

Cristales - Un Manual para Profesores de Enseñanza Primaria y Secundaria

Elizabeth A. Wood, 1972

(Traducido del original inglés por Juan F. Van der Maelen Uría, Carmen Álvarez-Rúa, Javier Borge y Santiago García-Granda, Enero 2001)

Escrito para la Comisión de Enseñanza de la Cristalografía de la Unión Internacional de Cristalografía.

INTRODUCCIÓN

A los maestros y profesores de jóvenes estudiantes donde quiera que se encuentren:

Muchos maestros y profesores se aperciben que los estudiantes se interesan por los cristales. El profesor tiene buenas razones para impulsar este interés. Los niños pueden llevar a cabo experimentos sencillos con cristales y, de esta forma, tener la sensación de estar haciendo ciencia ellos mismos, de adquirir la experiencia de observar que algo ocurre en sus propios experimentos. Los cristales son objeto de interés para químicos, físicos, geólogos, biólogos y matemáticos. El estudio de los cristales supone tomar parte en todas y cada una de estas disciplinas, así como darse cuenta de que la Naturaleza no está separada en química, física, biología y geología.

La mayoría de los maestros y profesores actuales no recibieron enseñanzas sobre Cristalografía cuando eran ellos los estudiantes en la escuela y en el instituto. El propósito de este manual es proporcionarles una cierta base sobre el conocimiento de los cristales de manera que puedan disfrutar trabajando con jóvenes estudiantes interesados en esta materia. No es este un curso sistemático sobre Cristalografía, ya que no sería lo más adecuado al caso. Aquellos estudiantes que deseen profundizar en esta ciencia tendrán oportunidad de hacerlo en la Universidad. Este texto no es más que un manual para disfrutar aprendiendo.

En el presente texto se ha intentado evitar en lo posible la terminología técnica, no sólo para hacerlo más sencillo, sino, fundamentalmente, para evitar caer en la trampa de sustituir el **pensar** sobre lo que está ocurriendo por **aprender nombres**. La inmensa mayoría de los libros de Cristalografía hace énfasis en la importancia de la simetría a la hora de clasificar los cristales. Sin embargo, una buena parte de los cristales que los jóvenes estudiantes pueden llegar a obtener, o encontrar en la naturaleza, tienen formas que no muestran una simetría perfecta, debido a que las condiciones de cristalización no han sido las mismas alrededor del cristal. Son necesarias una imaginación y una experiencia ya maduras, obtenidas después de haberse encontrado con cristales perfectamente simétricos, para imaginarse la forma que un cristal habría adoptado si las condiciones de cristalización hubieran sido uniformes. Lo que aquí se busca es establecer una base firme para un posterior estudio de la Cristalografía mediante un decidido impulso a la observación y a la experimentación. Después de un cierto periodo de tiempo, las observaciones de los estudiantes probablemente les lleven a conclusiones tales como las siguientes:

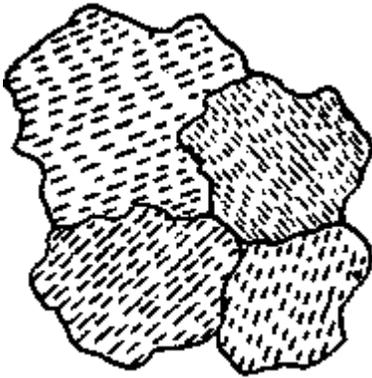
1. Bajo condiciones adecuadas, algunas clases de materiales sólidos se pueden obtener en formas que llamamos **cristales**.
2. Los cristales crecen (se hacen más grandes) mediante la adición de más capas de materia sólida alrededor de sus caras externas.
3. Los cristales se forman a partir de una disolución cuando se evapora el disolvente. También se forman a partir de un fundido cuando se enfría el líquido, y a partir de un vapor invisible y cálido cuando éste entra en contacto con una superficie más fría.
4. Los cristales de sustancias diferentes tienen formas diferentes.
5. Los cristales de sustancias diferentes tienen propiedades diferentes; esto es, algunos tienen color, otros no; algunos crecen fácilmente, otros no; algunos son exfoliables (una propiedad que discutiremos más adelante), otros no; algunos aparecen iluminados entre polarizadores cruzados (véase el subapartado III-D), otros no.
6. (Para los estudiantes mayores) Debe haber algún tipo de orden oculto en la manera en que un cristal se forma, el cual es responsable de sus caras planas y de su forma característica, así como de la manera en que le afecta la luz polarizada. Este ordenamiento ha de ser diferente para sustancias diferentes.

Si sus estudiantes han llegado a convencerse de estas conclusiones a partir de sus propias observaciones, entonces habrán adquirido una sólida base en la ciencia de la Cristalografía.

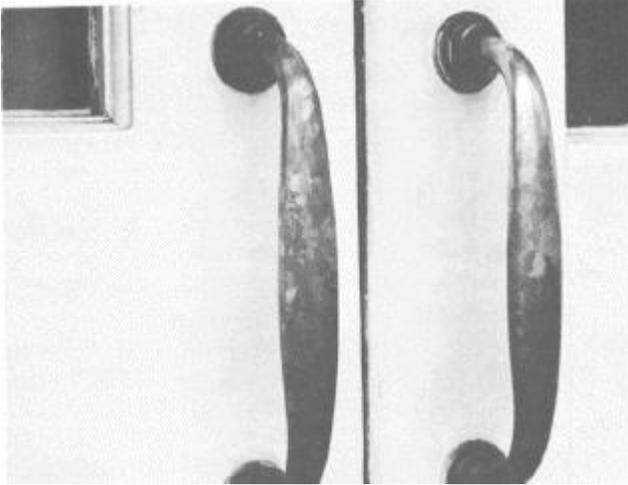
* * *

Un cristal de una determinada sustancia o material tiene caras planas que presentan siempre los mismos ángulos con sus vecinas, así como todas las otras propiedades regulares, debido a que está formado por átomos, iones o moléculas dispuestas de una manera muy ordenada. Este ordenamiento estructural se encuentra en casi toda la materia sólida, aunque unas

sustancias muestran una disposición más ordenada que otras. Incluso en la madera las moléculas están dispuestas en orden a lo largo de las fibras, aunque no existe mucho orden al pasar de una fibra a la siguiente. Una sustancia formada a partir de cristales se denomina cristalina. A veces se utiliza la palabra **policristalina** para designar a una sustancia formada por muchos cristales individuales. En un monocristal (un cristal individual), el orden de las filas de átomos no se interrumpe y no cambia de dirección. Cuando dos cristales crecen juntos, la separación entre ellos marca el lugar donde la disposición ordenada de uno forma un ángulo con la disposición ordenada del otro. El diagrama de la figura representa de forma somera una sección a través de cuatro cristales con tales divisiones. Las líneas continuas representan separaciones entre cristales (llamadas a veces estrías). Las líneas de puntos representan capas de átomos, iones o moléculas.



Muchas sustancias que nos resultan familiares están hechas de cristales muy ordenados que no muestran sus caras brillantes porque los cristales vecinos han crecido junto a ellos formando divisiones irregulares. Prácticamente todas las rocas están formadas a partir de cristales y con frecuencia es posible distinguir a simple vista los diferentes cristales que forman una roca. Los objetos metálicos están hechos de cristales interpenetrados. En ocasiones es posible ver sus divisiones, como por ejemplo en el recubrimiento de cinc del hierro galvanizado que se usa habitualmente en bidones, bombonas y contenedores de basura. A veces un picaporte de latón deja ver las separaciones entre los cristales que lo componen.



Una sustancia sólida en la cual los átomos, iones o moléculas no están dispuestos en filas ordenadas se denomina un vidrio. El vidrio de las ventanas es un ejemplo típico. La roca volcánica, así como parte de las cenizas volcánicas, es también una sustancia vidriosa, no cristalina. Existe un tipo particular de caramelo, muy quebradizo, hecho habitualmente con nueces, que es también vidrioso. Se fabrica enfriando muy rápidamente el azúcar fundido, de forma que los cristales no tengan tiempo de crecer debido que el fluido se hace tan rígido que impide a las moléculas moverse libremente y ocupar sus posiciones en el cristal. Este procedimiento sugiere que otros vidrios pueden también formarse por enfriamiento rápido. Así ocurre en el caso de las rocas volcánicas y en algunos vidrios industriales, aunque los artesanos del vidrio han aprendido a lo largo de los siglos a producir mezclas que se pueden enfriar a prácticamente cualquier velocidad sin cristalizar. En algunos vidrios muy antiguos, fabricados antes de que este arte estuviera bien desarrollado, los cristales ya han empezado a formarse debido a que, a lo largo de los años, los átomos han ido migrando lentamente hacia posiciones ordenadas, dirigidos por sus atracciones mutuas. Desde una perspectiva geológica, no existen rocas volcánicas muy antiguas. A lo largo de cientos de miles de años los átomos han tenido tiempo de juntarse para formar cristales.

La gente joven aprende mejor «haciendo» que mediante explicaciones teóricas. La mejor forma que tiene un niño de aprender algo sobre los cristales es mediante la experiencia propia, no escuchando a alguien contarle experiencias ajenas. Debemos dejarle observar, reflexionar y finalmente formular preguntas. Es entonces cuando se le puede ayudar a buscar las respuestas. Ni siquiera debemos tratar de definir la palabra **cristal** hasta que no hayamos adquirido alguna experiencia con cristales. Por otra parte es esencial que el profesor lleve a cabo estos experimentos por sí mismo, de manera que pueda compartir sus descubrimientos con sus alumnos.

El resto del presente manual está escrito como si fuera para los estudiantes. Si enseña algo que usted ya sabe, recuerde que ha sido escrito para todo tipo de escuelas, colegios e institutos a lo largo de todo el mundo.

