de los alumnos la docencia no consigue erradicar es-

Fig. 3. Porcentaje de alumnos que incluyen rocas, materiales artificiales, líquidos y materiales de origen orgánico entre los minerales. En el primer grupo se han incluidos los datos de rocas, materiales artificiales y orgánicos de Colomer *et al.* (1993) y los de líquidos de Rejero (1999).

Fig. 4. Porcentaje de alumnos que consideran que los minerales se forman únicamente en el interior de la Tierra, comparados con los datos de Reyero (1999).



tas concepciones erróneas (comparación de alumnos que todavía no han cursado asignaturas de ciencias con los que lo han hecho hace máximo 6 meses: Chi cuadrado=1.571, 1 g.l., $P=0.210$). Resulta llamativo que, a pesar de haber estudiado cómo se forman las rocas, los estudiantes sigan considerando mayoritariamente que los minerales son muy antiguos, con una profunda idea creacionista como la detectada por Pedrinaci (1987, 1996).

La pregunta 7 sobre si los minerales están formados por los mismos elementos químicos que los seres vivos es prácticamente la misma que formuló Reyero, pero tanto antes como después de la docencia los resultados son peores (Fig. 6); mientras que en el estudio de 1999 un 42 % de los estudiantes de magisterio pensaba que los seres vivos estaban formados por elementos diferentes a los de los minerales, en nuestro caso el porcentaje supera el 60 % (Chi cuadrado=7.515, 1 g.l., $P<<0.01$). La percepción sólo mejora en los alumnos de 4º curso que han cursado algo de química en el grado; antes, claramente desconocen el concepto de elemento químico, ya que las respuestas hacen referencia a moléculas e incluso células.

La pregunta 8, sobre si los minerales pueden crecer, está formulada de forma un poco diferente de la de 1999, donde se les preguntaba si podían cambiar. Se consideró especificar el cambio más sencillo y fácil de experimentar, el crecimiento. En el caso de Reyero, sólo el 9 % de los estudiantes admitía y entendía correctamente que los minerales podían transformarse. En nuestro caso, al facilitar el cambio al simple crecimiento, el porcentaje de alumnos que admite el crecimiento se sitúa en torno al 40 % antes y después de la docencia (Chi cuadrado=2.802, 2 g.l., $P=0.246$, Fig. 7). Sin embargo esta proporción aumenta notablemente en los alumnos de 4º curso,

Fig. 5. Porcentaje de alumnos que consideran que los minerales se formaron hace millones de años o en el momento de la formación de la Tierra, comparados con los datos de Reyero (1999).

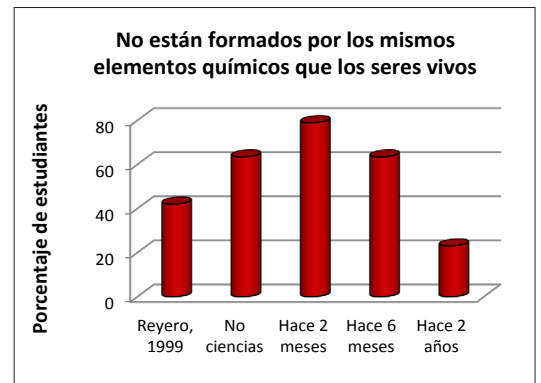


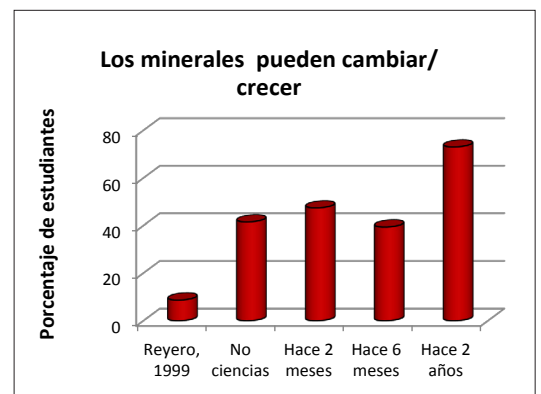
Fig. 6. Porcentaje de alumnos que consideran que los minerales no están formados por los mismos elementos químicos de los seres vivos, comparados con los datos de Reyero (1999).

