

RECURSOS DIDÁCTICOS EN CRISTALOGRAFÍA, MINERALOGÍA Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES

Didactic resources for to use in Crystallography, Mineralogy and Materials Science

Joaquim M. Nogués*

RESUMEN:

A través de un conjunto de ejercicios prácticos y experiencias de laboratorio muy sencillas y de bajo coste económico, se introduce al alumno en el área de la Cristalografía, Mineralogía y Ciencia de los Materiales. La realización de los mismos permite deducir las propiedades fundamentales de la materia cristalina y dar una visión completa del estado sólido.

ABSTRACT:

We propose a set of practical exercises and the experiences of laboratory to introduce Crystallography, Mineralogy and Materials Science with a very easy, economic and efficient system. The solving of these problems allows to know the most important properties of crystals and to obtain a very good and complete view of the solid state.

Palabras clave: Cristalografía, Mineralogía, Ciencia de los Materiales, crecimiento cristalino, propiedades ópticas.

Keywords: Crystallography, Mineralogy, Materials Science, crystal growth, optical properties.

INTRODUCCIÓN

Una de las características del cristal, aunque no es la más importante, es la de poseer una forma geométrica determinada. Ya en la antigüedad este aspecto llamó la atención de los primeros investigadores y de ahí surge el término griego “krystallos” cuyo significado etimológico no es otro que “agua helada” y sirvió para designar los cristales incoloros de cuarzo, más conocidos popularmente como “cristal de roca”. A partir de este momento la Cristalografía se desarrolla como ciencia auxiliar de la Mineralogía, para explicar el origen, la naturaleza y las propiedades de los minerales. Desde este punto de vista es lógico que durante mucho tiempo el objetivo fundamental de la Cristalografía fuese el estudio de las formas cristalinas. A medida que se descubren las distintas propiedades físicas, se intuye que la explicación de las mismas tiene su origen en la estructura interna de los minerales. En consecuencia se emiten las primeras hipótesis acerca de la organización interna de los cristales.

Es a principios del siglo XX, con la utilización de los rayos X en los cristales, cuando algunas de estas hipótesis se ven confirmadas experimentalmente. Desde este momento el ámbito de estudio de la Cristalografía se diversifica y se aplica a campos aparentemente tan distintos como la química, la metalurgia, la biología, etc. Un buen repaso de todos estos

aspectos históricos lo constituye el libro de Amorós, J.L. (1978). No obstante, los aspectos conceptuales básicos y las técnicas de estudio siguen siendo de aplicación en el área de la Mineralogía, ya que los minerales no son otra cosa que cristales naturales que se forman en el gran laboratorio que constituye la corteza terrestre y al cual el hombre tiene un fácil acceso. Además los minerales constituyen las materias primas a partir de las cuales se obtienen todos los materiales que utilizamos a diario. Es necesario recordar una vez más, que aún cuando la forma geométrica externa de los cristales es una de las características más conocidas por el hombre, no es precisamente un carácter fundamental sino accesorio.

En la enseñanza secundaria durante muchos años, el estudio de la Cristalografía se ha realizado casi en exclusiva utilizando el aspecto morfológico y olvidando el aspecto fundamental, que es el de poseer un orden interno a nivel microscópico. Para corregir este déficit se proponen una serie de ejercicios y actividades de laboratorio, que nos permiten lograr un concepto de cristal mucho más completo.

OBJETIVOS DEL TALLER

Cualquier sustancia sólida de composición química orgánica o inorgánica, de origen natural o sintético y cuya estructura interna sea ordenada, es ob-

(*) Dpto. Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Geología. Universidad de Barcelona. c/ Martí i Franquès s/n. 08028 Barcelona.
E-mail: jnogues@natura.geo.ub.es

jeto de estudio de la Cristalografía. Así pues a través de las actividades que se proponen, los objetivos que queremos alcanzar son los siguientes:

- Destacar el carácter interdisciplinar de la Cristalografía. El ámbito de estudio de esta ciencia es cualquier sustancia sólida ya que la mayoría de los sólidos son cristalinos. No obstante como nuestro objeto de estudio es la geología en general, los materiales con los cuales vamos a trabajar son los minerales y las rocas.

