

# Formas Cristalinas

January 18, 2014

Los cristales, la forma que tiene la Naturaleza de mostrarnos sólidos geoméricamente (casi) perfectos, siempre nos han resultado fascinantes. No sólo a los científicos. No hay ningún ser humano con un mínimo de sensibilidad que no aprecie las formas cristalinas. De modo natural, reconocemos como bella la fría geometría de los cristales, quizá como un reflejo de una perfección inalcanzable o como contraste con nuestra propia naturaleza, totalmente distinta desde un punto de vista químico o termodinámico, pero que no escapa tampoco a las reglas de la geometría natural.

Pero los cristales son mucho más que sus formas o su belleza. La ciencia que se dedica a la estructura, características y morfología de los cristales, la **Cristalografía**, es una herramienta fundamental en Mineralogía, Química en general, Biomedicina, Ciencia de Materiales, Ingeniería.... Los cristales están en todas partes, dentro y fuera de nosotros. Nos rodean, su formación y cambios influyen en nuestros materiales, en nuestra vida, en todo.

Quizá uno de los trabajos pioneros en la Cristalografía está en el libro *Alchemia*, editado en 1597 por un pionero de la Química: [Andreas Libavius](#), médico e “iatroquímico” alemán. Libavius fué uno de los artífices de la evolución desde la Alquimia a la Química científica y su trabajo con cristales es un buen ejemplo: se dió cuenta de que cristalizando sales disueltas en agua, podía separarlas según su composición basándose en sus formas cristalinas. Esta dependencia de la forma cristalina y la composición química es una constante en la Naturaleza y se ha usado rutinariamente tanto en la identificación de minerales como en uno de mis divertimentos preferidos: [la microscopía química](#).



Me encanta esta recreación del laboratorio de Andreas Libavius, que está en Rotemburgo. La imagen la he sacado de <http://judy-volker.com/Roadtrips/201009/10RothenburgMuseums.html>

Pero si hablamos de Libavius, es obligatorio recordar a [Nicolaus Steno](#), uno de los pioneros de la Geología, que en 1669 publicó una curiosa observación: independientemente de la forma que tengan, y aunque parezcan cristales diferentes, los ángulos entre las caras equivalentes de los cristales de cuarzo se mantienen *constantemente*. Posteriormente, fué el mineralogista francés Jean Baptiste Louis Romé de L'Isle quien, en su libro *Chrystallographie* publicado en 1771, generaliza la observación de Steno: los ángulos entre caras equivalentes de cristales de una sustancia dada son siempre los mismos. Es la **Ley de Steno**, que todo aficionado a la mineralogía conoce, ya que es útil en el reconocimiento de formas cristalinas.

La Cristalografía se adentra en el mundo de las estructuras moleculares con [Auguste Bravais](#), físico y mineralogista francés que en 1849 propuso la **teoría reticular** según la cual los átomos del cristal se disponen en un retículo tridimensional formado por la repetición de una unidad básica, la *celda unidad*. Un poco de tiempo después, a finales del siglo XIX y principios del XX, el físico alemán [Max von Laue](#) sentó las bases de uno de los métodos de análisis más importantes de nuestra época: la difracción de rayos X. Laue, irradiando cristales con rayos X, observó que el cristal difractaba los rayos produciendo un patrón característico llamado *lauegrama*, que es una proyección estereográfica de la estructura del cristal. Así, von Laue confirmó la validez de la teoría reticular y nació la Cristalografía moderna.

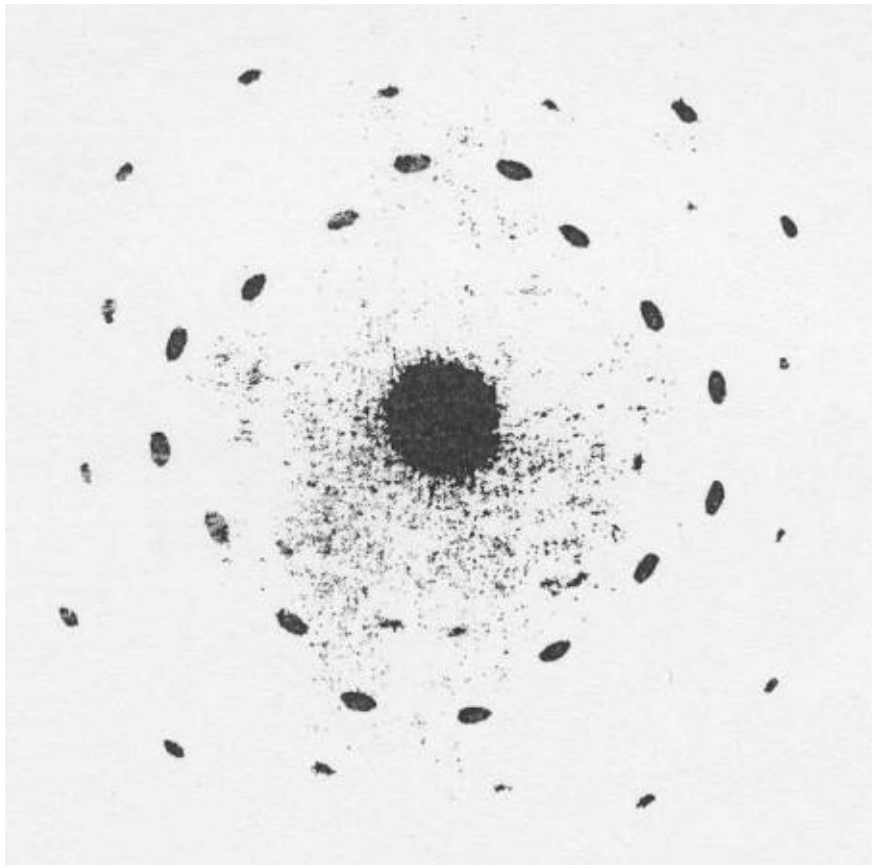


Diagrama de difracción de Rayos X o lauegrama de la esfalerita

Una vez recordados estos pioneros, vamos a intentar aclarar algunos conceptos:

La materia cristalina *sigue siendo cristalina*, aunque no tenga *caras cristalinas* visibles: la cristalinidad es el resultado de la ordenación tridimensional de los átomos en la materia. Por ejemplo, el cemento de nuestras casas es una materia cristalina: su dureza y propiedades lo son en virtud de un proceso de cristalización. Es decir, aunque sean invisibles a la vista, toda materia cristalina tiene sus átomos ordenados en una estructura en forma de patrón que se repite. Y en estas ordenaciones, en estas estructuras cristalinas, es donde reside el mayor interés y la mayor complejidad del asunto.