que además de trabajar con las rocas, como se ha comentado anteriormente, realizaron unos meses antes prácticas de cristalización. De hecho, muchos de ellos se refieren al crecimiento de sustancias en el laboratorio y también a la observación de cristales con zonaciones concéntricas que habían observado en itinerarios urbanos (Colomer *et al.*, 2016). Por tanto, parece claro que las prácticas y el trabajo autónomo de los estudiantes favorecen la sustitución de los conceptos erróneos mucho mejor que las clases con prácticas más dirigidas (como por ejemplo la identificación de rocas en el laboratorio).

Posibles aplicaciones y experimentación sobre la formación de minerales

La siguiente pregunta se refiere a posibles usos de los minerales, y los resultados pueden compararse con los de Colomer 1993. Las respuestas de los estudiantes indican que en una elevada proporción son capaces de dar alguna aplicación de los minerales, mientras que en 1993 sólo un 25 % dieron alguna respuesta (Chi cuadrado=39.363, 1 g.l., $P<<0.01$). En la actualidad el porcentaje supera el 60 % antes de las clases y aumenta hasta el 80 % o más después (comparación de alumnos que todavía no han cursado asignaturas de ciencias con los que lo han hecho hace máximo 6 meses: Chi cuadrado=7.478,

Fig. 7. Porcentaje de alumnos que consideran que los minerales pueden crecer, comparados con los datos de Reyero (1999) sobre si los minerales pueden cambiar.



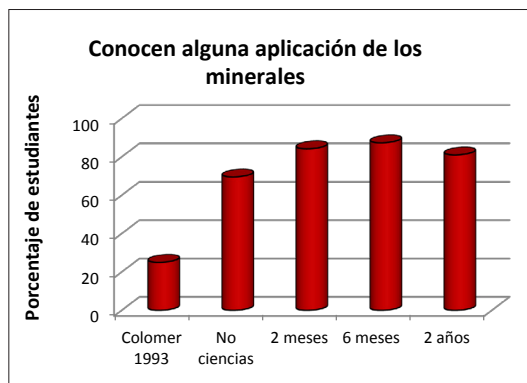


Fig. 8. Porcentaje de alumnos que conoce posibles aplicaciones de los minerales.

1 g.l., $P < 0.01$, Fig. 8). El problema no está tanto en el número de alumnos como en las respuestas aportadas. La más frecuente con diferencia es la joyería y bisutería (imaginan únicamente minerales bonitos y brillantes); en otra respuesta mayoritaria los consideran material de construcción, pero siempre que lo especifican, se pone de manifiesto que están hablando de rocas (mármoles de cocina, granito en las paredes). También se refieren a rocas cuando hablan de obtener energía (citan el carbón y el petróleo). Esta respuesta es perfectamente coherente con los datos mostrados en la figura 3, donde se pone de manifiesto que los alumnos no diferencian rocas de minerales. El principal problema es que poquísimos mencionan el uso de los minerales como materia prima para obtener metales o materiales tecnológicos, a pesar de que conocen su importancia.

La última de las preguntas que se les formuló era si pensaban que se podía reproducir experimentalmente la formación de minerales. Las respuestas en todos los grupos con anterioridad a la docencia fueron muy similares: en torno al 59 % de los estudiantes consideraron que sí, pero un notable 41 % pensaba que no era posible. Llama la atención que inmediatamente después de la docencia, el porcentaje de alumnos que piensa que se puede experimentar desciende; la explicación está en que, después de estudiar aspectos de geodinámica interna, ven muy difícil reproducir las condiciones de formación de algunos minerales. Sin embargo, a los 6 meses de la docencia la proporción vuelve a ser casi idéntica a la de partida. No obstante, a los dos años, el porcentaje aumenta significativamente hasta el 85 %; ello es debido a que estos estudiantes realizaron una práctica de cristalización (hacen referencia a ella en sus respuestas afirmativas, Fig. 9).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos, aunque corresponden a una muestra de estudiantes de magisterio de una sola universidad, indican que, a grandes rasgos, no hay diferencias significativas entre los estudiantes actuales y los de hace 20-25 años en cuanto a las concepciones relacionadas con la definición de mineral y el lugar donde se forman, pero