- Deducir las propiedades fundamentales del cristal y establecer el modelo ideal de referencia que es precisamente el retículo cristalino. Este desarrollo es el estudio del cristal a nivel microscópico ya que trabajamos con la estructura interna del mismo.

- Explicar con este modelo tanto el comportamiento a nivel microscópico como macroscópico, así como sus propiedades. Deducir las características fundamentales del medio cristalino. Así pues desde un punto de vista conceptual este modelo es una visión global y completa.

- Comparar el modelo de la teoría reticular con otros modelos existentes en otras ramas de la ciencia, como por ejemplo la teoría atómica en el ámbito de la Física-Química ó la tectónica global en el ámbito de la Geología.

- Poner de manifiesto la complejidad de obtener un buen cristal, a través de las actividades del crecimiento cristalino, al mismo tiempo que acercamos al alumno a la problemática del cristal real, así como la comprensión de la diversidad de formas y tamaños que pueden presentar los cristales en la naturaleza.

- Ver las alteraciones de estos cristales reales en relación al modelo ideal de referencia, que nos permiten explicar los denominados defectos cristalinos que influyen decisivamente en la dinámica del cristal. Este aspecto es muy importante porque el comportamiento a nivel microscópico, nos permite interpretar los fenómenos que se producen a nivel macroscópico. En todas estas interpretaciones el factor tiempo es muy importante.

- Estudiar las propiedades físicas del cristal, prestando especial atención a las propiedades ópticas que podemos observar con una serie de experiencias sencillas que son de gran importancia en Mineralogía y Petrología.

ESTRUCTURACIÓN DE LAS ACTIVIDADES

Para conseguir los objetivos que se han mencionado anteriormente, se proponen una serie de actividades prácticas muy sencillas y con un coste económico mínimo. Estas actividades están agrupadas en tres apartados:

- En el primer apartado los ejercicios prácticos van encaminados a que el alumno comprenda conceptualmente que es un cristal y pueda el mismo deducir sus propiedades fundamentales, así como el modelo virtual (retículo cristalino) que nos permite explicar todas estas propiedades y clasificar cualquier tipo de cristales.

- En el segundo apartado los alumnos pueden comprender como crecen los cristales a través de experiencias de laboratorio muy sencillas y divertidas, que le permiten obtener buenos ejemplares. En estas experiencias, es importante el trabajo en grupo, ya que el control del crecimiento de los cristales requiere un seguimiento exhaustivo durante algunos días. Ello permite al alumno educarse en el trabajo en equipo. Actualmente es imposible concebir un buen trabajo de investigación sin la colaboración de diversos especialistas.

- El tercer apartado está dedicado a las propiedades ópticas del cristal. Aquí no se trata de realizar un curso exhaustivo de óptica cristalina, sino de poner de manifiesto aquellas propiedades básicas que son comunes a la mayoría de los cristales y que nos ayudan a identificarlos.

¿Que es un cristal?

La primera práctica nos permite introducir al alumno en las características del retículo cristalino y sus propiedades asociadas. Para ello necesitamos el siguiente material: a) un dibujo repetitivo en el que puedan apreciarse relaciones de simetría. Como ejemplo podemos utilizar los papeles para decorar paredes, un papel para envolver regalos o bien un dibujo del pintor M.C. Escher (Mac Gillavry, 1965), el cual estuvo muy interesado por los problemas que plantea la simetría. b) lápices de colores para ir marcando los distintos elementos que se vayan deduciendo. c) papel vegetal para superponer al dibujo.