Pero, un **cristal** es un sólido geométrico limitado por caras (cuidado, cristal no es lo mismo que vidrio. El vidrio de la ventana no es un “cristal” y el vidrio carece de estructura cristalina. Realmente, el “limpiacristales” debería llamarse “limpiavidrio”, ¿no creéis?). Decimos que un cristal que ha desarrollado libremente sus caras sin impedimentos es un **cristal idiomorfo**. También usamos la expresión **cristal euhedral o euhédrico**, para referirnos a los cristales que han desarrollado bien sus caras. Las caras que limitan un cristal forman conjuntos que llamamos **prismas, pirámides, pinacoides y pediones**. Es un poco complicado explicar con palabras y no en vivo con un cristal en la mano lo que es cada cosa. Pero podemos intentarlo:

Un **prisma** es un conjunto de tres o más caras, de la misma forma, que constituye una *zona*. Y una zona es un conjunto de caras que se unen por aristas paralelas y que rodean un eje común. Tened en cuenta una cosa: el significado usual o intuitivo de “prisma” NO es equivalente al sentido cristalográfico. Un ejemplo de prisma son las seis caras idénticas que rodean al eje mayor de un cristal de cuarzo.

Una **pirámide** es un conjunto de tres o más caras, de la misma forma, en el que cada cara corta dos ejes cristalográficos y todas las caras se unen en un punto. Es una forma cerrada.

Un **pinacoide** es una forma, es decir, un conjunto de caras tal que, si existe una, es necesario que estén las otras por simetría del cristal, consistente en dos caras paralelas en sitios opuestos del cristal.

Un **pedión** es una forma consistente en una sola cara. Es decir, en el sitio opuesto del cristal hay una cara o caras distintas.

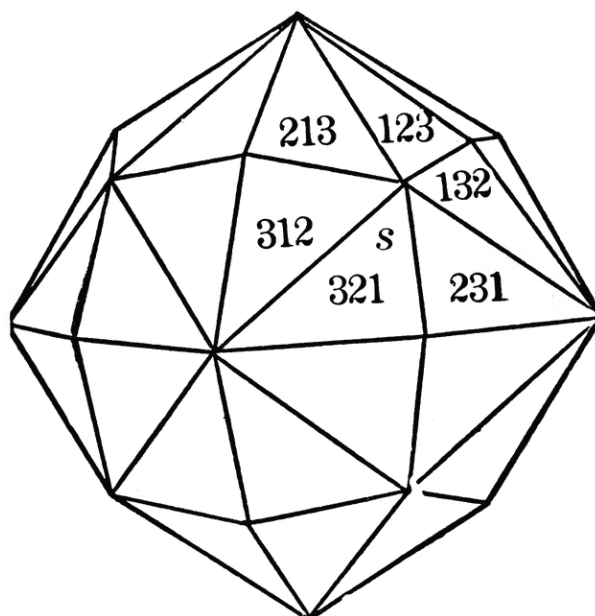
Otra definición importante es el **hábito**, que es la forma general que adquieren los cristales y que depende de las condiciones físicas y químicas en que se han formado. Así, hay hábitos tabulares, prismáticos, fibroso, etc. El hábito surge porque, normalmente, la Naturaleza no crea cristales geoméricamente perfectos: aparecen formas intermedias, preferencias de crecimiento, agrupaciones y un sinfín de posibilidades.

## LAS FORMAS CRISTALINAS

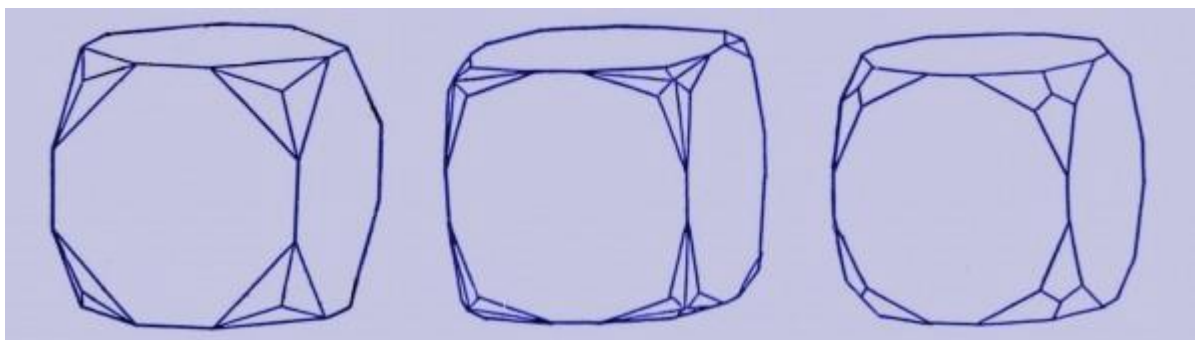
Aquí es donde viene la magia de los cristales. Muchos se sorprenden al aprender que en la Naturaleza no es posible encontrar cualquier forma geométrica imaginable. Es muy curioso, pero la materia, *toda* la materia con capacidad para formar cristales, solo puede hacerlo de 32 modos diferentes, agrupados en 7 sistemas cristalinos. Estos 32 modos son las **clases cristalinas** o también llamadas grupos puntuales, caracterizados por sus simetrías.