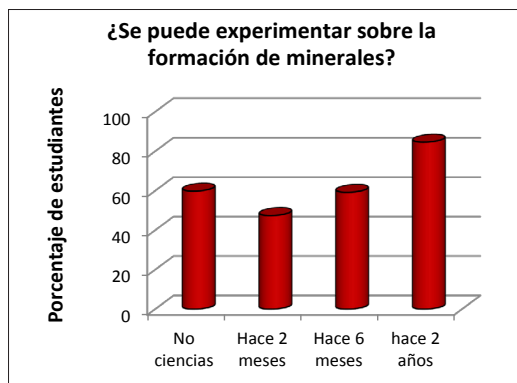


Fig. 9. Porcentaje de alumnos que consideran que se puede experimentar sobre la formación de minerales.

han empeorado respecto a cuándo se formaron, mientras que han mejorado en la idea de que puedan crecer.

Si se analiza la evolución a lo largo del grado, en general todos los aspectos tratados con los estudiantes de magisterio mejoran con la docencia, y aunque con el tiempo las respuestas erróneas tienden a aumentar, en muchos aspectos se mantiene un buen aprendizaje a largo plazo y no se llega a los niveles de partida. Sin embargo, hay algunos resultados que indican que debería intentarse una mejora. Los principales puntos a destacar son:

- En el concepto de mineral, la única característica en la que los resultados son siempre bajos y se produce una mejora escasa es la referida a la estructura cristalina (Fig. 2). Éste es sin duda el aspecto peor entendido del concepto de mineral, manteniéndose los bajos resultados ya indicados por Reyer (1999). Posiblemente ello se deba a que los estudiantes de Secundaria apenas reciben enseñanzas de cristalografía.
- Los estudiantes siguen incluyendo las rocas entre los minerales a pesar de conocer las características que éstos deben tener (Fig. 3); por tanto, se mantienen los malos resultados ya identificados por Lillo (1992), Bazán y Vides (1995) y Pedrinaci y Sequeiros (1999). Sin embargo, llama la atención la mejora en los alumnos del grupo 4, debida sin duda a que trabajaron con rocas con la finalidad, no de mejorar su conocimiento sobre ellas, sino de aplicarlo en itinerarios urbanos y de campo.
- La idea de que los minerales solo se forman en el interior de la Tierra, y de que lo hicieron hace millones de años o cuando se formó el planeta, no mejora apreciablemente con la docencia (Fig. 4 y 5).
- La idea de que los minerales pueden crecer mejora notablemente si los estudiantes han realizado alguna práctica de cristalización (Fig. 7). La realización de este tipo de prácticas favorece la percepción de dinamismo en el tema de los materiales terrestres, además de despertar notablemente el interés de los estudiantes (Prolongo, 2012; Reyer *et al.*, 2013).
- Una buena parte de los estudiantes (más del 40 %) considera que no se puede hacer un trabajo experimental con minerales, lo que genera una visión de la geología bastante apartada de las

ciencias experimentales. Una sola práctica de cristalización mejora notablemente este aspecto (Fig. 9).

Los puntos anteriormente indicados ofrecen información sobre estrategias didácticas que pueden ayudar a reducir las concepciones erróneas sobre los materiales terrestres. Los datos indican que realizar alguna práctica de cristalización puede ayudar a mejorar la mayor parte de los puntos débiles indicados anteriormente (ver Anexo I).