El procedimiento de la práctica es el siguiente: colocamos el papel vegetal superpuesto al dibujo y de este modo podemos marcar sobre el mismo todos los símbolos que sean necesarios. Empezamos tomando un punto de referencia en algún elemento del dibujo y marcamos con un lápiz un círculo en el papel vegetal. A continuación señalamos el resto de los puntos de referencia, con la condición de que los elementos escogidos sean idénticos al elemento inicial en cuanto a la forma y orientación. Todos estos puntos de referencia son puntos ideales y los denominamos NUDOS RETICULARES.

Entre dos nudos reticulares consecutivos definimos un vector con una dirección, un sentido (derecha, izquierda) y una determinada longitud (el módulo del vector). En esta dirección y sentido el vector traslación origina una infinidad de nudos reticulares con la misma separación, y que nos definen la llamada FILA RETICULAR. Si repetimos la operación en otra dirección (arriba, abajo), obtendremos una segunda fila reticular. La combinación de las dos filas reticulares, nos definen el PLANO RETICULAR. Si el alumno separa el papel vegetal del dibujo, verá representado en el mismo un conjunto de puntos que no están situados al azar sino distribuidos según un orden. Este es precisamente el esquema virtual del cristal que llamamos retículo cristalino. Si en este conjunto ordenado de puntos, definimos los vectores más pequeños en las dos direcciones de este espacio bidimensional (el papel vegetal), obtendremos un paralelepípedo que es lo que llama-

mos la CELDA FUNDAMENTAL. En el conjunto del papel vegetal hay una infinidad de celdas fundamentales. Si volvemos a superponer el papel vegetal con el dibujo y de modo que los nudos reticulares coincidan con los puntos de referencia anteriores, veremos que la celda fundamental delimita dentro de su área una parte del dibujo, este es el contenido de la celda fundamental.

Cuando se conoce la celda fundamental (modelo virtual) y su contenido (parte del dibujo delimitada por la celda) conocemos la pieza básica de cualquier sustancia cristalina, ya que por sucesiva repetición de estas celdas de modo que queden encajadas entre si y sin dejar huecos, el conjunto de todas ellas nos genera el dibujo en su totalidad. Si se aplican estos conceptos en el espacio tridimensional se pueden generar los 14 retículos cristalinos o retículos de Bravais. En este caso hemos trabajado únicamente en el espacio bidimensional para facilitar una mayor comprensión por parte del alumno.

A continuación si el alumno separa otra vez el papel vegetal y observa la distribución de puntos, puede deducir las propiedades inherentes al retículo cristalino y que son las propiedades fundamentales del cristal. A través del estudio detallado de los nudos reticulares (puntos del papel vegetal) se puede ver que estos no están dispuestos al azar sino de un modo ordenado, y la relación de los nudos entre si en una determinada dirección (fila reticular) viene definida por un vector de traslación, y todo ello nos conduce a la idea de que el cristal es un medio PERIÓDICO, es decir que las partículas que lo forman se repiten a intervalos regulares. Esta es la propiedad más importante del cristal, ya que en los líquidos y los gases esto no es posible, y el resto de las propiedades que comentamos a continuación derivan de ésta.

Continuando con el ejercicio de estudiar la distribución de puntos, podemos ver que si tomamos un nudo reticular como punto de referencia y trazamos vectores que unan dicho punto con los más próximos a su alrededor, todos estos vectores son distintos. Por tanto el cristal es ANISÓTROPO en cuanto a la distribución y magnitud de estos vectores ya que no son iguales. Ello se traduce en la práctica en que los cristales son formas geométricas de caras planas, ya que si el crecimiento del cristal fuese igual en todas las direcciones del espacio, los cristales serían esferas y esto no es así.

Profundizando un poco más en la observación de los puntos, vemos que existen operaciones de simetría que nos permiten relacionar los puntos entre sí. Así podemos definir traslaciones, rotaciones, reflexiones e inversiones que ponemos de manifiesto mediante la aplicación de los elementos de simetría tales como: vector traslación, eje de rotación, plano de reflexión y centro de inversión. De este modo según sea el patrón de distribución de estos nudos puede aparecer la simetría binaria, ternaria, cuaternaria, etc. Así se pone de manifiesto que el retículo es SIMÉTRICO ya que la relación entre los nudos viene determinada por operaciones de simetría.