MATERIAL Y PRODUCTOS

A. Esencial

Productos	Material
Sal común (cloruro sódico, NaCl)	Taza, vaso u otro recipiente similar
Azúcar (sacarosa, C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁)	Tacita de café o té
Agua	Cucharilla de café
	Hilo o cuerda delgada

B. Conveniente

Productos	Material
Bórax (Na ₂ B ₄ O ₇ ·7H ₂ O)	Lupa
Alumbre (amónico, NH ₄ Al(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O, o potásico, KAl(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O)	Pinzas de depilar o fórceps
Sulfato de cobre (vitriolo azul, CuSO ₄ ·5H ₂ O)	Portaobjetos de vidrio (se puede usar el fondo de un vaso dado la vuelta)
Epsomita (sal de Epsom, MgSO ₄ ·7H ₂ O)	Vela o cerillas
Salol (salicilato de fenilo, HOC ₆ H ₄ COOC ₆ H ₅)	Fuente de calor para hervir agua
Bismuto (Bi)	Congelador para temperaturas inferiores a 0° C
Naftaleno (bolas de naftalina, C ₁₀ H ₈)	Dos filtros polarizadores, tipo Polaroid

CRISTALES EN EL AULA Y EN CASA

A. Crecimiento de cristales a partir de disoluciones

1. Sal común (cloruro sódico, NaCl) en agua

Comenzaremos con la sal común porque todo el mundo la tiene a mano. Mientras el experimento con la sal común está en marcha se pueden ir recopilando los productos para los restantes experimentos.

a. Crecimiento de los cristales y observación de su crecimiento

Introduzca tres cucharaditas de sal en una taza con un tercio de su contenido lleno de agua. Agite bien. La mayor parte de la sal se disolverá, formando una disolución de sal en agua, pero una pequeña parte quedará sin disolver en el fondo del recipiente y es posible que la disolución aparezca turbia (algunos productores de sal de mesa envuelven los granos de sal en una sustancia insoluble e inocua con el objeto de que los granos no se peguen unos a otros cuando el tiempo es húmedo; se usa el siguiente procedimiento para separar esta sustancia, así como la sal no disuelta, si es que queda alguna, de la disolución). Deje la mezcla en reposo toda la noche. A la mañana siguiente la disolución aparecerá transparente, con un depósito sólido en el fondo. Vierta la disolución en un vaso bajo, o en una taza, teniendo cuidado de no acarrear nada del depósito del fondo (este procedimiento para separar un líquido de un sólido, simplemente vertiendo el líquido, se denomina **decantación**).

En un laboratorio químico, las cantidades vendrían dadas en gramos. Aquí usamos la tacita y la cucharadita como formas de medida familiares a todas las cocinas. Una taza lleva 8 onzas de fluido o, aproximadamente, 236 mililitros. Una cucharadita es casi equivalente a 5 mililitros.

Desprecie el material sólido. Deje reposar la disolución sin tapar durante unos días. Para protegerla del polvo se puede colocar una caja grande volteada sobre ella.

Una determinada cantidad de cualquier **disolvente**, tal como agua, puede disolver sólo una determinada cantidad de una sustancia particular. Cuando tenemos exactamente esa cantidad en la disolución, decimos que tenemos una **disolución saturada** de esa sustancia. Si tenemos menos, entonces la disolución está **insaturada** (o no saturada). En algunos casos las sustancias parecen necesitar un núcleo -una diminuta cantidad de cristales de su misma clase- sobre el que comience la cristalización del sólido a partir de la disolución. En tales casos, si partimos de una disolución saturada y a medida que el disolvente se evapora, puede ocurrir que la disolución se vuelva **sobresaturada**, de forma que contenga en disolución más sustancia disuelta de la que habría si la disolución estuviera en contacto con el sólido cristalino de la sustancia que tenemos disuelta. En tales casos, la adición de la más leve cantidad de **soluto** (la sustancia disuelta) provocará la **precipitación** del exceso del mismo en el fondo del recipiente.

Cuando aparezcan las primeras partículas sólidas en el fondo de su solución salina, examínelas con una lupa. Intente centrarse en una partícula individual y obsérvela crecer de un día para otro. Si el recipiente que contiene la disolución es de vidrio, podrá colocarlo sobre un trozo de papel en el que previamente haya marcado un círculo, de forma que esto le

ayude a localizar la partícula que está observando. (Es posible que se forme una costra blanca en el borde de la disolución, allí donde la evaporación es más rápida. Más adelante discutiremos este punto). También puede utilizar una luz lateral potente como ayuda para sus observaciones.

Las partículas que se van formando de manera gradual a partir de la disolución son cristales de sal. Si puede verlos desde las primeras etapas de su formación observará que parecen cuadrados. Si los observa desde un lateral verá que también parecen cuadrados, o tal vez rectangulares. Con gran precisión, sus lados forman ángulos rectos unos con otros y mantienen esta geometría mientras crecen.

¡Piense un poco sobre esto! A partir de una disolución surgen estas formas sólidas perfectamente modeladas, independientemente de que esté usted evaporando la disolución en España, en Siberia, en África, en América o en Australia, en un submarino o en un avión. Puede estar completamente seguro: el sólido que surge de la disolución salina forma pequeños cristallitos con brillantes caras pulidas que forman ángulos rectos unas con otras. ¿Cómo supone usted que ocurre esto?

Utilice unas pinzas, si dispone de unas, para coger uno de los cristallitos y sacarlo del recipiente. Séquelo a continuación y guárdelo en una caja aparte. No modificará su forma, a menos que el tiempo sea *muy* húmedo. En condiciones de extrema humedad, el agua del aire puede introducirse en el cristal y disolverlo. Los cristales que quedan en el recipiente, sin embargo, continúan creciendo porque a medida que el agua se evapora, la sal que usted disolvió inicialmente abandona la disolución y se va añadiendo a los cristallitos del fondo, haciéndolos cada vez mayores. Las capas se añaden unas sobre otras, igual que las capas de pintura en una caja, de manera que cada cara plana progresa hacia fuera, manteniendo ángulos exactamente rectos con sus vecinas.

¿Qué ocurre cuando se encuentran dos cristales que están creciendo uno junto al otro? Observe cuidadosamente y lo verá. En la mayoría de los casos crecen juntos, de forma irregular, mientras que sus bellas caras planas continúan creciendo hacia fuera en aquellos lados que se mantienen libres, sin contacto con otros. Cuando hayan crecido juntos durante un tiempo, recójalos con las pinzas. ¿Podría decir dónde empieza uno de los cristales y acaba el otro? En algunos casos es fácil, en otros no tanto. ¿Puede separarlos?

A medida que su disolución se va evaporando, más y más cristales crecerán juntos en el fondo del recipiente. La costra blanca lateral está formada por cristales como esos que han crecido juntos, aunque en este caso son pequeñísimos. Donde la evaporación era muy rápida, muchos cristales comenzaron a crecer al mismo tiempo y en seguida encontraron cristales vecinos, de forma que ninguno pudo hacerse grande.

En los pequeños espacios existentes entre algunos de estos cristales, así como en el diminuto espacio existente entre esta costra y el recipiente, tiene lugar una acción capilar que provoca que la disolución se dirija hacia los lados en la parte superior del recipiente, donde se evapora rápidamente y se forma más costra blanca.

¿Cómo podría usted hacer crecer un cristal mayor que los que ya posee pero que mantenga su forma perfecta porque no haya entrado en contacto con un cristal vecino? Intente responder a esta pregunta antes de seguir leyendo.

Aquí van dos métodos que puede probar:

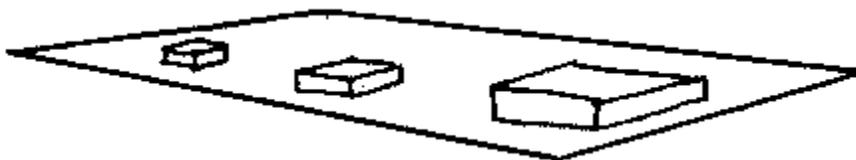
1. Dado que la rápida evaporación provocó que muchos cristales comenzaran a crecer al mismo tiempo, muy próximos unos a otros, tal vez podríamos conseguir que crecieran menos cristales, alejados unos de otros, evitando la evaporación rápida. Podríamos colocar una tapa sobre el recipiente; no una tapa muy rígida, que podría impedir totalmente la evaporación, sino algo más efectivo que la simple caja volteada. Un trozo de tela o de papel colocado sobre el recipiente y sujeto a éste mediante una goma elástica permitiría que la evaporación tuviera lugar lentamente.

2. Podríamos separar un buen cristalito de la disolución, transferir la disolución saturada a otro recipiente y colocar el cristalito extraído en el fondo del nuevo recipiente. Es posible que entonces éste sea el único que crezca. Un cristal utilizado de esta forma se denomina un cristal semilla. (Conviene recordar que cualquier disolución, sea la que esté adherida al cristal que se extrae de la disolución original, sea la que se encuentra adherida a las pinzas o a sus dedos, es una disolución saturada. A medida que se evapora, crecen rápidamente en ella pequeños cristalitos que forman semillas adicionales, que compiten por material con el cristal que usted desea hacer crecer. Por esta razón, en cuanto se separe el cristal de la disolución original es necesario secarlo en seguida utilizando un pañuelo limpio, de tela o de papel, así como lavar y secar las pinzas y sus dedos).

Cuando un cristal crece sobre una superficie, la parte del cristal que está junto a ella está privada de material adicional y no puede desarrollarse. Para permitir que un cristal desarrolle todas sus caras, debemos colocarlo colgando de un hilo en el interior de la disolución. Enlazar un hilo alrededor de un cristal diminuto no es tarea fácil. Un procedimiento alternativo consiste en pegar el hilo al cristal utilizando una mínima cantidad del tipo de cola que se utiliza para reparar platos. Déjela secar por la noche antes de colgar el cristal dentro de la disolución saturada.

b. Qué hacer con los cristales

1. Se puede construir un instructivo muestrario extrayendo de la disolución (mediante las pinzas) cristales en varias etapas de su crecimiento y fijándolos sobre una cartulina o un papel (mejor negro o de color oscuro) con una gota de pegamento o cola. La secuencia, de menor a mayor tamaño, mostrará cómo los cristales mantienen la misma forma a medida que crecen.



Trate de evitar la elección de piezas formadas por más de un cristal, dado que entonces la observación de las formas y la comparación de los tamaños es más difícil.



Dos cristales

2. Rómpalos. Golpee suavemente un cristal con un martillo pequeño, con el mango de un cuchillo o de un destornillador, o con el cuenco de una cuchara. Se romperá a lo largo de superficies planas paralelas a las caras planas que forman la superficie externa.



Éste se puede romper en... éstos



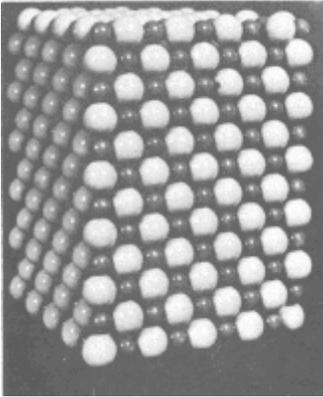
Éstos se pueden romper en trozos todavía más pequeños, aún con superficies planas (que brillan con fuerza bajo una luz intensa) paralelas a las originales. Se pueden romper las veces que uno quiera: las caras seguirán estando paralelas unas a otras.