Alguien se preguntará: “¡pero yo he visto más de 32 formas cristalinas! no puede ser tan simple”. En efecto: cada clase cristalina tiene una *forma general* que la define. Las combinaciones de esta forma general con las *formas especiales*, que son comunes en todo el sistema cristalino, dan lugar a que, aparentemente, hay muchísimas formas más. Por ejemplo:

El sistema cúbico o isométrico (uno de los siete sistemas) tiene cinco clases cristalinas, con cinco formas generales. Una de estas cinco clases es la clase “Hexaoctaédrica”, cuya forma general es el hexoctaedro:



Si combinamos la forma general para esta clase con las formas especiales, como el cubo o el octaedro, podemos obtener la gran variedad de formas de la fluorita, por ejemplo, que es un mineral que pertenece a esta clase:



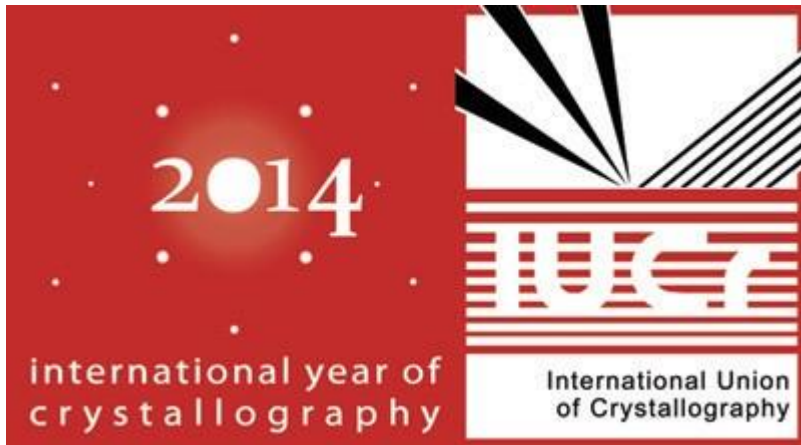
La pirita, que también forma cubos, nunca forma estas figuras, ya que pertenece a una clase distinta de la fluorita, que es la “clase diploidal”. Por eso, aunque ambas formen cubos puros, la pirita siempre tiene caras estriadas (aunque a veces sean invisibles) y la fluorita caras lisas. Si sumamos a todo esto las **maclas** y las formas “pseudo”, al final todo parece complicado. Pero si vamos a la manera de ordenar los átomos, vemos que en realidad sólo hay 230 maneras posibles, llamadas *grupos espaciales*.

La morfología cristalina no es un tema sencillo. Sirva esto como pequeña introducción a los términos más generales y, para que veáis las diferentes geometrías, vamos a visitar los siete sistemas cristalinos e incluir, en cada uno de ellos, imágenes de cristales con las clases a las que pertenecen. Veréis que rápidamente vais identificando las pautas comunes, lo que os permitirá, cuando veáis cristales, reconocerlos de modo más natural:

- [Sistema Isométrico \(o Cúbico\)](#)
- [Sistema Tetragonal](#)
- [Sistema Hexagonal](#)
- [Sistema Trigonal](#) (actualmente, los sistemas trigonal y hexagonal se agrupan en la misma familia, la familia hexagonal)
- [Sistema Ortorrómbico](#)
- [Sistema Monoclínico](#)
- [Sistema Triclínico](#)

También vamos a dedicar un apartado a cuando la Naturaleza intenta engañarnos, creando por ejemplo cristales que aparentan ser de un sistema y son de otro:

- [Maclas y “pseudos”](#)



Esta página se ha creado con motivo del año internacional de la cristalografía, y participa **en el III Festival de la Cristalografía que organiza [::ZTFNews](#)**