Finalmente en este análisis podemos observar que si nos desplazamos en una dirección determinada (por ejemplo siguiendo una fila reticular), cada nudo presenta a su alrededor la misma distribución de puntos. Esto constituye la última de las propiedades inherente al retículo y que llamamos HOMOGENEIDAD cristalina. Es importante destacar que todas las propiedades fundamentales del cristal, las hemos deducido del modelo virtual o ideal del cristal, es decir el retículo cristalino. También es muy importante el uso del papel vegetal, ya que de este modo al separar físicamente el papel del dibujo simétrico visualizamos para el alumno la dualidad de los elementos que constituyen el cristal, de una parte los ideales que permiten estudiar y clasificar los diversos tipos de cristales y de la otra los elementos reales que en un cristal son los átomos, iones o moléculas.

Para completar el estudio del cristal, se recomienda la construcción de algún modelo sencillo de estructura cristalina con la finalidad de introducir al alumno en el espacio tridimensional. Puede ser útil como ejemplo la estructura del NaCl en la cual se pueden comentar distintos aspectos tales como: contenido de la celda fundamental, relación estequiométrica entre los componentes de dicha celda (Na i Cl), relación entre el volumen de la celda y el espacio ocupado por las partículas integrantes del cristal, cálculo de la densidad del compuesto y explicación de alguna propiedad física con ayuda del modelo, por ejemplo la exfoliación. El uso de este modelo permite introducir al alumno en el mundo de la física-química y de esta manera también se pone de manifiesto la interdisciplinariedad de la Cristalografía. Otro ejercicio que nos permite facilitar la comprensión del cristal a nivel tridimensional, es la utilización de los modelos de madera, cartulina o plástico que reproducen las formas poliédricas de los cristales, con el objetivo de que los alumnos aprendan a descubrir los elementos de simetría en el espacio. Nunca debe realizarse este ejercicio con el fin de aprender de memoria los nombres de las formas cristalinas. Los objetivos que conseguimos con estos ejercicios son:

- Deducir el modelo virtual del cristal, o sea el retículo cristalino.
- Deducir las propiedades del cristal.
- Comprender el cristal desde el nivel bidimensional al tridimensional.
- El carácter interdisciplinar de la Cristalografía.

¿Cómo crecen los cristales?

Las condiciones para que un cristal se pueda formar de la manera más perfecta posible son: espacio, tiempo y reposo. Es difícil que en la naturaleza se den las tres condiciones al mismo tiempo y por tanto los cristales que encontramos son imperfectos. Si queremos conseguir buenos ejemplares de cristales, lo mejor es reproducirlos en el laboratorio siguiendo un método análogo al que se produce en la corteza terrestre. De este modo se pueden controlar los fac-

tores que intervienen en el crecimiento cristalino y al final se obtiene un producto de calidad apto para su uso en la industria. El crecimiento de los cristales en el laboratorio es una práctica muy interesante porque acerca al alumno a una realidad sin la cual muchos de los avances tecnológicos que hoy conocemos no serían posibles. Gracias a los cristales sintéticos, la industria óptica y electrónica ha podido dar un paso de gigante en la segunda mitad del siglo XX.

De los diversos métodos para obtener cristales, recomendamos aquellos en que la obtención se realiza a partir de una solución acuosa, ello implica utilizar sustancias solubles en agua y por tanto nos impide tener una visión más completa del crecimiento cristalino en general, pero tiene la ventaja de la sencillez y facilidad de manejo por parte de los alumnos, aspecto que no debe olvidarse en los centros de enseñanza. Al empezar las actividades es conveniente introducir o repasar con los alumnos los conceptos de solución no saturada, saturada y sobresaturada, así como el concepto de producto de solubilidad.