Esta tendencia de un cristal a romperse en trozos a lo largo de superficies planas de una determinada orientación se conoce con el nombre de **exfoliabilidad**. No todos los cristales tienen esta propiedad. Algunos sencillamente se quiebran como un trozo de vidrio.

En la sal común, los planos de corte son paralelos a las caras de crecimiento, las caras que forman las superficies externas mientras crece el cristal. En cristales de algunas otras sustancias, los planos de corte no son paralelos a las caras de crecimiento.

¿Qué es lo que hace que los cristales de cloruro de sodio crezcan en formas rectangulares y se separen a lo largo de planos que forman ángulos rectos unos con otros? Los cristalógrafos se hicieron estas preguntas y especularon sobre las respuestas durante muchos años. No fue hasta entrado el siglo XX que el descubrimiento de la difracción de rayos X permitió entender la disposición de los átomos, los iones y las moléculas en los cristales y explicar la forma en que crecen y pueden ser separados, así como otras muchas propiedades. Los rayos X no proyectan sombras de los átomos, tal como hacen con los huesos del esqueleto. Los átomos son demasiado pequeños para que pueda ser así. Los rayos X son dispersados por los átomos y, mediante el estudio de las direcciones en que son dispersados, los cristalógrafos descubren la forma en que los átomos están colocados en los cristales.

En el cloruro de sodio, la sal de mesa común, se encuentra que los iones de sodio y cloro se disponen de forma alterna, tal como se aprecia en la figura.



Se necesitan 10^{17} bloques como éste para formar un solo grano de sal de forma cúbica con 1 mm de arista (1 mm^3 de sal). Esto es 100 000 000 000 000 000 bloques; es decir, cien mil billones de bloques. Seguramente ya se había usted imaginado una disposición similar para formar cristales rectangulares. Puede que también se hubiera imaginado que tal disposición favorece la separación a lo largo de las capas de iones sodio y cloro.

Cada cristal tiene su propia disposición de átomos, iones o moléculas, que es característica del mismo y es la responsable de la forma en que crece, así como del resto de sus propiedades.

3. Guarde en una caja pequeña, o en un frasco o en un sobre, algunos de los mejores cristales que haya obtenido, de forma que los pueda usar en posteriores experimentos (véanse los experimentos con luz polarizada, subapartado III-D).
4. Coloque un cristal sobre un portaobjetos de vidrio, o sobre alguna otra superficie limpia, y deposite una gota grande de agua sobre él. Obsérvelo con una lupa mientras se disuelve en el agua. Los vértices se redondean rápidamente debido a que poseen tres caras expuestas al disolvente. Las aristas se redondean algo menos rápidamente porque sólo tienen dos caras expuestas. Si se recupera el cristal antes de que se haya disuelto completamente, se seca con un pañuelo limpio, de tela o de papel, y se coloca de nuevo en la disolución salina saturada, ¡comenzará a crecer de nuevo, rellenando los vértices y las aristas y recuperando su forma original!
5. Puede usar cualquiera de sus cristales como cristal semilla con objeto de obtener cristales más grandes a partir de la disolución saturada de la misma sustancia, pero obtendrá mejores resultados si utiliza cristales de pequeño tamaño.
6. Utilice sus cristales como producto de partida para comenzar desde el principio. Ahora son sal pura, sin ningún recubrimiento insoluble.

c. ¿Qué se ha aprendido en esta sección?

Una lección importante que se ha de aprender en esta sección es que un cristal de sal común crece añadiendo sal sobre sí mismo a partir de la disolución acuosa de sal que lo rodea, y lo hace con caras pulidas y planas que forman ángulos rectos unas con otras, supuesto que su crecimiento no se vea obstaculizado. El hecho de que estos cristales sean exfoliables indica que, **en el interior del cristal**, una determinada dirección no es como cualquier otra. La clase y la disposición de los átomos, iones o moléculas en un cristal determinan su forma y sus otras propiedades.

Para separar un líquido de un sólido se ha utilizado el método de decantación. Para hacer crecer monocristales grandes se ha utilizado el método de siembra mediante cristales semilla.

El hecho de que no puedan crecer cristales de gran tamaño a partir de núcleos espacialmente próximos se ha observado en el crecimiento de la costra blanca en el borde de la disolución, una costra que se expandía a medida que la disolución circulaba a su través por capilaridad.

Se ha observado la forma en que se produce la disolución de un sólido de forma cúbica.

2. Bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) en agua

Aunque la tercera sustancia, azúcar, es más fácil de conseguir que el bórax, colocamos éste en segundo lugar debido a que forma muy rápidamente bellos cristales. El bórax se utiliza como producto de limpieza, para el lavado de la ropa, y se vende en cajas de cartón, exactamente igual que el jabón en polvo y el detergente. Es peligroso si se ingiere.

El bórax es mucho más soluble en agua caliente que en agua fría. Esto no es una regla general para todas las sustancias. La sal común, por ejemplo, es prácticamente igual de soluble en agua fría que en agua caliente.

a. Crecimiento de los cristales y observación de su crecimiento

Añada una cucharadita de bórax a media taza de agua muy caliente, agitando la mezcla hasta que el bórax se haya disuelto completamente. Una vez que haya enfriado, crecerá un gran número de bellos cristalitos.

b. Qué hacer con los cristales

Las actividades sugeridas en relación con el cloruro sódico (sal común) también son válidas para el bórax. Se pueden construir expositores relativos a las etapas del crecimiento similares a los anteriores. También se puede probar su exfoliabilidad. Se puede separar un cristal de la disolución, secarlo, atarle un hilo y usarlo como semilla dejándolo suspendido

en el interior de una disolución saturada. Una disolución que se encuentra en contacto con cristales en crecimiento es, desde luego, una disolución saturada. En caso contrario los cristales se disolverían. En consecuencia, si tal disolución se vierte en un segundo recipiente, a la misma temperatura, depositará bórax sobre una semilla de bórax que se introduzca en ella (habiendo eliminado previamente todos los cristallitos que se forman espontáneamente).

La mejor forma de proceder es colocar la semilla colgando cerca del fondo del recipiente. La razón es la siguiente. La densidad de una disolución saturada de casi cualquier sustancia es mayor que la de una disolución insaturada de la misma sustancia. A medida que el bórax se deposita sobre el cristal, la parte de la disolución de la que proviene se hace menos densa y sube. La disolución saturada, más densa (que pesa más por unidad de volumen), fluye hacia abajo para tomar su lugar y aportar más material al cristal semilla. Si la semilla está próxima a la superficie de la disolución, la zona menos densa, la disolución no saturada rodea la parte superior del cristal y ésta no crece. Por supuesto, exactamente en la superficie de la disolución, donde ésta se encuentra en contacto con el aire, la evaporación genera cristalización. Las semillas con frecuencia se forman aquí, pero únicamente pueden desarrollar una cara y, por tanto, siempre dan lugar a formas distorsionadas.

Compare ahora la forma de los cristales de bórax con los de sal común.

Observe cristales muy pequeños de sal común y de bórax entre polarizadores cruzados (véase el subapartado III-D), utilizando una lupa. El efecto es menos obvio con cristales grandes que tengan caras brillantes o defectos que reflejen la luz.

Entre las partículas invisibles de las que están hechos los cristales de bórax se encuentran las moléculas de agua. Si estos cristales se dejan en un lugar seco y templado durante largo tiempo, algunas de las moléculas de agua escapan al aire. La parte del cristal que ha perdido agua se deshace en forma de polvo. Las pequeñas partículas de polvo dispersan la luz y por ello aparecen blancas. Este proceso de pérdida de agua se denomina **deshidratación**.

c. ¿Qué se ha aprendido en esta sección?

Algunos cristales, tales como los de bórax, crecen con caras que no forman ángulos rectos unas con otras. Los cristales de bórax tienen formas distintas de los de sal común. Asimismo, los cristales de bórax y los de sal común producen efectos distintos bajo la luz, tal como indica su distinta apariencia entre polarizadores cruzados. Se pueden distinguir ambas sustancias a partir de las **propiedades** observadas. Difieren en solubilidad, forma cristalina, exfoliabilidad y apariencia bajo la luz. Está claro, por tanto, que cuando el bórax abandona la disolución para formar los cristales, éstos se construyen de forma diferente a como lo hacen los cristales de sal común a partir de la sal que abandona su disolución.

3. Azúcar (sacarosa, $C_{12}H_{22}O_{11}$) en agua

a. Crecimiento de los cristales y observación de su crecimiento

Es difícil hacer crecer buenos cristales de azúcar. El azúcar en agua forma un líquido muy viscoso (espeso, almibarado) y las moléculas de azúcar no se pueden mover velozmente a través de él con objeto de juntarse con otras moléculas en la disposición ordenada que llamamos cristal.

El secreto del éxito consiste en mantener la disolución lo bastante caliente como para facilitar la movilidad de las moléculas, pero, al mismo tiempo, lo bastante fría como para que no se produzca una rápida evaporación en la superficie que cause la formación de una costra superficial. Con objeto de conseguir ambos resultados, proceda como sigue.

Caliente suavemente una taza de azúcar en media taza de agua, agitando continuamente hasta que se disuelva todo el azúcar y la disolución aparezca clara. Introduzca la disolución en un tarro de los que se usan para guardar mermeladas y jaleas; tape el tarro, pero no enrosque la tapa demasiado. El tarro se debe mantener caliente durante varios días. Se puede dejar, por ejemplo, sobre una estufa de gas (o sobre un horno). El agua que se evapora de la superficie de la disolución condensa en la tapa y vuelve a caer, impidiendo la formación de la costra. Aún así, algo de agua se escapa continuamente, dado que la tapa no está rígidamente enroscada. En un momento dado comenzarán a formarse cristales de una bonita forma, característicos del azúcar de mesa. El crecimiento de los cristales continuará lentamente durante un largo periodo de tiempo.

La disolución de azúcar tiene la interesante propiedad de que hace girar el plano de polarización de la luz polarizada (véase el subapartado III-D). Esta rotación es diferente para los diferentes colores de la luz. Si se coloca el tarro que contiene la disolución de azúcar entre dos polarizadores cruzados y se observa a través de él y de los polarizadores contra una luz blanca, éste aparece coloreado, al contrario de lo que ocurre con la disolución de sal común, que presenta color negro. Si se gira uno cualquiera de los dos polarizadores (en su propio plano, tal como giran las manecillas del reloj), manteniendo quieto el otro, el color cambia.

b. Qué hacer con los cristales

Todas las sugerencias hechas en relación con los cristales de bórax y de sal común son aplicables aquí también. Además, ahora se puede comparar la forma de los cristales de azúcar con la de los de bórax y los de sal.

c. ¿Qué se ha aprendido en esta sección?