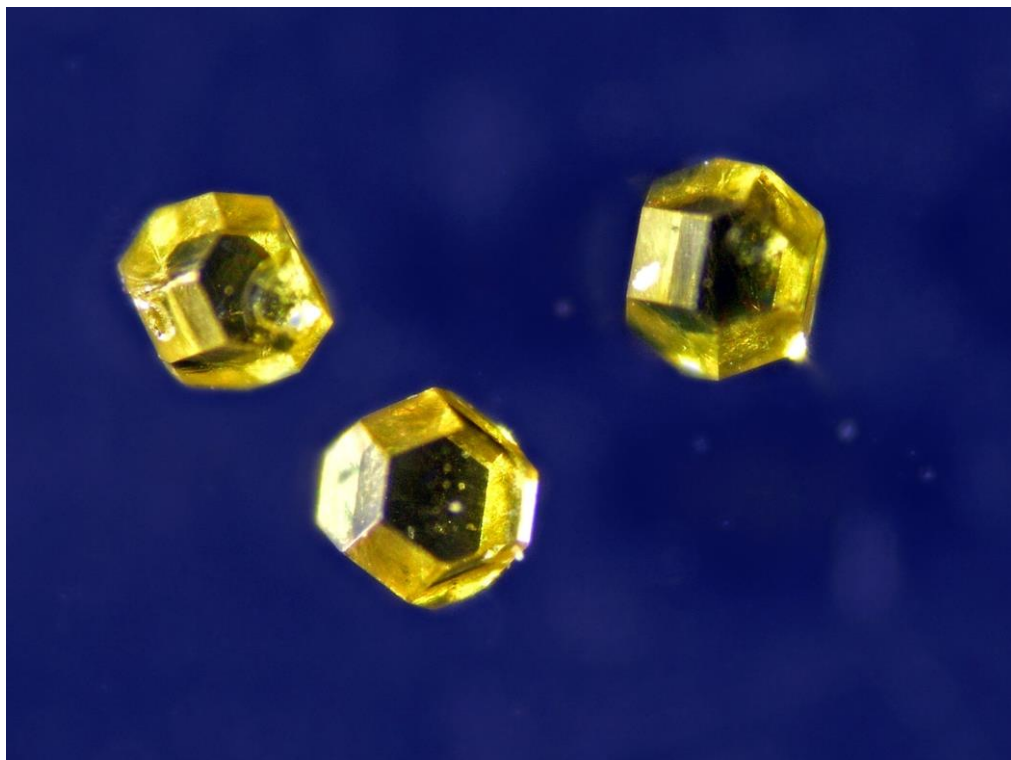
# Isométrico

January 18, 2014

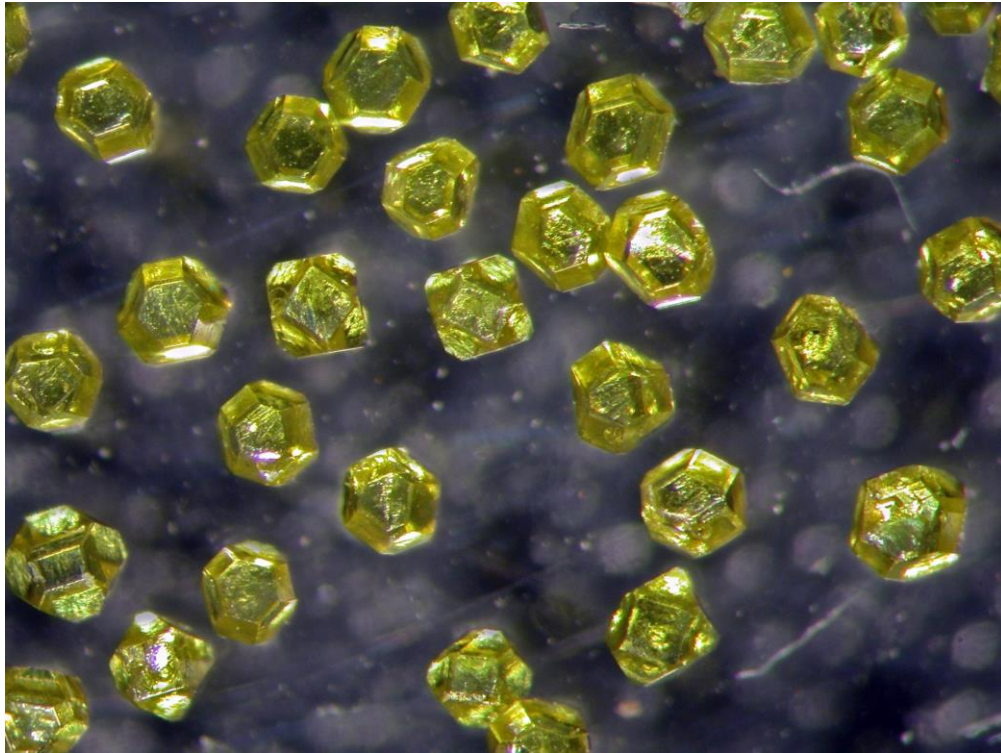
El sistema isométrico o cúbico es uno de los más fáciles de reconocer por su gran simetría. Todos sus cristales tienen tres ejes equivalentes, perpendiculares entre sí, la llamada *cruz axial*. Siempre son equidimensionales (habría que hacer un par de salvedades) y suelen presentar formas muy reconocibles, como cubos, octaedros, dodecaedros, piritodros (o pentagonododecaedros) y tetraedros. Estas formas suelen formar combinaciones y modificaciones.

El sistema tiene 5 clases:

- Hexaquisoctaédrica (forma general el hexaoctaedro o hexaquisoctaedro)
- Hexaquistetraédrica (forma general el hexatetrahedro)
- Diploédrica o diploidal (forma general el diploide)
- Giroédrica o giroidal (forma general el giroide)
- Tetartoédrica (forma general el tertatoide. Esta forma es muy rara y es un tipo de clase llamada enantiomórfica: el cristal no es superponible a su imagen especular)







Diamantes sintéticos, fabricados para su uso industrial. Los cristales son muy pequeños (0.2 mm) pero se aprecia la simetría hexaoctaédrica del diamante cuando cristaliza de modo natural. Los diamantes que vemos normalmente en joyería están tallados, no quedan sus caras naturales. Los diamantes sintéticos suelen ser amarillos debido a sustituciones de átomos de carbono por nitrógeno en la red. También se ha observado que, en conjunción con las sustituciones por nitrógeno, la presencia de átomos de níquel (de los materiales usados en su fabricación) intensifica el color amarillo o le confiere un tono verde.



Cristales de cloruro potásico con inclusiones de sales de cobre, que le confieren coloración azulada. Producidos en un proceso de refinado de oro.