En el primer método el recipiente cristizador está abierto y el proceso tiene lugar por evaporación del líquido, así la disminución continua del volumen de la solución provoca que el exceso de sólido vaya precipitando sobre el germen cristalino que es el pequeño cristal a partir del cual se forma uno de mayor tamaño. El inconveniente de este método es que debemos mantener alta la temperatura, y una superficie muy grande para favorecer el proceso de evaporación. Esto aumenta el riesgo de entrada de impurezas y disminuye la posibilidad de obtener buenos cristales. El método es apto para sustancias cuyo producto de solubilidad varía muy poco con la temperatura. En el segundo método la solución saturada se calienta al "baño maría" para poder añadir más soluto, ya que en general en la mayoría de sustancias el producto de solubilidad aumenta con la temperatura. Cuando la solución está sobresaturada a una temperatura determinada, se cuelga el germen cristalino y se deja enfriar lentamente. Dicho método es más rápido, permite un control más eficaz y en general los resultados obtenidos son muy buenos. En el libro de Holden, A. et al. (1960) podemos encontrar más detalles acerca de estos y otros métodos de crecimiento, así como ejemplos de sustancias con las cuales podemos trabajar. Este libro es un clásico en el campo del crecimiento cristalino y está dirigido especialmente a los estudiantes de la escuela secundaria. A pesar de su antigüedad sigue siendo válido. En la primera parte del libro hay una introducción a la Cristalografía que resulta también muy útil. Otro libro muy parecido es el de Wood, E. (1972) que fue fruto de un encargo de la I.U.Cr. (International Union of Crystallography), y es también muy interesante. Este último lo podemos descargar de internet en la siguiente página web: <http://www.iucr.ac.uk/>.

Una de las sustancias que resulta muy práctica para ejercicios de crecimiento cristalino es el salol (fenil-salicilato). Este producto se ha utilizado para el tratamiento de disfunciones intestinales y se pue-

de comprar en las farmacias. Su punto de fusión es muy bajo (43° C) y es suficiente la llama de un mechero para fundirla. También es soluble en alcohol y ello nos permite obtener cristales a partir de una solución. Así pues con la misma sustancia es posible obtener los cristales utilizando dos procedimientos distintos. El material para realizar estas prácticas de crecimiento cristalino es sencillo y económico. Otro aspecto interesante de dichas prácticas es la posibilidad de realizar el trabajo en equipo, debido a que dichas experiencias se desarrollan a lo largo de varios días. De este modo se puede comparar el trabajo de varios equipos, realizando una valoración crítica de los resultados obtenidos.

Para terminar este bloque y como práctica complementaria se sugiere la preparación de una colección de materiales dividida en dos partes. En la primera se prepara un conjunto de ejemplares de una misma sustancia cristalina pero con distinto grado de desarrollo. Se recomienda utilizar los siguientes ejemplares: un romboedro de espato de Islandia (calcita transparente e incolora), un romboedro de calcita translúcido, una drusa de cristales de calcita, un trozo de mármol blanco y un fragmento de roca calcárea de grano fino. Estos ejemplares muestran al alumno la variabilidad en el grado de desarrollo que puede presentar una misma sustancia. En la segunda parte se muestra un conjunto de cristales de la misma forma y bien desarrollados. Se recomienda utilizar cristales de cuarzo en sus distintas variedades: cristal de roca (cuarzo transparente e incoloro), cuarzo lechoso, cuarzo amatista, cuarzo citrino y jacinto de Compostela. Todos poseen la misma forma, no obstante el interior del cristal presenta variaciones de color y de grado de transparencia. Ello nos permite introducir la idea del cristal real con sus imperfecciones. Los contenidos que se trabajan son los siguientes:

- De hechos y conceptos: el medio cristalino, la problemática de la formación y el crecimiento de los cristales, el cristal real.
- De procedimiento: habilidades prácticas y técnicas, procesos cognoscitivos generales (observar, emitir hipótesis, etc.), estrategias de investigación (identificar y controlar variables, repetir medidas, etc.), habilidades de comunicación (seleccionar información relevante y saberla comunicar).
- De actitudes: conseguir una actitud más positiva frente al estudio de los cristales, ya que de entrada es un tema árido y poco conocido que provoca rechazo.