Los cristales de azúcar difieren de los de sal, la otra sustancia familiar en nuestra mesa, tanto en la forma como en la facilidad de crecimiento. También difieren en forma y en facilidad de crecimiento de los cristales de bórax. Cuando las moléculas de azúcar abandonan la disolución, éstas se agrupan para formar un cristal de manera diferente a

como lo hacen las partículas constituyentes de los cristales de sal y de bórax. Cada sustancia tiene su propio modo de disponer sus partículas constituyentes a la hora de formar un cristal.

Las partículas que forman un cristal deben poder moverse libremente por la disolución con objeto de juntarse y colocarse ordenadamente. La disolución de azúcar es tan viscosa (espesa, almibarada) que frena este movimiento y, por tanto, los cristales de azúcar son más difíciles de conseguir que los de sal y que los de bórax.

Una disolución acuosa de azúcar, a diferencia de las disoluciones de sal y de las de bórax, hace girar el plano de polarización de la luz polarizada (subapartado III-D).

4. Alumbre [amónico, $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, o potásico, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$] en agua

Es más fácil hacer crecer cristales de alumbre que cristales de sal común, y mucho más fácil que los cristales de azúcar. Tienen caras reflectantes muy brillantes, y los más pequeños despiden chispas de luz de manera muy atractiva. El alumbre en polvo se puede encontrar en la mayoría de las farmacias y boticas. Se utiliza como astringente y para reducir las hemorragias de pequeñas heridas.

a. Crecimiento de los cristales y observación de su crecimiento

Introduzca cuatro cucharaditas de alumbre en polvo en media taza de agua caliente. Después de un cierto tiempo, todo el alumbre se habrá disuelto, dejando una disolución clara.

Coloque sobre el recipiente una tapa ligera, tal como un trozo de papel, con el objeto de mantener la disolución protegida del polvo. A medida que se evapore el agua, irán formándose unos bonitos cristales de alumbre.

Observe los cristales cuidadosamente y compare sus formas con las de los cristales de los otros compuestos estudiados. ¿Son estos cristales más o menos transparentes que los de sal común? Fíjese que el alumbre, como el bórax, contiene agua (H_2O) como parte de la composición del cristal. Puede resultar de interés comparar la apariencia y la facilidad de crecimiento a partir de una disolución acuosa entre aquellos cristales que contienen moléculas de agua en su composición y aquellos que no.

b. Qué hacer con los cristales

1. Prepare un muestrario con la secuencia de crecimiento, como en el caso de la sal común.
2. Rómpalos. Descubrirá que, a diferencia de la sal pero a semejanza del azúcar, el alumbre no es exfoliable.

3. Guarde algunos en una caja o en un sobre, adecuadamente etiquetado, para usarlos en experimentos posteriores.
4. Disuelva parcialmente un cristal de alumbre y vuelva a hacerlo crecer, como en el punto b.4 del experimento con sal.
5. Introduzca, pendiendo de un hilo, un cristal de alumbre, pequeño y con buena forma, en una disolución saturada de la misma sustancia y observe la formación de un bello cristal de gran tamaño.
6. Observe un cristal de alumbre entre polarizadores cruzados (subapartado III-D).

c. ¿Qué se ha aprendido en esta sección?

Los cristales de alumbre se distinguen de los de sal y de los de azúcar en varios aspectos. Crecen más rápidamente y poseen una forma que difiere tanto de unos como de otros. Al igual que los cristales de azúcar, pero a diferencia de los de sal, no son exfoliables sino que se rompen de forma irregular. Como ocurre con los cristales de sal, pero a diferencia de lo que ocurre con el azúcar y con el bórax, aparecen oscuros entre polarizadores cruzados.

5. Sulfato de cobre (vitriolo azul, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) en agua

Probablemente pueda conseguir sulfato de cobre en una botica o en una farmacia. Se utiliza en algunas piscinas para evitar el crecimiento de plantas, pero es venenoso. No se debe permitir que los estudiantes se lo lleven a casa. Lávese las manos cuidadosamente después de manipular sulfato de cobre, bien sea en forma de polvo, en disolución o en forma cristalina (el polvo está también hecho de cristales, en este caso muy pequeños, pero principalmente del sulfato de cobre anhidro; esto es, de sulfato de cobre sin agua formando parte de su composición).

a. Crecimiento de los cristales y observación de su crecimiento

Introduzca cuatro cucharaditas de sulfato de cobre en polvo en media taza de agua caliente y agite hasta que el sólido se haya disuelto. A medida que se evapora la disolución, se irá formando una costra de sulfato de cobre que sube por los lados y puede llegar hasta el borde del recipiente. En este aspecto, el sulfato de cobre es incluso peor que la sal común, de modo que sería conveniente colocar el recipiente sobre un plato.

Cuando la disolución se haya evaporado lo suficiente, comenzarán a crecer brillantes cristales azules. Estudie sus formas y obsérvelos desarrollarse día tras día.

Se puede llevar a cabo un bonito experimento mezclando polvo de alumbre y polvo de sulfato de cobre y disolviendo la mezcla (por ejemplo, dos cucharaditas de cada uno en media taza de agua). El resultado es que los cristales de alumbre crecen tal como lo

hicieron previamente; esto es, incoloros y con su forma característica; asimismo, los cristales de sulfato de cobre crecen como antes lo hicieron, azules brillantes también con su forma característica. Puede que se encuentren y se peguen unos a otros; puede que uno crezca alrededor de otro, pero **no se mezclarán**. La disposición ordenada en los cristales de alumbre no es la misma que la disposición ordenada en los de sulfato de cobre y cada sustancia construye su propio tipo de cristal.

b. Qué hacer con los cristales

RECUERDE QUE EL SULFATO DE COBRE ES VENENOSO. No se debe usar con los estudiantes más jóvenes. A los alumnos mayores se les debe advertir repetidamente que se laven las manos después de manipularlo.

1. Se puede preparar un expositor con cristales de diferentes tamaños, tal como se ha hecho con las otras sustancias.
2. Examine sus formas y compárelas con las de los cristales de alumbre, azúcar, bórax y sal común.
3. Intente dibujar las aristas externas de los cristales que ha obtenido hasta este momento. La acción de dibujar ayuda a la observación.
4. Intente cortarlos (los cristales de sulfato de cobre no son exfoliables).
5. Si se guarda durante algún tiempo en un lugar seco y templado, el sulfato de cobre, al igual que el alumbre y el bórax, se deshidrata.
6. La costra que se deposita en los lados del recipiente consiste principalmente en la forma anhidra del sulfato de cobre. Se puede recoger y disolver, exactamente igual que el polvo original.

c. ¿Qué se ha aprendido en esta sección?

La comparación entre los nuevos cristales y los obtenidos en las secciones precedentes muestra de nuevo que cada sustancia tiene una forma y unas propiedades características, y esta vez ha aparecido una nueva propiedad: el color.

Si se ha intentado la mezcla de alumbre y sulfato de cobre, tendremos la observación adicional de que cada sustancia añade a sus propios cristales aquellas partículas que pertenecen al cristal que se está formando y no acepta otras partículas que puedan estar presentes en la disolución pero que no pertenecen a la estructura del cristal.

6. Epsomita [sal de Epsom, (MgSO₄·7H₂O)] en agua

La epsomita se utiliza como laxante y también para hacer emplastos que se colocan sobre moratones, torceduras (dislocaciones) y picaduras de insectos. Se vende en prácticamente todas las farmacias.

a. Crecimiento de los cristales y observación de su crecimiento

La epsomita es muy soluble en agua. Se pueden disolver unas seis cucharaditas en apenas la cuarta parte de una taza de agua caliente. Agite la disolución durante varios minutos. Si la sal no se disuelve del todo, añada una muy pequeña cantidad de agua y agite hasta que la disolución esté clara.

Los cristales crecen en forma de agujas alargadas, una forma muy distinta de las vistas hasta ahora. Como la sustancia es muy soluble, una sola gota de disolución contiene suficiente material para obtener un buen grupo de cristallitos cuando se evapora el agua. Si la gota se coloca en una superficie no absorbente, como el vidrio, la superficie de la gota se recubre de cristales, obstruyéndose la evaporación. Es preferible colocar la gota sobre una superficie absorbente, tal como cartón o cartulina. La observación con una lupa del pequeño grupo de cristales que resulta es especialmente gratificante.

b. Qué hacer con los cristales

La forma de aguja de los cristallitos de epsomita hace que resulte muy sencillo atarles un hilo. Una fina aguja de epsomita colgada en el interior de una disolución saturada de la misma sal producirá un buen cristal en forma de varilla.

La epsomita se deshidrata más rápidamente que cualquiera de los otros cristales con contenido en agua obtenidos hasta ahora. Los cristales mantendrán su forma, pero la superficie aparecerá como si hubiera sido pintada con pintura blanca mate. Puede raspar el material deshidratado de la superficie y encontrará entonces que por debajo de él permanece el cristal, el cual no ha perdido aún sus moléculas de agua. Se puede usted convencer de que a la sustancia blanca mate de la superficie únicamente le falta el agua para ser el mismo material que forma los cristales originales si disuelve una parte de esa sustancia en un poco de agua y deja que ésta se evapore.

De todos los cristales hidratados que se han hecho crecer en esta serie de experimentos, el alumbre es el que retiene el agua con más fuerza. Sin embargo, todos ellos pierden el agua de hidratación al calor de una cerilla. Coloque un pequeño cristal de cada clase en el portaobjetos de vidrio de un microscopio o en

una pequeña pieza de metal, tal como una lámina de aluminio. Mantenga una cerilla encendida debajo de cada uno de ellos. Muy pronto todos comenzarán a perder su agua de hidratación, la cual hervirá vigorosamente al calor de la llama. Si deja usted de calentar cuando todavía quede bastante agua, se volverá a formar un gran número de pequeños cristales. Sin embargo, si continúa calentando hasta que pare de hervir (esto es, hasta que todo el agua haya sido eliminada) se formará la sustancia deshidratada blanca.

c. ¿Qué se ha aprendido en esta sección?

La epsomita es muy soluble en agua.

Como el bórax, el alumbre y el sulfato de cobre, la epsomita está parcialmente compuesta de agua y puede deshidratarse.

Cuando una sustancia es muy soluble en agua, una simple gota de la disolución saturada contiene una gran cantidad de la misma.