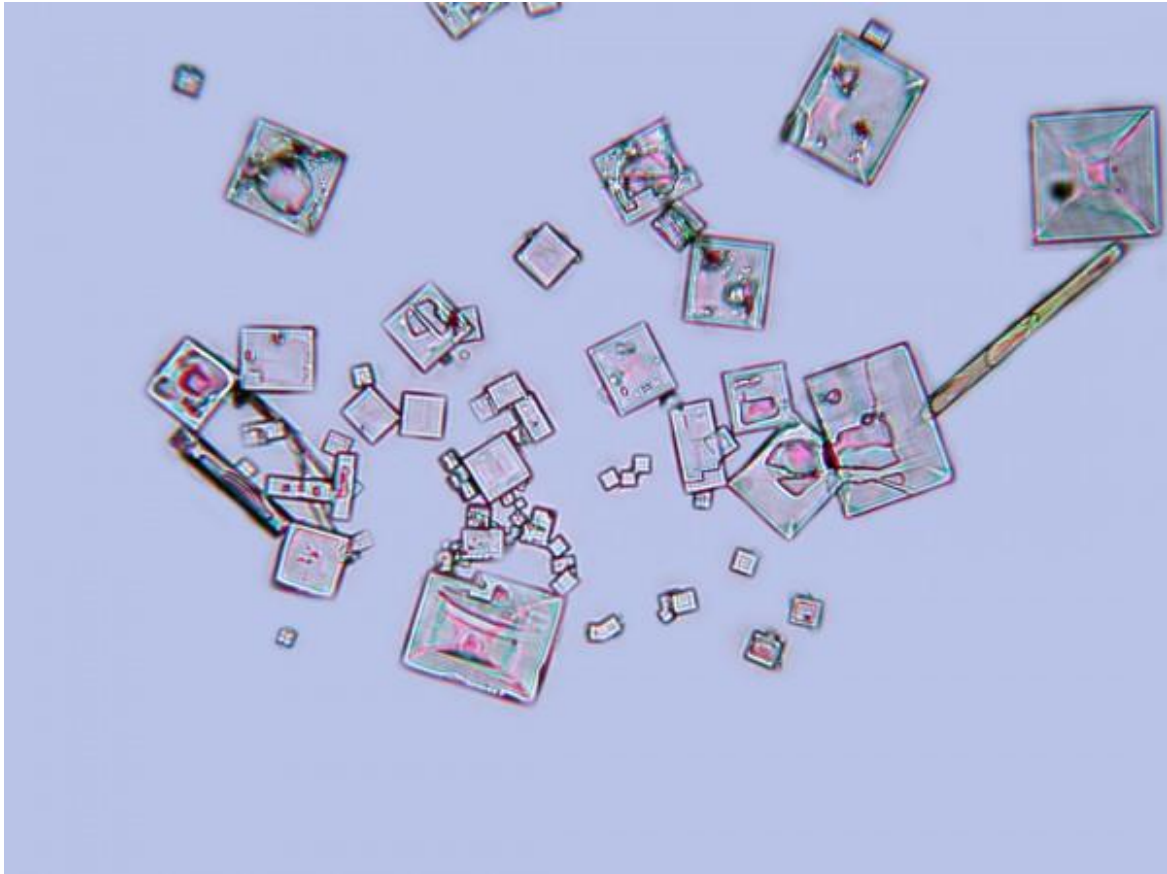


Cristales de **alumbre de potasio y cromo**. No es un mineral, sino que se han 'cultivado' en el laboratorio. Forma extraordinarios cristales octaédricos (clase hexaquisoctaédrica). En este caso, octaedros con vértices truncados por caras de cubo y con caras vestigiales de dodecaedro. Estos vistosos cristales se pueden encontrar en ferias de minerales y, en ocasiones, los aficionados menos avezados los confunden con fluorita.





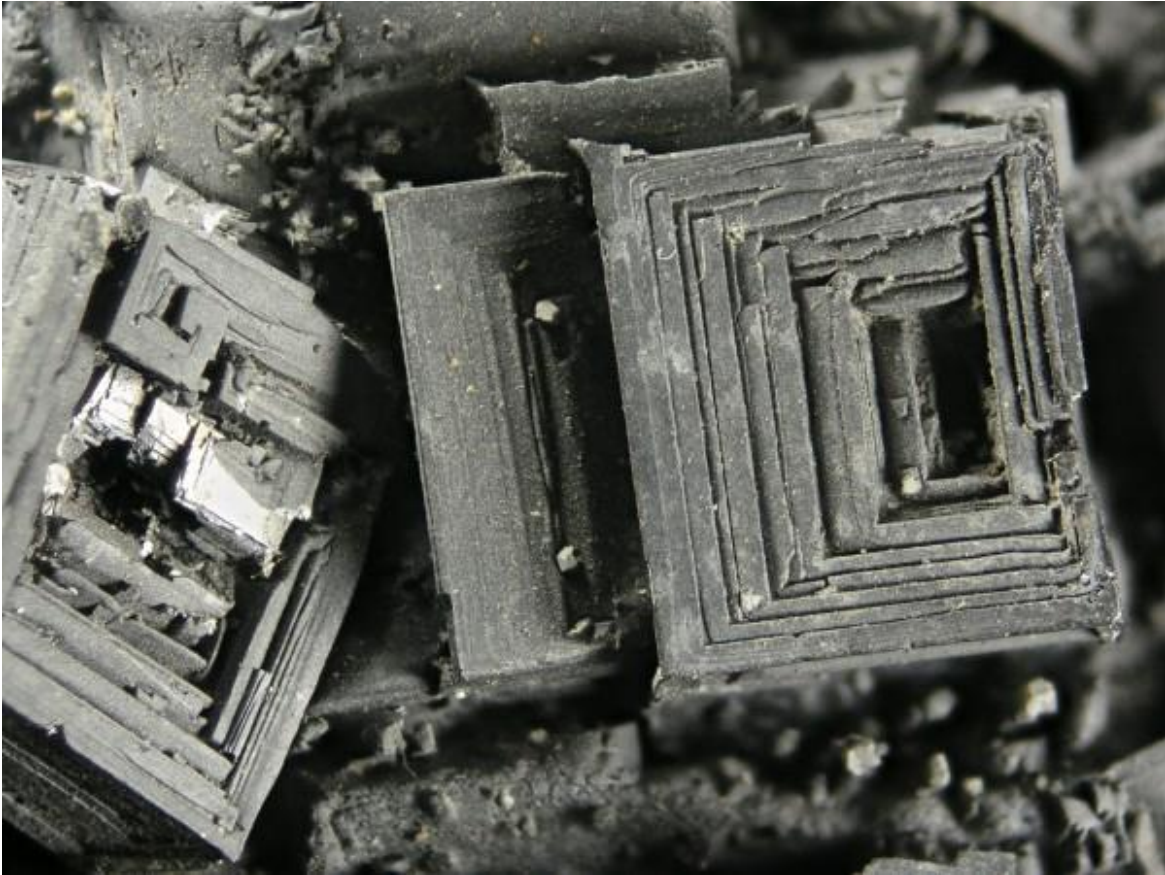
Fluorita de Duyos (Asturias). Pertenece a la clase Hexaquisoctaédrica. Este es un bonito ejemplo de cubo modificado por dodecaedro, un hábito bastante frecuente en la fluorita.