REFLEXIÓN FINAL

El motivo que nos llevó a realizar este trabajo fue la percepción de que, a pesar del tiempo transcurrido desde un antiguo estudio sobre errores conceptuales con estudiantes de magisterio, la situación no parecía haber mejorado. Pedrinaci en 1996 ya alertaba de que el aluvión de trabajos publicados en los años ochenta sobre las ideas de los alumnos había proporcionado una gran cantidad de datos, pero existía el peligro de que al tratarse de un aspecto ya conocido dejara de trabajarse sobre el tema. Han pasado 30 años y siete leyes educativas (LGE 1970, LOECE 1980, LODE 1985, LOGSE 1990, LOCE 2002, LOE 2006, LOMCE 2013), algunas de las cuales ni siquiera entraron en vigor, y las respuestas erróneas de los estudiantes de magisterio sobre algunos conceptos geológicos básicos abordados en la enseñanza obligatoria, son extraordinariamente parecidas a las obtenidas mucho tiempo atrás.

En el tema de los materiales terrestres, se ha podido constatar que alumnos de nivel universitario dan respuestas similares a las que hace tres décadas obtuvo Pedrinaci (1987) con alumnos de secundaria, cuando confundían sistemáticamente rocas y minerales, indicaban, en un 58 % de los casos, que las rocas no cambian (porcentaje idéntico al de nuestros alumnos con minerales, ver Fig. 7), o que las rocas existen desde que se formó la Tierra, en una proporción muy similar a la que hemos obtenido nosotros (35 %). Posiblemente si analizáramos otros temas básicos en geología, descubriríamos que los conceptos erróneos se han mantenido con muy poca variación. La causa hay que buscarla seguramente en la pobre representación de las ciencias de la Tierra en la Educación Secundaria (Pedrinaci, 2012).

En la actualidad existe un amplio consenso sobre la importancia de la alfabetización científica; Pedrinaci *et al.* (2013) presentaron en el marco del XVII Congreso de Enseñanza de la Geología un documento que incluía los puntos básicos que todo ciudadano debe conocer y por tanto los estudiantes deberían saber al finalizar la Educación Secundaria Obligatoria. Sin embargo, en el mismo documento se indicaba que el sistema educativo español propone unos conocimientos de ciencias de la Tierra escasos y desestructurados, incapaces de procurar en quien los posee una alfabetización en estas ciencias. Los datos obtenidos corroboran claramente esta afirmación.

Entender cómo, dónde o por qué se forman los minerales y conocer su importancia como recurso forma parte de dos de las ideas clave propuestas en

el documento: Idea Clave 3. *Los materiales de la Tierra se originan y modifican de forma continua*; Idea Clave 8. *La humanidad depende del planeta Tierra para la obtención de sus recursos y debe hacerlo de forma sostenible*. Conseguir una mejora en la formación sobre estos temas de los futuros maestros, resulta fundamental si se quiere llegar a alcanzar un correcto nivel de alfabetización en ciencias de la Tierra, ya que ello repercutiría en la calidad de la enseñanza que pueden proporcionar a los alumnos de Primaria, a fin de conseguir reducir la persistencia de las ideas erróneas detectadas.

Algunos resultados obtenidos en este trabajo indican que la realización de experiencias sencillas de cristalización puede ayudar a los alumnos a superar las ideas estáticas y creacionistas sobre los materiales terrestres y a la vez fomentar una visión experimental de las Ciencias de la Tierra: Idea Clave 10. *Comprender cómo funciona la Tierra requiere el uso de principios, métodos y teorías proporcionados por la geología y otras disciplinas científicas* (Pedrinaci, 2012; Pedrinaci *et al.*, 2013). Por ello adjuntamos en el anexo I algunas ideas sobre actividades de cristalización que pueden resultar útiles para este fin.