Ahora que ha hecho usted crecer varios tipos de cristales diferentes, puede que le apetezca preparar un muestrario con ellos. Aquí tiene una fotografía de algunos cristales de alumbre obtenidos exactamente como se describe en este manual.



7. ¿Algo más?

Tiene que haber otras cosas que pueda usted disolver en agua. ¿Formarán todas ellas cristales cuando se evapore el agua? No, pero no podrá estar seguro mientras no lo intente. El *hiposulfito* (tiosulfato sódico pentahidratado,

{ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ }, la sustancia que se usa en fotografía como fijador después del revelado, formará buenos cristales a partir de la disolución. Lo mismo ocurrirá con la sal de Rochelle (también llamada sal de Seignette, tartrato de sodio y potasio). Una receta para obtener buenos cristales de la sal de Rochelle, así como algunas sugerencias para experimentar con ellos, se encuentra en el libro *Crystals and Crystal Growing*, de Holden y Singer (véase la lista de lecturas sugeridas al final de este manual).

B. Cristales a partir del fundido (líquido de la misma sustancia que los cristales)

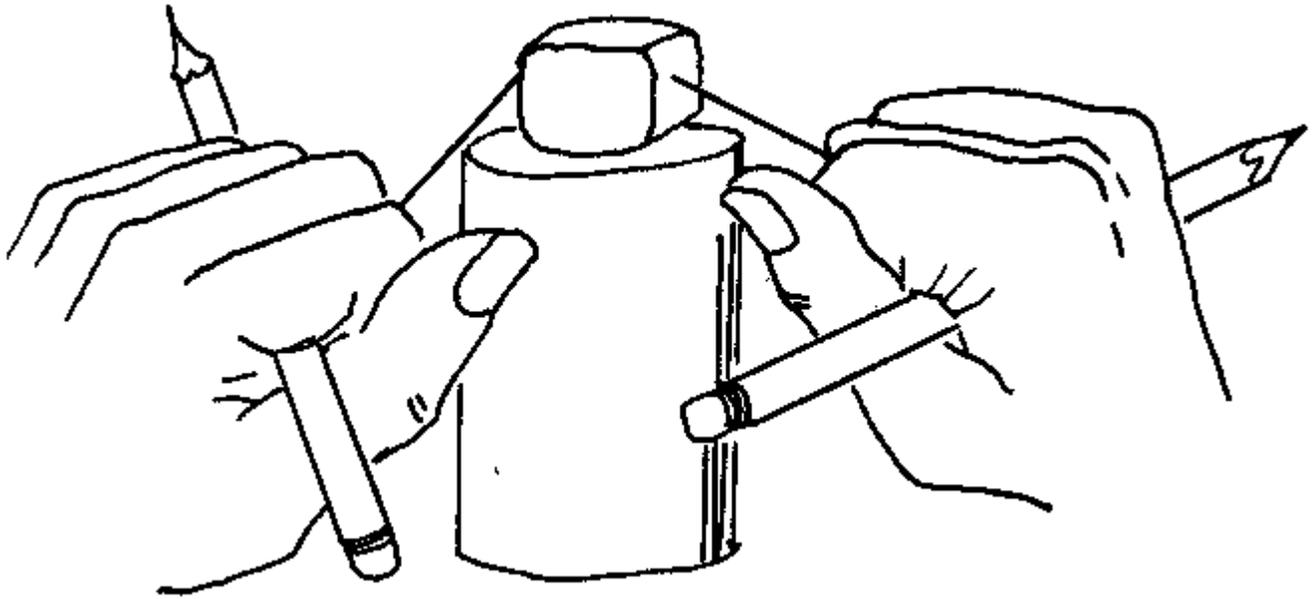
1. Hielo (agua sólida, H_2O)

El hielo es una de las pocas sustancias que cambia de nombre cuando funde. El agua es una sustancia tan común que es útil tener distintos nombres para cada una de las diferentes formas en que se presenta: hielo, nieve, escarcha, rocío, lluvia, vapor de agua, niebla, nube...

El hielo también es una de las pocas sustancias que se encoge cuando funde. Una determinada masa de agua ocupa más volumen como hielo que como agua líquida, una vez que ha fundido. Otra forma de decir lo mismo es ésta: un volumen dado de hielo pesa menos que el mismo volumen de agua líquida. Esto es así porque el hielo es menos denso que el agua líquida. Por esta razón el hielo flota en el agua. Si el agua congela en un recipiente que no la deja expandirse libremente, el recipiente se rompe.

Como el agua líquida ocupa menos volumen que el hielo, se puede transformar hielo en agua haciendo presión sobre aquél. Ésta es una de las razones por las cuales el hielo es tan resbaladizo y se puede patinar sobre él. La presión produce una fina capa de agua entre el patinador y el hielo, la cual actúa como lubricante.

Se puede demostrar el cambio de hielo a agua por aplicación de una presión, y su vuelta a hielo por eliminación de la misma presión, mediante el siguiente experimento. Coloque un cubito de hielo sobre un vaso dado la vuelta. Sujete ambos extremos de un alambre pequeño a sendos lápices. Pase el alambre por la parte superior del cubito de hielo y empuje hacia abajo ambos extremos del mismo, tal como se muestra en el diagrama.



El alambre irá atravesando el hielo de arriba a abajo. El hielo se funde por debajo del alambre, donde está bajo presión, y se recongela por encima del alambre, donde la presión ha cesado.

a. Crecimiento de los cristales y observación de su crecimiento

Una forma de hacer crecer cristales de hielo es colocar una cubetera con un poco de agua en el congelador de una nevera tradicional, o bien al aire libre si la temperatura está claramente por debajo de 0°C . En unas dos horas (si la temperatura es de -10°C) buena parte del agua se habrá transformado en hielo. Algunos de los cristales tendrán una forma delgada y alargada, aunque es posible que hayan cristalizado junto a otros. Extráigalos de la cubetera y examínelos. Una buena forma de localizar la frontera entre cristales vecinos es observarlos entre polarizadores cruzados (véase el punto b, más abajo).

Otra forma de hacer crecer cristales de hielo consiste en colocar una gota de agua sobre el portaobjetos de un microscopio, o sobre cualquier otra superficie plana, como el fondo de un vaso dado la vuelta, e introducirla en el congelador.

b. Qué hacer con los cristales

Examínelos entre polarizadores cruzados, utilizando el montaje sugerido en el subapartado III-D para sujetar los polarizadores.

Si dispone de la pequeña gota de agua congelada sobre el portaobjetos, puede colocar el vidrio de forma horizontal, entre los polarizadores, iluminándolo desde

abajo, y observar los cambios de color que tienen lugar a medida que el cristal funde y se hace más delgado.

Haga girar el portaobjetos en su propio plano, como las manecillas del reloj, entre los polarizadores. Fíjese que los cristales aparecen oscuros en unas posiciones e iluminados en otras. Una zona que tenga el mismo comportamiento a lo largo de toda la rotación pertenece a un único cristal. Entre ella y otra zona que se comporte de manera diferente se encuentra la frontera entre los cristales. Puede que exista una zona que permanezca oscura en todas las posiciones de la rotación. Esta zona tiene su eje óptico alineado exactamente en la dirección en que usted está mirando (en la misma dirección del eje de rotación; véase la referencia 3, Apartado V). Si inclina el portaobjetos ligeramente, esta zona se iluminará.

Si dispone de una placa de hielo de dos o tres milímetros de espesor en la cubetera, tiene la oportunidad de ver algo realmente especial entre los polarizadores cruzados. Con objeto de que éstos no se humedezcan, colóquelos de forma vertical.

Localice una zona amplia de la placa de hielo que permanezca oscura cuando se gire la placa en su propio plano entre los polarizadores cruzados. Manténgala pegada al polarizador frontal y acérquese a mirar tan cerca del polarizador como le sea posible. Observará una cruz negra sobre un fondo gris y, si la placa de hielo es lo bastante gruesa, también verá un anillo amarillo alrededor de la cruz y un anillo rojo rodeando al anterior. Este fenómeno se conoce en Óptica por el nombre de **figura de interferencia** (véase la referencia 3, Apartado V).

c. ¿Qué se ha aprendido en esta sección?

Se pueden obtener cristales de hielo a partir de hielo fundido (es decir, de agua líquida).

Las fronteras entre los cristales que forman una placa de hielo se pueden detectar utilizando polarizadores cruzados.

Como el agua líquida es más densa que el hielo, éste se puede transformar en agua mediante la aplicación de presión. Si la temperatura es inferior a 0°C , ésta volverá a transformarse en hielo cuando cese la presión. (Fíjese que el hielo, como cualquier otra sustancia sólida, puede estar más frío que su temperatura de fusión. Mucha gente parece tener la extraña idea de que el hielo siempre está a la temperatura de 0°C . Cuando se está formando hielo a partir de agua líquida y *todavía hay agua presente*, entonces su temperatura sí es de 0°C).

2. Salol (Salicilato de fenilo, $\text{HOC}_6\text{H}_4\text{COOC}_6\text{H}_5$)

El salol se vende en farmacias como una medicina para desórdenes intestinales. No es soluble en agua pura, pero sí lo es en alcohol etílico. Funde a 42°C .

a. Crecimiento de los cristales y observación de su crecimiento

Coloque una pequeña cantidad de polvo de salol sobre alguna superficie que se pueda calentar por debajo con la llama de una cerilla. Un portaobjetos de microscopio, o una pieza similar de vidrio, es la superficie más adecuada, pero incluso una pequeña lámina de aluminio servirá para nuestros propósitos. La cantidad de polvo de salol ha de ser pequeña, aproximadamente del tamaño de un guisante. Caliéntelo a la llama de una cerilla desde abajo, manteniendo la cerilla bastante alejada de forma que la llama no ennegrezca el vidrio con el carbono no quemado. Deje de calentar en cuanto el salol funda.

Podría esperarse que el salol solidificara de nuevo en cuanto la temperatura descendiera a 42°C . En realidad, esto no ocurre salvo que se encuentre presente un cristal semilla de salol (o la temperatura baje *bastante por debajo* de 42°C o esperemos un tiempo *muy largo* a 42°C). Dado que el polvo de salol está formado por diminutos fragmentos cristalinos, un pequeño grano del polvo servirá como semilla para comenzar la cristalización en cuanto la temperatura del líquido haya bajado lo suficiente.