¿Cómo reaccionan los cristales frente a la luz?

En el tercer apartado introducimos al alumno en el conocimiento de las propiedades ópticas de los cristales. Dichas propiedades son de gran utilidad para el geólogo ya que le permiten identificar los minerales, así como determinar las relaciones entre los mismos en una roca. Todo ello con ayuda del microscopio petrográfico. No se trata de realizar un curso exhaustivo, sino de hacer hincapié en aquellas

propiedades fundamentales. El microscopio petrográfico es caro y por esta razón muchos centros docentes no lo poseen. Como alternativa se sugiere utilizar el polariscopio.

El polariscopio es un equipo sencillo que permite reproducir con la misma precisión que el microscopio petrográfico los fenómenos ópticos que se producen en los cristales. Consiste básicamente en dos filtros polarizadores (como los utilizados en fotografía para eliminar los reflejos), los cuales se montan en un soporte vertical de modo que queden superpuestos uno encima del otro, dejando entre ellos espacio suficiente para colocar las preparaciones. En la parte inferior se coloca una bombilla de bajo voltaje (10 V) conectada directamente a la red y que constituye el sistema de iluminación. La construcción del equipo es muy sencilla y viene detallada en el trabajo de Correig, T.M. et al. (1988). En este equipo tenemos los elementos esenciales que caracterizan el microscopio petrográfico, esto es el polarizador y el analizador y lo único que falta son los elementos ópticos que sirven para aumentar la imagen. Para evitar este inconveniente se utilizan unas preparaciones especiales que están descritas en el trabajo que se ha citado anteriormente. En total son quince preparaciones descritas en orden creciente de complejidad, para facilitar la comprensión por parte del alumno de los fenómenos ópticos que se producen. Cuando utilizamos el polariscopio trabajamos con un modelo simplificado de microscopio petrográfico. Un libro interesante como introducción a las propiedades ópticas del cristal, es el de Wood, E. (1968). Los conceptos que se trabajan son:

- Casi todos los cristales son ópticamente anisótropos, excepto los cristales de la simetría cúbica, y por ello presentan doble refracción o birrefringencia.

- Esta birrefringencia se pone de manifiesto con los cristales de calcita (CaCO_3) en que el fenómeno es muy exagerado y puede verse a simple vista a través de la doble imagen. La generalización de este fenómeno es que la luz al pasar a través de los cristales queda polarizada. De hecho los cristales se pueden utilizar como polarizadores, basta recordar las antiguas pinzas de turmalina o la calcita para fabricar el prisma de Nicol.

- Al observar un cristal a través de polarizadores cruzados vemos un color, llamado color de interferencia. Al girar el cristal en una vuelta completa de 360° , vemos cuatro posiciones de extinción (no pasa luz) y cuatro posiciones de iluminación en las que se ve el color de interferencia.

- El color de interferencia depende básicamente de tres factores: a) el grosor de la lámina cristalina, b) la birrefringencia del cristal, c) la situación de las direcciones de vibración del cristal en relación a las direcciones de vibración de los polarizadores.

OTRAS ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Se pueden proponer al alumno otras actividades fuera del aula, para desarrollar su capacidad de ob-

servación y al mismo tiempo mostrar el carácter universal del estado cristalino. Los podemos agrupar en cuatro apartados:

- Los cristales en un entorno inmediato: se trata de pedir a los alumnos que realicen un estudio, para ver que tipo de materiales cristalinos observan en su casa. Hay muchos materiales que son cristalinos y sin embargo los estudiantes no pueden observarlos ya que no poseen las herramientas para poner de manifiesto la cristalinidad, por tanto se trata de que se fijen en aquellos que si presentan de un modo claro este carácter cristalino. Normalmente suele ser la cocina donde se pueden encontrar muchos de estos materiales (sal, azúcar, marmol, etc.).