Cristales de cloruro potásico, isométricos de la clase Hexaquisoctaédrica, vistos con el microscopio (100x). Los halogenuros alcalinos suelen cristalizar en el hábito cúbico. No confundir hábito (la forma general en la que suele cristalizar una sustancia en unas condiciones dadas) con el sistema cristalino. En amarillo, un cristal de cloropaladato potásico.



Bismuto metal. Uno de los metales que más fácilmente forman cristales idiomorfos. Basta con fundir el metal y dejarlo enfriar lentamente. Este tipo de crecimiento se llama “en tolva”. Evidencia cómo se van rellenando los cristales según van creciendo. El bismuto forma cristales de hábito cúbico y, en este caso, el cristal que se estaba formando no era un cubo, sino una combinación de cubo y octaedro.



Cristales cúbicos de plomo elemental. Como en el caso del bismuto, los cristales están incompletos, mostrándose cómo el cristal va creciendo en capas.



Pequeños cristales cúbicos de sal común (NaCl), un mineral isométrico clásico.

# Tetragonal

January 18, 2014

El sistema Tetragonal se caracteriza por tener dos ejes en el mismo plano,  $a_1$  y  $a_2$  que son intercambiables y un eje perpendicular, llamado  $c$  con una longitud diferente a los otros. Aquí se define la relación axial. Cuando de un cristal tetragonal se dice que  $c=0.650$ , significa que el eje  $c$  es 0.650 veces la longitud de los ejes  $a$ .

Los cristales tetragonales son *ortogonales*, es decir, todos los ejes se cruzan en ángulo recto. Una forma de reconocerlos es cuando los miras y te imaginas seccionándolos, esa sección es cuadrada u octogonal. Con frecuencia los cristales tienen pirámides de cuatro lados y prismas cuadrados. Son frecuentes las formas tetraédricas, los cristales tabulares y los prismas de sección cuadrada.

El sistema Tetragonal tiene 7 clases:

1. Clase Dipiramidal Ditetragonal
2. Clase Tetragonal Trapezoédrica
3. Clase Piramidal Ditetragonal
4. Clase Escalenoédrica Tetragonal (esta forma suele dar lugar a escalenoedros tetragonales, y a unas formas llamadas *biesfenoides tetragonales*, que tienen cuatro lados y pueden confundirse con tetrahedros)
5. Clase Tetragonal Dipiramidal
6. Clase Piramidal Tetragonal
7. Clase Tetragonal Biesfenoidal

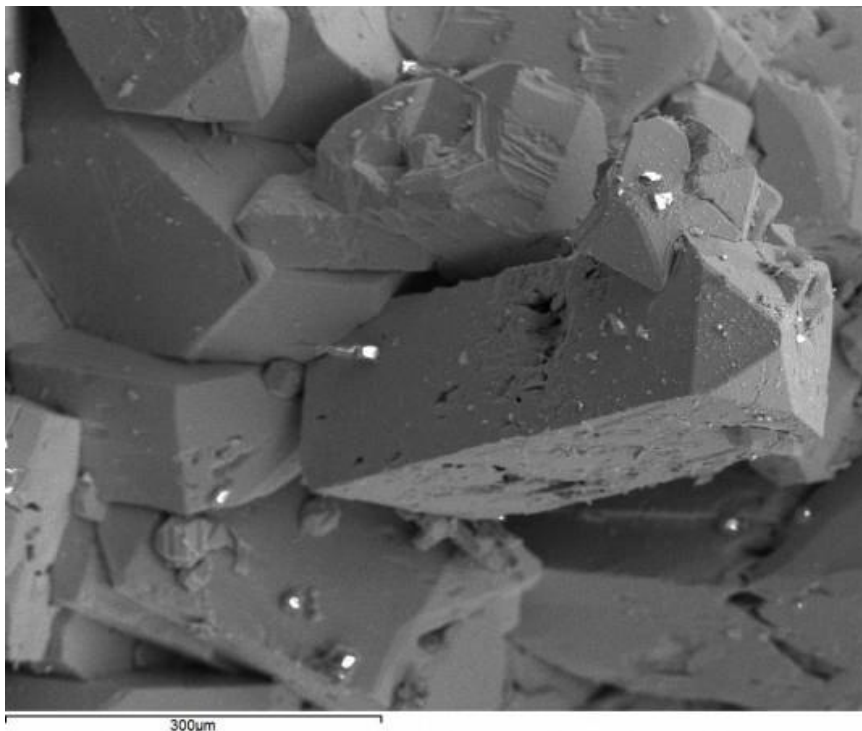




Mineral clásico del sistema tetragonal (clase dipiramidal tetragonal): la wulfenita. Esta es de la mina Laura (Albuñuelas, Granada, España)



Calcopirita. Mina "El Entredicho" (Almadenejos, Ciudad Real). Pertenece a la clase Escalenoédrica Tetragonal. Un ejemplo de un biesfenoide tetragonal, visto por una de sus caras (111)



La casiterita ( $\text{SnO}_2$ ) es un mineral tetragonal (ditetragonal bipiramidal). Sin embargo, pocas veces deja ver cristales "arquetípicos" de su sistema, como en este caso: un prisma tetragonal sencillo (observad la sección cuadrada) terminado en una pirámide tetragonal.