Si se añade mucho polvo al líquido, comenzarán a crecer demasiados cristales a la vez y muy pronto unos interferirán en el crecimiento de otros. Entonces no será posible ver las bonitas formas rectas que se desarrollan cuando un cristal de salol crece sin obstrucción. La forma de un cristal de salol es como la de los rombos (también llamados diamantes) de las cartas de póquer. Si observa el crecimiento con una lupa, podrá ver aparecer y hacerse más grandes esas láminas, manteniendo siempre la misma forma. Una tras otra, las capas de salol se van añadiendo al cristal a gran velocidad (miles de capas por segundo), todas en una disposición tan ordenada que las caras del cristal se mantienen perfectamente planas y continúan formando los mismos ángulos con sus vecinas.

Cuando haya finalizado el crecimiento, examine de cerca el conjunto de cristales mediante una lupa. La mayoría de ellos no mostrarán sus líneas con forma de rombo porque se habrán encontrado con cristales vecinos en su crecimiento y unos habrán crecido alrededor de otros. Si coloca el conjunto de cristales bajo una luz intensa y los gira de un lado a otro observará la luz reflejarse en sus caras perfectamente planas. Las caras de un cristal, construidas a partir de los más elementales bloques de materia, son las superficies planas más perfectas que se

pueden obtener por cualquier medio físico, más planas que cualquier superficie que se pueda producir mediante pulido. El salol se puede refundir y recristalizar repetidamente.

b. Qué hacer con los cristales

Como el salol no es pegajoso, ni corrosivo, ni venenoso, ni peligroso para la ropa, un portaobjetos de vidrio con los cristales de salol congelados sobre él se puede llevar en el bolsillo. Si se prepara un portaobjetos con un buen grupo de cristales en un extremo y un grupo mucho más pequeño en el otro, se puede fundir el grupo grande manteniendo el pequeño frío y sólido. Entonces se puede coger un diminuto fragmento del grupo pequeño para usarlo como semilla cuando haga falta. Un portaobjetos como éste se puede llevar encima para hacer demostraciones de crecimiento de cristales a los amigos.

Si consigue colocar una delgada película de salol fundido entre dos portaobjetos de vidrio y mantener éstos fuertemente presionados hasta que el salol solidifique (dejando pegados los dos portaobjetos, por tanto), entonces podrá observar un fenómeno aún más excitante. En primer lugar observe su «bocadillo» vidrio-salol-vidrio entre los polarizadores cruzados (véase el subapartado III-D). Gire el «bocadillo» en su propio plano, como las manecillas de un reloj, entre los polarizadores, manteniendo estos cruzados. Si no observa colores en los cristales de salol, su película de salol no es lo bastante delgada. Vuelva a fundirla y a dejarla enfriar entre los portaobjetos, presionándolos más fuertemente esta vez.

A continuación, funda tan sólo una pequeñísima cantidad de salol en el centro del «bocadillo». Deje de calentar en cuanto comience a fundir. De otra forma se fundirá toda la película de salol y se separarán los vidrios portaobjetos. Observe ahora de nuevo su «bocadillo» entre los polarizadores cruzados (**PRECAUCIÓN:** los filtros polarizadores se dañan por el calor. Manténgalos alejados de los portaobjetos calientes. El montaje descrito en el subapartado III-D le ayudará a ello). La parte líquida se observa negra entre los polarizadores cruzados, mientras que los cristales de salol que la rodean aparecen iluminados. Usando una lupa, observe cómo se forman las láminas brillantes de los cristales de salol en la zona oscura a medida que las partículas de salol que componen el líquido, orientadas al azar, van encajando en los lugares ordenados que constituyen los cristales.

c. ¿Qué se ha aprendido en esta sección?

El calor puede transformar un sólido ordenado en un líquido desordenado. El líquido tiene un aspecto parecido al del agua, pero no es agua porque no entra en

ebullición al calor de la llama de una cerilla y porque se transforma en salol sólido a una temperatura mucho más alta de la que el agua líquida necesita para transformarse en agua sólida, lo que conocemos como hielo.

Un cristal mantiene su forma perfecta y sus caras pulidas mientras miles de capas de partículas invisibles por segundo se van añadiendo sobre él.

El salol líquido se ve negro entre polarizadores cruzados, igual que el vidrio y el agua líquida, pero los cristales de salol se ven brillar y muestran colores si son lo bastante delgados.

El salol líquido no formará cristales (esto es, no se transformará en salol sólido) salvo que se le proporcione un cristal semilla con el que empezar el proceso.

3. Bismuto (Elemento metálico, Bi)

El elemento metálico bismuto funde a 271°C . Como el agua, tiene la rara propiedad de expandirse cuando pasa a la forma sólida (cuando cristaliza). Se puede conseguir bismuto de una empresa suministradora de sustancias químicas y también del departamento o facultad de química de una universidad.

a. Crecimiento de los cristales y observación de su forma, ya crecidos

Funda el bismuto en una cazuela abierta. Cuando haya fundido del todo, aparte la cazuela de la fuente de calor. A medida que la cazuela vaya enfriando se irán formando cristales de bismuto por la parte interna de la superficie del líquido. No será posible verlos, pero con unas pinzas largas o fórceps de químico podrá detectarlos justo por debajo de la superficie del líquido opaco. Sepárelos del líquido caliente con las pinzas y agítelos con cuidado para eliminar el exceso de líquido. La superficie de los cristales de bismuto tiene muchas caras escalonadas de pequeño tamaño.

b. Qué hacer con los cristales

Gire los cristales de un lado a otro bajo un intenso haz de luz, preferiblemente de uno que provenga de una cierta distancia. Fíjese que las superficies de muchas de las caras reflejan intensamente la luz al mismo tiempo. Para que esto ocurra deben estar formando el mismo ángulo con el haz de luz; esto es, deben ser paralelas entre sí. Deben estar todas ellas formadas por capas de los elementos de construcción del cristal de bismuto que son exactamente paralelas unas a otras en

la ordenada disposición del cristal. Esto nos dice que no se trata de caras de cristales diferentes, sino que todas ellas pertenecen al mismo cristal. En un cristal vecino existirá un conjunto diferente de caras escalonadas, las cuales reflejarán la luz en un ángulo distinto.

Mientras examina los cristales de bismuto puede que observe iridiscencia en sus superficies, como la que se observa en las plumas de un pavo real y en las pompas de jabón. Esto se debe a la presencia de una fina capa de óxido de bismuto que a veces se forma en la superficie de los cristales cuando se enfrían. Es tan fina que la luz la atraviesa y llega a la superficie del bismuto, donde se refleja. En su camino de vuelta se encuentra con la luz que ha sido reflejada por la superficie de la película de óxido. Ambos haces de luz interfieren entre sí. Cuando esto ocurre se elimina algún determinado color del haz de luz blanco, que está formado por una combinación de todos los colores del arco iris. Cuando se elimina un color, el haz resultante ya no permanece blanco sino que se observa coloreado. De esta forma, la superficie de los cristales de bismuto puede aparecer coloreada. Una fina capa de aceite en agua muestra color de la misma forma. Exactamente igual que las plumas del pavo real y las pompas de jabón. Los colores que se producen de esta forma se denominan **colores de interferencia**.

c. ¿Qué se ha aprendido en esta sección?

La cara de un cristal puede verse interrumpida por un escalón y ser el mismo cristal a ambos lados del escalón. Es la constancia en la orientación lo que identifica un conjunto de superficies como pertenecientes al mismo cristal.

Los haces de luz blanca que se reflejan en dos superficies de una película delgada pueden interferir entre sí y generar luz de color.

C. Cristales a partir del vapor (la misma sustancia en forma gaseosa)

1. Hielo

Al aire libre, en ocasiones, se forma hielo directamente a partir de vapor de agua. Si el tiempo es frío y húmedo, los árboles se cubren de escarcha. En zonas de gran altitud es frecuente observar hojas escarchadas en los árboles. También se puede formar hielo en una ventana de vidrio de una casa, si aquélla está muy fría, a partir del vapor de agua que hay en la casa.

a. Crecimiento de los cristales y observación de su crecimiento

Si la atmósfera de la habitación es lo bastante húmeda, es posible que se pueda inducir la formación de cristales de hielo a partir del vapor en el exterior de un recipiente de vidrio, o de metal, lleno de hielo picado y alcohol. Agite vigorosamente la mezcla de cuando en cuando. Los cristales no mostrarán caras bien formadas, pero es posible que pueda ver salir chispas de luz de las diminutas facetas que los forman si hace incidir una luz intensa sobre la superficie helada.

b. Qué hacer con los cristales

Vacíe el recipiente y observe cómo se funde la escarcha. No provenía de agua líquida; pasó directamente de agua en forma gaseosa al estado sólido. Pero a medida que se calienta cambia a la forma líquida. Si deja el recipiente en la habitación durante algún tiempo, el agua volverá al estado gas de nuevo; esto es, se evaporará.

c. ¿Qué se ha aprendido en esta sección?

El vapor de agua, que es agua en el invisible estado gas, se encuentra en el aire que está a nuestro alrededor. Se le puede obligar a transformarse en hielo sobre superficies muy frías (o en agua líquida sobre superficies menos frías).

2. Naftaleno (bolas de naftalina, $C_{10}H_8$)

¡PRECAUCIÓN: INFLAMABLE!

Esta sustancia, que se usa desde hace mucho tiempo para proteger la ropa de lana del ataque de las polillas, no debe confundirse con otras sustancias de producción más reciente que se usan con el mismo fin (por ejemplo, paradiclorobenceno). Habitualmente se vende en cajas de papel o plástico y tiene la forma de pequeñas bolas blancas.

a. Crecimiento de los cristales y observación de su crecimiento

Cuando el naftaleno se calienta suavemente pasa rápidamente a estado vapor (su punto de fusión es de $80^{\circ}C$ y su punto de ebullición es de $218^{\circ}C$). Su fuerte tendencia a pasar al estado vapor es una de las propiedades que le hacen útil para proteger la ropa frente a las polillas.

ES MUY INFLAMABLE Y NO DEBE CALENTARSE DIRECTAMENTE A LA LLAMA.

Una forma conveniente de hacer crecer cristales de naftaleno es la siguiente: introduzca una pequeña cantidad de naftaleno sólido (media cucharadita) en el fondo de un frasco alto de vidrio. Coloque una tapa amplia sobre el frasco. Una tapa de un frasco de boca más ancha, un trozo de una plancha de aluminio e incluso un trozo de papel pueden servir de tapa. **No enrosque** la tapa al frasco, dado que esto haría que el vapor recalentado quedara atrapado en el interior. Si lo hiciera así, podría explotar.

Deje reposar el frasco sobre la bombilla encendida de una lámpara. Muy pronto (con una bombilla de 100 vatios) podrá observar que empiezan a formarse pequeños cristales en la parte superior del frasco, donde el invisible y cálido vapor de naftaleno se enfría y la atracción mutua entre las partículas de naftaleno las junta en la disposición ordenada de un cristal.