- Los cristales en un entorno próximo: se trata de organizar un recorrido por la ciudad en donde viven los alumnos, y que hagan una lista de todos aquellos materiales que les parece que son cristalinos. En este caso, en los monumentos públicos, en el mobiliario urbano y en algunas viviendas es donde con mayor frecuencia podrán ver estos materiales. Es conveniente que el profesor haya realizado previamente el itinerario anotando todos aquellos aspectos que son interesantes.

- Los cristales en el museo: si se dispone de un museo de mineralogía, se recomienda la visita con los alumnos, ya que la observación de ejemplares de gran tamaño y bien desarrollados permite realizar una serie de observaciones en relación a la morfología cristalina. Es conveniente recordar a los alumnos que estas colecciones son fruto del trabajo de muchos años de búsqueda y en aquellos lugares de la corteza terrestre en donde se pueden encontrar estos ejemplares extraordinarios.

- Los cristales en el campo: se puede preparar un itinerario geológico en el que destaquen los elementos cristalinos a la vista (algunas geodas con cristales, cristales de yeso, de calcita, de pirita, etc.). de este modo el estudiante puede apreciar las diversas maneras de presentarse los cristales.

CONCLUSIONES

Tal como se desprende de la introducción y de los ejercicios y prácticas de laboratorio que se proponen, se trata de abrir las puertas al conocimiento del estado sólido, una parte muy importante del cual es el objetivo del geólogo al estudiar los minerales y las rocas.

Se da una visión completa de lo que es un cristal y se justifican sus propiedades a partir del modelo virtual de referencia. Este enfoque es mucho más completo que el simple estudio de las formas cristalinas. Ello no invalida el estudio de dichas formas, como método para la mejor comprensión espacial del alumno, pero nunca como un objetivo en si mismo.

Teniendo en cuenta la reforma que se ha realizado en la enseñanza secundaria obligatoria, creemos que este cambio de orientación tiene todavía mayor sentido, ya que permite la interrelación con otras

materias como la Física y la Química dando una visión más global y menos compartimentada.

Las prácticas de laboratorio permiten que el alumno participe en un trabajo de grupo, lo cual le introduce en la problemática que plantea la investigación. Este es también un aspecto muy importante en la formación de los alumnos. Finalmente dicho enfoque favorece un proyecto de ciencia integrada, con una visión amplia y una carga conceptual clara y bien delimitada en detrimento de conocimientos parciales.

BIBLIOGRAFIA

Amorós, J.L. (1978): *La gran aventura del cristal*. Editorial de la Universidad Complutense. Madrid.

Correig, T.M. y Nogués, J.M. (1988): *Aplicaciones didácticas del polariscopio*. *Henares Rev. Geol.*, 2, 355-360.

Coxeter, H.S.M. et al (1986): *M.C.Escher Art and Science*. Elsevier Science Publishers. Amsterdam.

Hammond, C. (1990): *Introduction to Crystallography*. Oxford University Press. Royal Microscopical Society.

Hargittai, I. and Hargittai, M. (1986): *Symmetry through the eyes of a chemist*. V.C.H. Verlagsgesellschaft. Germany.

Holden, A. and Singer, P. (1960): *Crystals and crystal growing*. Anchor Books. New York.

Mac Gillavry, C.H. (1965): *Symmetry aspects of M.C. Escher's periodic drawings*. University of Amsterdam. Published for International Union of Crystallography. Utrecht.

Weyl, H. (1975): *La simetría*. Princeton University Press. Ediciones de Promoción Cultural S.A. Barcelona.

Windle, A. (1977): *A first course in Crystallography*. Bell and Sons Ltd. Edinburgh.

Wood, E. (1968): *Cristales y luz*. Editorial Reverté Mexicana. México

Wood, E. (1972): *Cristals: a handbook for school teachers*. Commission on Crystallographic Teaching. International Union of Crystallography. ■