BIBLIOGRAFÍA

- Bazán, C. A. y Vides, M. E. (1995). Evaluación de pre-conceptos de geología en alumnos ingresantes a la universidad. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 3, 3, 164-168.
- Champagne, A., Klopfer, L., Desena, A. y Squires, D. (1981). Structural representations of students' knowledge before and after science instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 18, 2, 97-111.
- Colomer, M., Durán, H. y Gold, G. (1993). Conocimientos de Geología en los estudiantes de Magisterio de la especialidad de educación primaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1, 3, 175-179.
- García de la Torre, E., Sequeiros, L. y Pedrinaci, E. (1993). Fundamentos para el aprendizaje de la geología de campo en Educación Secundaria: una propuesta para la formación del profesorado. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1, 1, 11-18.
- Happs, J. C. (1985). Regression in learning outcomes: some examples from the Earth Sciences. *European Journal of Science Education*, 7, 4, 431-443.
- Holden, A. y Morrison, P. (1982). *Crystals and crystal growing*. MIT press, 318 p.
- Klein, C. y Hurlbut, C. (2001). *Manual de mineralogía*, 4ª ed. Ed. Reverté, 679 p.
- Lillo, J. (1992): Representaciones de los alumnos de EGB sobre los conceptos de mineral y roca. *III Congreso Geológico de España*. Salamanca, vol. 1, 412-421.
- Martín, M. T., Martín, M. y Morcillo, J. G. (2005). Obtención de compuestos químicos cristalizados a partir de productos de uso cotidiano. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, 3, 44-46.
- Mellado V., Ruiz, C. y Blanco, L. J. (1997). Aprender a enseñar ciencias experimentales en la formación inicial de maestros. *Bordón: Revista de Orientación Pedagógica*, 49, 3, 275-288.
- Monchamp, A. y Sauvageot, M. (1995): Du fixisme à la tectonique des plaques. Et pourtant elles bougent. *Aster*, 20, 3-20.

- Morcillo, J.G., Martín, M., Martín, M.T. y Reyero, C. (2015). Cristales, minerales y minería: una secuencia de actividades. *Alambique*, 81, 50-58.
- Pedrinaci, E. (1987). Representaciones de los alumnos sobre los cambios geológicos. *Investigación en la Escuela*, 2, 65-74.
- Pedrinaci, E. (1993). La construcción histórica del concepto de tiempo geológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 11.3, 315-323.
- Pedrinaci, E. (1996). Sobre la persistencia o no de las ideas del alumnado en geología. *Alambique*, 7, 27-36.
- Pedrinaci, E. (1998). Procesos geológicos internos: entre el fijismo y la Tierra como sistema. *Alambique*, 18, 7-17.
- Pedrinaci, E. (2012). Alfabetización en Ciencias de la Tierra, una propuesta necesaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20.2, 133-140.
- Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro García, P., Almodóvar, G. R., Barrera, J. L., Belmonte, Brusí, 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.
- Pedrinaci, E. y Berjillos, P. (1994). El concepto de tiempo geológico: orientaciones para su tratamiento en la Educación Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2.1, 240-251.
- Pedrinaci, E. y Sequeiros, L. (1999). Conocer los archivos del planeta. *Alambique*, 22, 9-16.
- Prolongo, M.L. (2012). Obtención de cristales gigantes y espectaculares. En.: *Enseñanza y divulgación de la química y la física*, (Eds.: Pinto, G. y Martín, M.). Ed. Garceta, 255-262.
- Reyero, C. (1999). Ideas de los alumnos de magisterio acerca de los conceptos de mineral y cristal. Algunos obstáculos epistemológicos. *Docencia e Investigación: revista de la Escuela Universitaria de Magisterio de Toledo*, 24.9, 129-142.
- Reyero, C., Martín, M., Morcillo, J. G., García, E. y Martín, M. T. (2008). Obtención de cristales en niveles no universitarios. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, 3, 215-219.
- Reyero, C., Morcillo, J. G., Martín, M. M. y Martín, M. T. (2012). Factores que influyen en la forma y propiedades de los cristales. En.: *Enseñanza y divulgación de la química y la física*, (Eds.: Pinto, G. y Martín, M.). Ed. Garceta, 247-254.
- Reyero, C., Morcillo, J. G., Martín, M. y Martín, M. T. (2013). Estudio de los factores que influyen en la forma y propiedades de los cristales y propuestas para los estudiantes de profesorado de secundaria en geología. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4.1, 121-130.
- Sequeiros, L. y Pedrinaci, E. (1992). Una propuesta de contenidos de Geología para la ESO. *III Congreso Geológico de España. Salamanca*, 471-480.
- Serrano, T. (1987). Representaciones de los alumnos en Biología: estado de la cuestión y problemas para su investigación en el aula. *Enseñanza de las Ciencias*, 5.3, 181-188.
- Tarback, E. y Lutgens, F. (1999). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física*. 6ª ed. Prentice Hall, 563 p.
- Wood, E. A. (1972). *Crystals: A handbook for school teachers*. Commission on Crystallographic Teaching. International Union of Crystallography. Polycrystal Book Service, 64 p.
- Wood, E.A. (2001). *Cristales: un manual para profesores de enseñanza primaria y secundaria*, Comisión de Enseñanza de la Unión Internacional de Cristalografía, (traducido por J. F. Van der Maelen Uría, C. Álvarez-Rúa, J. Borge y S. García Granda), 39 p. Accesible en:
- <http://oldwww.iucr.org/iucr-top/comm/cteach/pamphlets/20/es/index.html> ■

Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 25 de enero de 2017 y aceptado definitivamente para su publicación el 20 de junio de 2017.

ANEXO I: EXPERIENCIAS PARA REPRODUCIR ALGUNOS DE LOS MÉTODOS DE FORMACIÓN DE MINERALES

Las prácticas para la obtención de cristales han sido utilizadas desde hace tiempo como recurso para la enseñanza de la geología con la finalidad de intentar reproducir el crecimiento mineral o experimentar sobre las condiciones de formación (Wood, 1972, 2001; Holden y Morrison, 1982; Martin *et al.*, 2005; Rejero *et al.*, 2008; Prolongo, 2012; Morcillo *et al.*, 2015).

En la naturaleza, los minerales formadores de rocas se originan por diversos métodos; entre los más comunes podemos citar: precipitación a partir de una disolución, sublimación, solidificación de un fundido, reacción entre sólidos y fluidos y cambios en estado sólido (reacciones, cambios polimórficos, recristalización). Excepto los últimos, que son demasiado lentos, todos los demás son fáciles de reproducir en un laboratorio escolar (Fig. 10).



Fig. 10. Arriba, de izquierda a derecha: grupo de cristales de yeso; agregado de cristales de cuarzo, ortosa y albita; cristales de azufre. Abajo, en el mismo orden: cristales de sulfato de níquel (evaporación), bismuto (a partir de fundido) y naftaleno (por sublimación inversa).

Algunos métodos de obtención de cristales en el laboratorio.

La precipitación a partir de una disolución saturada es muy fácil de reproducir. La obtención de cristales a partir de disoluciones saturadas de sales muy solubles como el cloruro sódico (NaCl), el alumbre potásico ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$), el sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) y el ADP ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) ha sido un método frecuentemente utilizado para que los estudiantes experimenten sobre el crecimiento de cristales (Rejero *et al.*, 2008, 2012, 2013; Prolongo, 2012; Morcillo *et al.*, 2015). Las sales cuya solubilidad aumenta con la temperatura permiten obtener cristales grandes en muy poco tiempo (Fig. 11), y experimentar la influencia de diversos factores en el tamaño y hábito de los cristales obtenidos.