Algunos cristales se agruparán en forma ramificada, como en una pluma, lo que le recordará la escarcha en las ventanas. Puede que otros se agrupen en forma de láminas muy delgadas que muestren colores de interferencia cuando la luz se refleje en sus dos superficies, como en una capa de aceite en agua o en una pompa de jabón (véase la sección sobre el bismuto).

El naftaleno ni es soluble en agua ni en alcohol. Si desea limpiar el interior del frasco, puede hacerlo con limpiador de esmalte de uñas (que contiene acetona) o con benceno. Ambos productos son muy inflamables y tóxicos, de manera que debe usarlos únicamente en condiciones de buena ventilación y dejando el papel usado para limpiar el frasco en un contenedor donde posteriormente no pueda alcanzarle ningún fuego.

b. Qué hacer con los cristales

Las delgadas láminas de naftaleno son muy bonitas vistas con una lupa entre polarizadores cruzados. Los colores que muestran algunos cristales cuando están entre los polarizadores no se deben a la reflexión de la luz por dos superficies próximas como en el caso de los colores tipo pompa de jabón. Resultan del hecho de que, en el interior del cristal, la luz se descompone en dos rayos que se desplazan a diferente velocidad. Es la interferencia entre estos dos rayos la que produce los colores.

c. ¿Qué se ha aprendido en esta sección?

Además del agua, también otras sustancias se pueden cristalizar a partir del estado gas.

D. Experimentos con luz polarizada

1. La naturaleza de la luz polarizada y formas de producirla

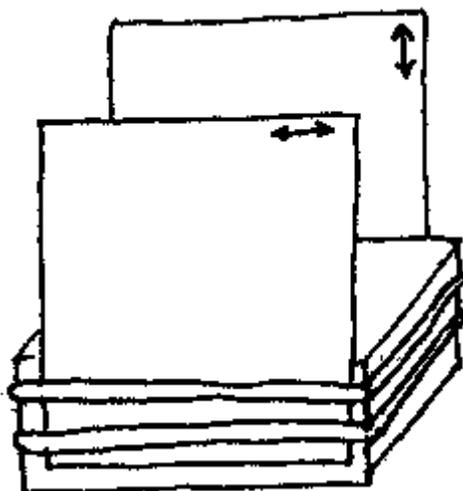
El concepto de luz que se utiliza en cada situación particular depende de la situación. En lo que sigue, será conveniente pensar en la luz como en un ente con propiedades ondulatorias, como una perturbación que se desplaza hacia delante con un movimiento oscilante como el de las olas del mar. Sin embargo, debemos pensar en unas ondas de luz de tamaño muy pequeño, con una distancia de cresta a cresta de aproximadamente cinco diezmilésimas de milímetro; es decir, una dosmilésima de milímetro (en la cabeza de un alfiler caben, puestas en fila, ¡dos mil de estas ondas!).

A diferencia de las olas del mar, las ondas de luz no oscilan simplemente arriba y abajo. Oscilan de lado a lado en todas las direcciones que forman ángulo recto con la dirección a lo largo de la cual la luz está viajando. Sin embargo, es posible hacer pasar la luz a través de algo que permita pasar únicamente luz que oscile en un determinado plano. La luz que oscila en un único plano se denomina **luz plano-polarizada** o simplemente **luz polarizada**. El objeto que produce la **polarización** de la luz se denomina **polarizador**. Existen varios tipos de polarizadores. Cualquier superficie lisa no metálica que refleje la luz, la polariza parcialmente. La luz polarizada que emerge de tal superficie oscila de forma paralela a ésta (y, desde luego, siempre formando ángulo recto con la dirección a lo largo de la cual la luz se desplaza). Probablemente el polarizador más conveniente para el estudio de los cristales, tal como se describe en el presente manual, sea el filtro polarizador (también llamado hoja polaroide o simplemente *polaroide*). Una de las marcas que ha fabricado estos polarizadores durante muchos años es Polaroid, pero existen otras.

Un filtro de este tipo deja pasar la luz que oscila en una dirección particular del plano del filtro. Se puede descubrir qué dirección es ésta usando el polaroide para ver luz reflejada por una superficie lisa no metálica, tal como el alféizar pintado de una ventana. Cuando el alféizar se observe más oscuro, visto a través del filtro, la dirección de oscilación permitida para la luz que pasa por el polaroide es vertical, formando ángulo recto con el alféizar de la ventana.

2. Cristales entre polarizadores cruzados

Una forma conveniente de preparar dos polarizadores para examinar cristales consiste en colocarlos uno a cada lado de una caja pequeña sujetándolos a ella con una cinta de goma.



Las flechas dobles de la figura indican la dirección de oscilación permitida para la luz que atraviesa cada polarizador. Cuando los polarizadores están colocados de forma que una de esas direcciones forma un ángulo recto con la otra se dice que están «cruzados». Si los polarizadores fueran perfectos no podría pasar nada de luz a su través cuando están cruzados. Sin saber cuál es la dirección permitida de cada uno se pueden colocar en posición cruzada fácilmente sin más que colocar uno tras otro y detectar la orientación para la cual se ve más oscuro.

Una discusión completa acerca de cristales bajo luz polarizada no es adecuada para este manual. Se recomienda al lector acudir a la lista de referencias del Apartado V.

A continuación, se recogen observaciones específicas referidas a los cristales que se mencionan en este manual.

Los cristales estudiados aquí se pueden dividir en dos grupos sobre la base de su apariencia entre polarizadores cruzados.

Cristales que aparecen oscuros en cualquier posición

sal común

Alumbre

Cristales que aparecen iluminados en la mayoría de las orientaciones

bórax

azúcar

sulfato de cobre

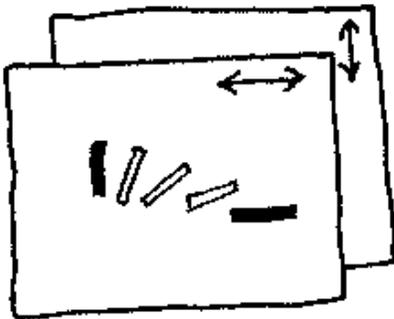
epsomita

hielo

salol

naftaleno

Se encontrará que los cristales que aparecen iluminados en la mayoría de las orientaciones se observan oscuros en algunas. Las agujas de epsomita, por ejemplo, aparecen oscuras cuando sus aristas largas se encuentran paralelas a la dirección permitida de uno cualquiera de los polarizadores.



Todo cristal que aparezca iluminado entre polarizadores cruzados se observará coloreado si es lo bastante estrecho. Cuando la luz pasa a través de un cristal de este tipo se divide en dos haces que oscilan perpendicularmente uno respecto del otro. Uno de ellos se desplaza a mayor velocidad que el otro. Cuando ambos rayos abandonan el cristal y atraviesan el segundo polarizador, interfieren entre sí de forma similar a como hacen los rayos descritos en la sección sobre cristales de bismuto. Aunque el origen de la interferencia es distinto en este caso, los colores que se producen también se llaman colores de interferencia.

Los polarizadores son especialmente útiles para determinar si una porción de materia consiste en un único cristal o en más de uno. Una porción de hielo a medio fundir puede que no muestre separaciones a la luz normal, pero entre polarizadores cruzados es posible que se encuentre que una parte se aprecia oscura en una posición mientras que otra parte se observa oscura en una posición distinta. Claramente, en este caso, esa porción de hielo estará formada por dos cristales.

3. Hielo y mica

En la sección dedicada al hielo se describió una figura de interferencia, una cruz negra sobre un fondo gris, que podía observarse en condiciones favorables. No es fácil de ver. Se necesita una placa de hielo de bastante espesor, con caras lisas, y una zona que aparezca oscura en todas las orientaciones cuando la placa de hielo es paralela al plano de los polarizadores.

Una figura de interferencia distinta, con dos «ojos» en lugar de uno, se puede ver de manera similar usando un trozo grande de mica entre polarizadores cruzados. El ojo del observador debe colocarse tan próximo a la mica como sea posible. Como la mica no daña los polarizadores, a diferencia de lo que ocurre con el hielo húmedo, éstos se pueden mantener sujetos a la mica a ambos lados. Si el conjunto completo se inclina de un lado a otro, a varios ángulos de visión, se descubrirán los dos «ojos». Una discusión completa de las figuras de interferencia se da en *Crystals and Light*, una de las referencias citadas en el Apartado V.

4. Disoluciones de azúcar

El hecho de que un cristal aparezca iluminado entre polarizadores cruzados no significa que haga girar el plano de polarización de la luz polarizada. Si el cristal se puede colocar en alguna posición en la cual se observe oscuro, entonces no es **ópticamente activo**. Una disolución de azúcar es ópticamente activa: hace girar el plano de polarización de la luz polarizada. Esto significa que la dirección de oscilación de la luz cambia de forma gradual a medida que la luz atraviesa la disolución, como si fuera siguiendo un tornillo.

Si la disolución de azúcar hiciera girar el plano de polarización la misma cantidad para todos los colores, entonces uno simplemente podría girar el polarizador más próximo a uno respecto al más alejado y la disolución aparecería negra entre los polarizadores recién ajustados. Sin embargo, el plano de polarización de cada color de la luz gira un ángulo distinto para una longitud de camino dada a través de la disolución. Por tanto, cuando se gira el polarizador más próximo a uno la cantidad adecuada para que se encuentre «cruzado» respecto de un color, los otros colores podrán atravesarlo. Con una fuente de luz que produzca un único color se puede conseguir la oscuridad. Este experimento se puede llevar a cabo fácilmente utilizando un trozo de vidrio o plástico rojo, azul o amarillo a modo de filtro.

CRISTALES FUERA DEL AULA Y DE CASA

A. En museos

1. Muestras de rocas y minerales

La mayoría de los museos de ciencias naturales poseen ejemplares etiquetados de rocas y minerales y algunos de ellos son muy hermosos. Los **minerales** son cristales que surgen de forma natural en la corteza terrestre. Una visita a un museo sería una buena introducción al tipo de cristales que se pueden encontrar al aire libre.

2. El personal del museo (sugerencias para excursiones)

El personal que trabaja en el museo puede sugerir buenos lugares en donde buscar cristales. Los cristales crecen habitualmente en las rocas unos contra otros y forman divisiones irregulares, pero siguen siendo cristales a pesar de todo. Debería explicarle al personal del museo que usted no sólo desea recoger minerales en forma de roca, sin bellas y brillantes caras, sino también los que adoptan las más perfectas formas externas.