# Hexagonal

January 18, 2014

## Generalidades

Actualmente, el sistema Hexagonal está integrado junto con el Trigonal en la familia Hexagonal. Los cristales de este sistema son los más fáciles de reconocer. Se caracterizan por tener 4 ejes en el mismo plano que forman ángulos de  $120^\circ$  y un eje perpendicular  $c$ . Los cristales suelen ser prismáticos, con mucha frecuencia dándose el prisma hexagonal y las pirámides hexagonales. Si se secciona el cristal, la sección tiene seis o doce caras.

Clases hexagonales:

- Dihexagonal Bipiramidal (la más común)
- Trapezoédrica Hexagonal (esta clase es enantiomorfa y además nunca se encuentra en la naturaleza en forma de cristales euhedrales)
- Dihexagonal Piramidal (esta clase es hemimórfica, es decir, las terminaciones piramidales de los cristales solo aparecen en una terminación del cristal)
- Ditrigonal Bipiramidal Hexagonal
- Bipiramidal
- Hexagonal Piramidal (otra clase hemimórfica)
- Trigonal Bipiramidal (esta clase tampoco se da en la Naturaleza en forma de cristales euhedrales)

## Galería



Cristales de hielo (clase dihexagonal bipiramidal) formados por sublimación lenta en un ambiente frío



El Fluoroapatito de Adra (Almería). Un buen ejemplo de cristal hexagonal de la clase Hexagonal Bipiramidal. Prisma de sección hexagonal, terminación en pinacoide (la terminación plana de arriba) y con caras de bipirámide hexagonal.

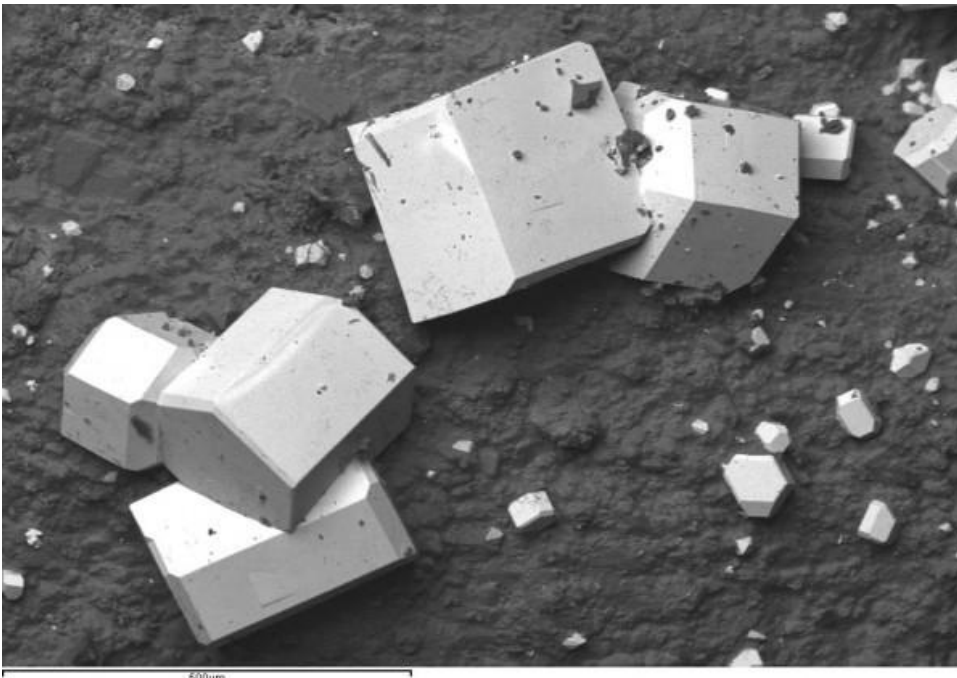
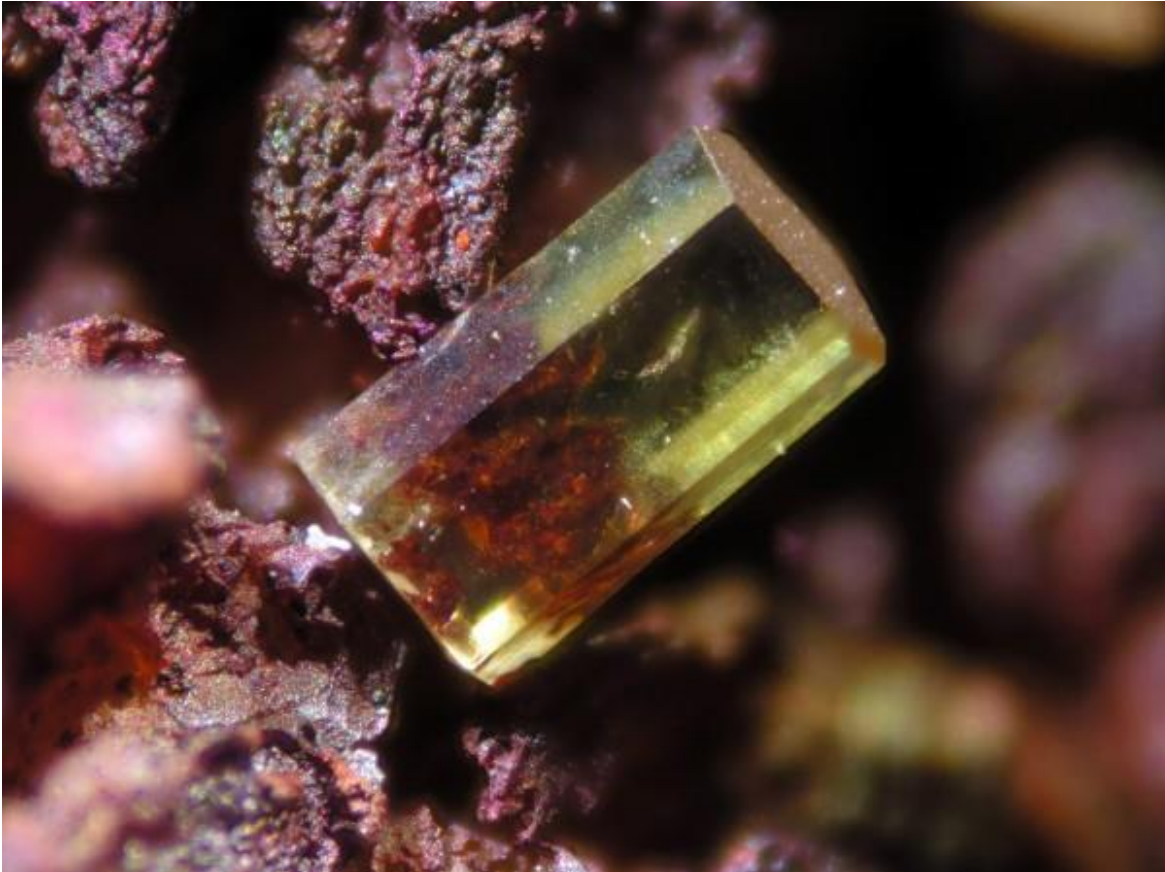