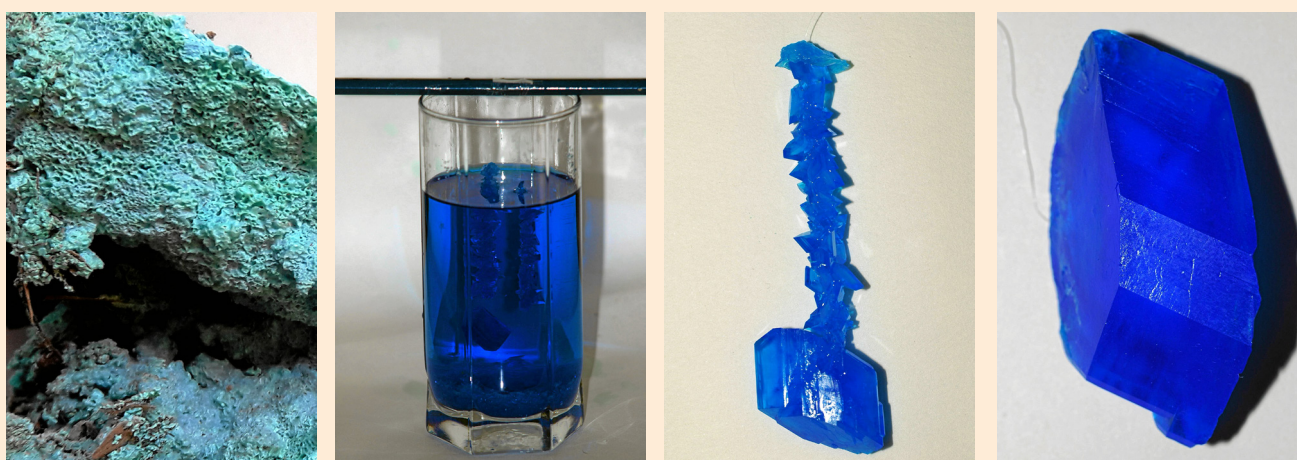


Fig. 11. A la izquierda, mineral calcantita, (mina la Castaña, Montseny, Barcelona). A la derecha, tres etapas del crecimiento de un cristal de sulfato de cobre realizado por estudiantes. El cristal de la derecha tiene más de 12 cm de longitud.

La sublimación inversa permite ver crecer cristales en cuestión de minutos. Un material adecuado es el naftaleno ($C_{10}H_8$), si se calienta funde a $80,1\text{ }^\circ\text{C}$, y desprende abundante vapor. Los vapores subliman rápidamente proporcionando cristales dendríticos, a la vez que en el líquido crecen cristales aciculares (Fig. 12). La práctica permite comprobar que los cristales desarrollan caras y formas regulares mientras disponen de espacio (los producidos por sublimación y los que empiezan a formarse en el interior del líquido), pero que, conforme todo el líquido cristaliza en el fondo del recipiente, dejan de observarse las formas geométricas.



Fig. 12. Obtención de cristales de naftaleno por sublimación. A la izquierda, el naftaleno fundido emitiendo vapores, en el centro cristales formándose en el interior del líquido y a partir del vapor en las paredes; a la derecha, detalle de los cristales.

Los minerales formados a partir de un fundido se pueden reproducir a partir de materiales con punto de fusión bajo y que cristalicen fácilmente como el azufre (Reyero *et al.*, 2008). Otros materiales adecuados son el naftaleno antes mencionado y el bismuto, que funde a $271\text{ }^\circ\text{C}$. Se pueden hacer crecer cristales de bismuto fundiendo el metal en una cápsula de porcelana sobre un mechero bunsen (Fig. 13).

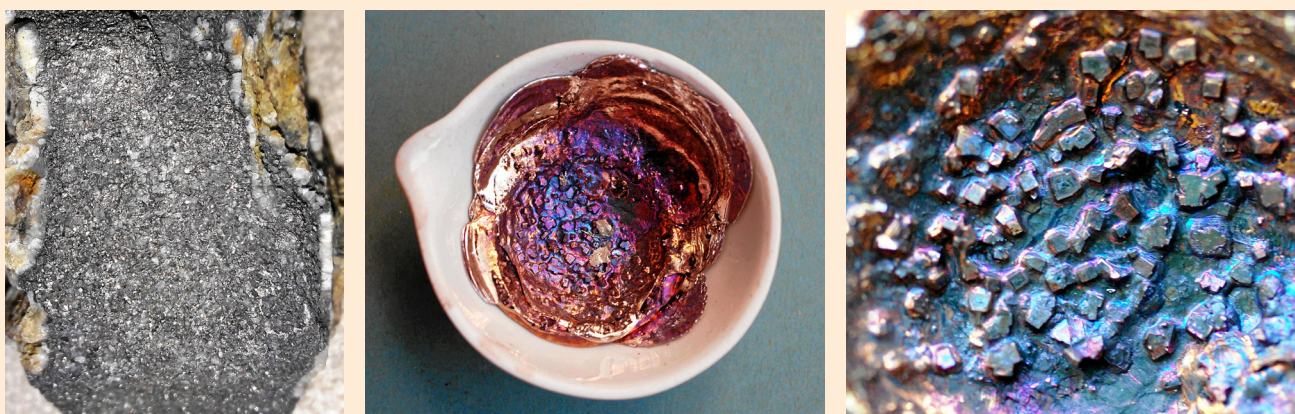
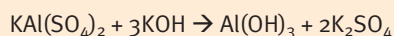


Fig. 13. A la izquierda, bismuto nativo (Villanueva de Córdoba); en el centro, cápsula de porcelana con cristales de bismuto en el fondo; a la derecha, detalle de los cristales.