B. Al aire libre (excursiones)

Si vive usted cerca de donde haya grandes concentraciones rocosas, podrá tratar de distinguir si son rocas magmáticas (cristalizadas a partir del fundido), rocas sedimentarias (arrastradas por el agua), o rocas metamórficas (modificadas por el calor y la presión, aunque comenzaran como una de las dos primeras).

1. Las **rocas magmáticas**, que han enfriado lentamente, tienen grandes porciones de minerales en su composición porque fueron pocos los cristales que comenzaron a crecer en ellas al mismo tiempo, y cada uno de ellos pudo crecer hasta un tamaño considerable antes de encontrarse con su vecino. Se formaron bajo la superficie, en las profundidades (sin embargo, también se pueden formar cristales gigantes en la superficie cuando fundidos ricos en agua se inyectan sobre rocas superficiales produciéndose una cristalización lenta debido a la gran cantidad de agua presente). Los minerales que forman habitualmente este tipo de rocas son: cuarzo (gris, vidrioso, no exfoliable), feldespato (rosa, blanco o gris; mate, exfoliable), mica (inoloro, gris o negro; exfoliabilidad perfecta, pelable en láminas), marmatita o blenda ferrífera (negro, varillas cortas, leve exfoliabilidad,

pequeños granos). Cuando la roca fundida se enfría rápidamente el granulado es mucho más fino, de forma que los minerales son más difíciles de distinguir, aunque habitualmente se pueden encontrar los mismos.

2. Las **rocas sedimentarias** se forman cuando capas de fragmentos, depositados por las corrientes y los ríos que los llevan al mar, se endurecen volviéndose roca. Estos fragmentos provienen originariamente de las rocas magmáticas, luego cabría esperar que los mismos minerales aparecieran otra vez. Sin embargo, el feldespato y la mica se rompen fácilmente al ser trasladados por los ríos y también se pueden descomponer químicamente. El cuarzo es más duro y no es exfoliable, de modo que resiste mejor la abrasión. También es resistente químicamente. Así que gana. El cuarzo es el mineral más habitual en las rocas sedimentarias, piedra arenisca y esquisto bituminoso (roca arcillosa de grano fino). Los ríos también transportan materiales en disolución. Una de las sustancias más comunes que se depositan a partir de la disolución es el carbonato cálcico. Cuando se endurece formando una roca, generalmente adopta una textura muy fina de color gris pálido, casi blanco. Se denomina piedra caliza. El mineral que forma la piedra caliza se llama calcita. La calcita también se deposita a partir del agua en forma de pequeñas vetas blancas sobre varios tipos de roca. Se la identifica fácilmente por su perfecta exfoliabilidad en las tres direcciones, lo que hace que se fragmente en pequeños bloques. Las caras de los bloques no son rectangulares, como las de la sal común, sino rómbicas (la forma de un paralelogramo).

3. Las **rocas metamórficas** se forman tanto a partir de las rocas magmáticas como de las sedimentarias por la acción del calor y de la presión, en el interior de la Tierra, a veces ayudadas por disoluciones de diversas sustancias que migran a través de las rocas. Cuando se produce la metamorfosis de la piedra caliza resulta el mármol. Los cristales de calcita se hacen mayores, creciendo unos a expensas de otros. La metamorfosis del esquisto bituminoso produce pizarra. La subsiguiente metamorfosis de la pizarra produce esquisto común, una roca llena de mica que reluce a la luz del sol.

4. **Cantos rodados, guijarros y arena.** Si usted vive en una zona en donde no hay grandes concentraciones de rocas que pueda usar para su estudio, recoja algunas pequeñas piedras que pueda encontrar. Con frecuencia, suelen estar sucias por su parte exterior y sus superficies han sido modificadas por la climatología. Rómpalas para localizar una superficie nueva. Salvo que viva usted al lado de un volcán, todas las muestras que encuentre serán cristalinas; esto es, estarán compuestas completamente por cristales, aunque éstos pueden ser pequeños y tener divisiones irregulares.

Dar nombre a las fracciones de mineral de una roca es sólo una parte del placer del estudio de las rocas, y no tan significativo como examinar las relaciones entre ellas. Es posible que pueda decir si la roca es magmática, sedimentaria o metamórfica. Si se trata de una roca magmática, trate de determinar qué fracciones de mineral cristalizaron en primer lugar, con los otros cristalizados alrededor de aquéllos en el espacio que dejaron libre.

5. El **hielo** es un sólido cristalino que se forma de manera natural, sin intervención humana, de forma que se le puede llamar mineral con propiedad. La escarcha en el vidrio de una ventana se parece a los cristales con forma de hoja del naftaleno. En ocasiones un carámbano está formado casi exclusivamente por un único cristal de hielo. ¡Examine uno transparente entre polarizadores cruzados!

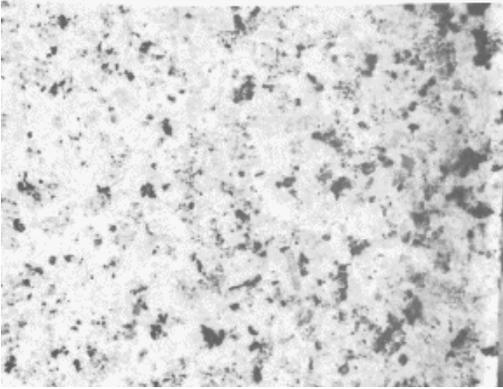
Probablemente el más bello de todos los cristales naturales es el que hemos dejado para el final: el copo de nieve. Si vive usted donde nieva, lleve consigo su lupa cuando esté cayendo una nieve fina. Cada copo puede ser un solo cristal (los copos grandes son conglomerados de muchos cristales). La variedad de patrones en los copos de nieve ha sido una fuente de admiración y deleite para todos los que han disfrutado observando la naturaleza a su alrededor. Probablemente esta variedad se debe al hecho de que el hábito de crecimiento de un cristalito de hielo es muy sensible a pequeños cambios en la humedad y en la temperatura. El gran estudioso de los copos de nieve, Ukichiro Nakaya, descubrió que podía producir a voluntad varios tipos de patrones de crecimiento en el laboratorio controlando las condiciones de humedad y temperatura bajo las que crecían los cristales de hielo. En la turbulencia de una tormenta de nieve, cada cristal experimenta muchos cambios en estas condiciones durante su periodo de crecimiento. Dos cristales que hayan estado creciendo bajo las mismas condiciones durante unos pocos segundos pronto se verán lanzados en direcciones muy alejadas y continuarán su crecimiento bajo condiciones diferentes. Con un entorno tan cambiante y tan extrema sensibilidad a las condiciones externas, bien se puede esperar tal variedad de formas de intrincada belleza.

C. En tiendas y grandes almacenes

1. Decoración de edificios y mostradores

Muchos grandes almacenes utilizan roca pulida para adornar los exteriores de sus edificios y, a veces, también los interiores. Dichas superficies pulidas están cortadas a través de los cristales de los que está hecha la roca. Fácilmente se puede trazar la frontera entre un cristal y el siguiente, así como distinguir los tramos pertenecientes a un cristal de los de otro. Normalmente la roca está

formada a partir de no más de tres minerales, en ocasiones de sólo uno. El mármol (piedra caliza metamorfoseada) está compuesto casi totalmente por el mineral calcita. Sin embargo, el mármol más apreciado que se utiliza para decoración suele tener incrustaciones de otras sustancias que le producen vetas de color que se añaden a su efecto decorativo.



Roca magmática pulida mostrando feldespatos blancos, cuarzo gris y mica negra.

Si se da la circunstancia de que la superficie pulida corta un cristal con una orientación que no difiere mucho de la de sus planos de exfoliación, el cristal reflejará intensamente la luz del sol si uno se sitúa en un ángulo favorable. Busque los brillantes planos de exfoliación de los cristales mientras camina junto al adorno de roca pulida de un edificio. Toda aquella parte que refleje la luz el mismo ángulo (que se observe brillante mientras usted permanece en un determinado lugar) pertenece a un único cristal.

2. Joyerías

Casi todas las gemas son monocristales. Algunas excepciones son el jade y el ojo de gato, que son policristalinas, y el ópalo, que no es cristalino en absoluto. La mayoría de las gemas se cortan con superficies de muchas caras, tanto en la parte superior como en la inferior. La luz se refleja en las facetas superiores, pero también se introduce en la gema y se refleja de nuevo en las superficies inferiores. Esto es lo que le da a la gema su brillo y, por eso, se pone mucho cuidado en cortar las pequeñas superficies a los ángulos más favorables para conseguirlo.

3. Farmacias y boticas

Varias de las sustancias mencionadas en este manual están disponibles en las farmacias. Si le comenta al dependiente su interés en hacer crecer cristales es

posible que él pueda proporcionarle otras. Asegúrese de preguntar si existe algún peligro a la hora de manipular las sustancias.

REFERENCIAS PARA LECTURAS ADICIONALES

La experiencia adquirida con cristales que ha hecho crecer usted mismo o que ha encontrado en rocas puede haber incrementado su curiosidad sobre ellos. Se han escrito cientos de libros sobre el tema de la cristalografía y puede que le interese buscarlos en su biblioteca. Pero un neófito, a menudo, se ve desbordado si se le proporciona demasiada información de una sola vez. La lista que se muestra a continuación incluye un libro sobre crecimiento de cristales, uno sobre rocas y minerales, y otro sobre cristales entre polarizadores cruzados. Los tres contienen información acerca de la simetría externa de los cristales perfectamente formados, una simetría que es el resultado de su ordenada estructura interna. Todo cristal posee ese ordenamiento y, para que lo muestre, usted podrá conseguir, en la mayoría de los casos, las condiciones más favorables en las que puedan crecer sus bellas formas con caras pulidas y brillantes.

Referencias

1. Holden, A. y Singer, P., *Crystals and Crystal Growing*, Doubleday-Anchor, Garden City, NY, USA, 1960 (existe una edición más reciente: Holden, A. y Phylis, M., *Crystals and Crystal Growing*, MIT Press, Massachusetts, USA, 1993).
2. Pough, F. H., *Field Guide to Rocks and Minerals*, Houghton Mifflin, Boston, USA, 1960.
3. Wood, E. A., *Crystals and Light, an Introduction to Optical Crystallography*, Van Nostrand, Princeton, NJ, USA, 1964 (1ª edición). Reimpreso (1977) por Dover, New York.

Agradecimiento

Deseo agradecer especialmente a Jovanka Kink por la revisión y corrección del manual original (Junio 1993).

Copyright © 1972, 2001 International Union of Crystallography

[IUCr Webmaster](#)