Otro método habitual de formación de minerales es a partir de reacciones. Una reacción bien conocida es la de un metal en el seno de una disolución de otro más activo, por ejemplo de hierro en una disolución de sulfato de cobre, para obtener los llamados árboles metálicos (Reyero *et al.*, 2008). Un material adecuado, que permite obtener cristales de dos sales diferentes a partir de una reacción, es el alumbre potásico ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) que reacciona fácilmente con el $K(OH)$, según la reacción:



Se genera un precipitado blanco de aspecto botroidal, de $Al(OH)_3$, que en la naturaleza se presenta como el mineral gibbsita o hidrargilita. Si se filtra el líquido restante y se deja evaporar, aparecen cristales rómbicos de K_2SO_4 , que se encuentran en la naturaleza como el mineral arcanita (Fig. 14).

El crecimiento de cristales como los indicados, además de facilitar la comprensión de diversos métodos de formación de minerales, resulta muy motivador para los estudiantes, que además de comprobar la importancia de las condiciones para obtener buenos cristales (tiempo, espacio disponible y reposo), pueden experimentar con diferentes factores (temperatura, pH, forma del recipiente, núcleos de cristalización, etc.). Pero si se desea una visión todavía más dinámica, es muy recomendable observar el crecimiento con una lupa binocular. Para ello, se dispone una gota de la disolución sobre un portaobjetos previamente calentado.

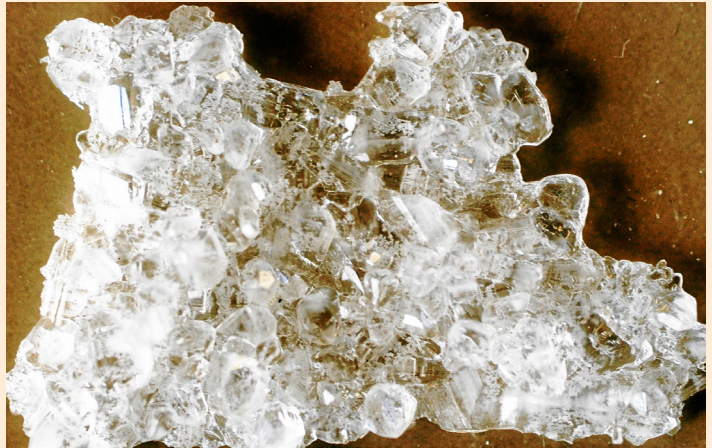


Fig. 14. A la izquierda, agregado de aspecto botroidal de $Al(OH)_3$; a la derecha, cristales rómbicos de K_2SO_4 .

En un tiempo muy breve, el disolvente se evapora y se puede ver directamente como los microcristales crecen aceleradamente ocupando todo el campo de visión. El resultado es espectacular y permite a los estudiantes comprobar la dinámica del crecimiento cristalino.

Precauciones a tener en cuenta cuando se realizan prácticas de cristalización con estudiantes.

Aunque los estudiantes con los que habitualmente trabajamos son de nivel universitario y están ya habituados al trabajo en el laboratorio de ciencias, es importante indicar, antes de cada práctica, la posible toxicidad de las sustancias con las que trabajan. Muchas de las sales antes mencionadas son tóxicas, y los alumnos deben lavarse las manos cuidadosamente después de manipularlas; otras sustancias, como el azufre o el naftaleno, emiten vapores, por lo que se deben calentar bajo una campana extractora, y otras, como el KOH, son caústicas, y debe evitarse el contacto con la piel y los ojos. En todos los casos el profesor debe dar la ficha de seguridad de los productos que utilizan los estudiantes, y en el caso de niños, debe evitar que sean ellos los que manipulen los productos peligrosos.