Imagen tomada con microscopio electrónico de cristales de Vanadinita, pertenecientes al sistema hexagonal. Observad los biseles en las aristas de los extremos superior e inferior de los cristales: son pequeñas caras de bipirámide.



Cristal Hexagonal de la clase Hexagonal Bipiramidal: piromorfita de la mina "Fajano" (Ciudad Real). El prisma hexagonal es una de las formas más fáciles de reconocer.

# Trigonal

January 18, 2014

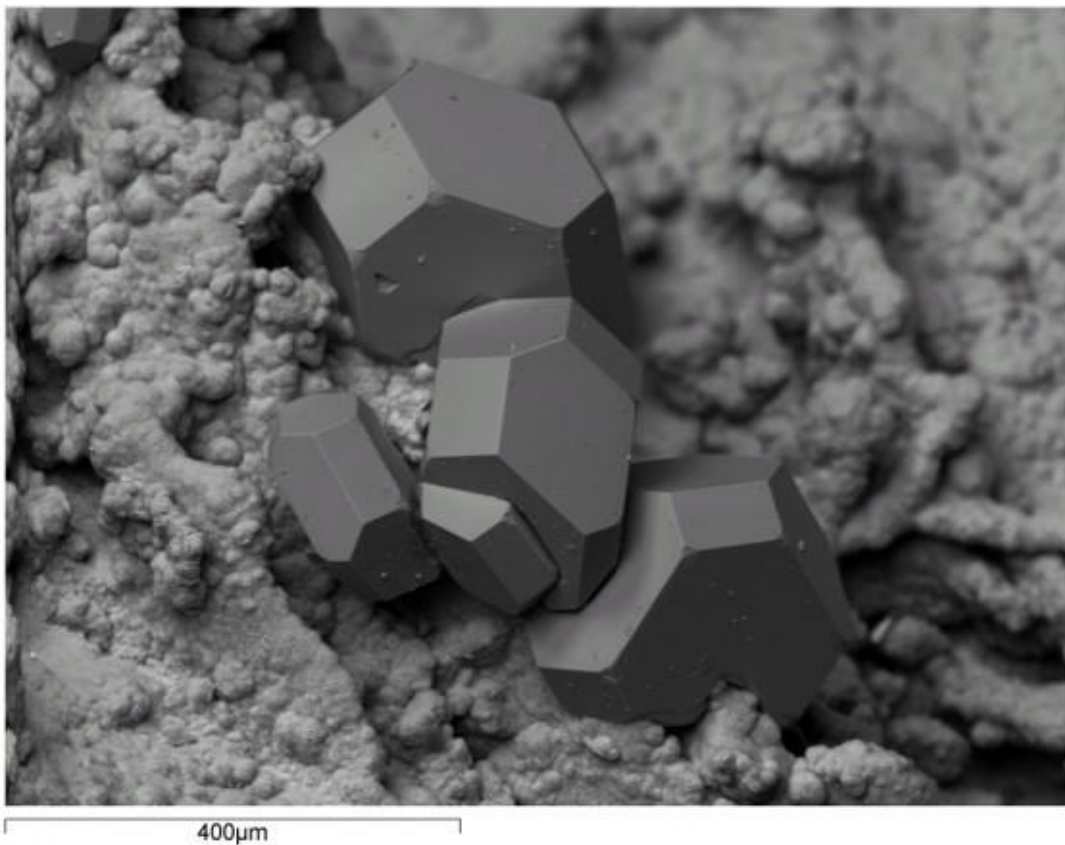
El sistema Trigonal (en la literatura más antigua llamado también sistema *romboédrico*) es considerado por muchos cristalógrafos como un conjunto dentro del Hexagonal. Esto es debido a que los ejes cristalográficos son idénticos. Sin embargo, desde el punto de vista estructural está claramente diferenciado y la simetría de sus cristales suele diferenciarse bien de los hexagonales.

Usualmente, los cristales trigonales forman romboedros, escalenoedros y prismas hexagonales. Hay 4 clases dentro del sistema Trigonal:

- Clase Escalenoédrica Hexagonal (un mineral muy importante cristaliza aquí: la Calcita. El escalenoedro y el romboedro son sus formas favoritas)
- Clase Trapezoédrica Trigonal (otro mineral muy importante está aquí: el Cuarzo. Sus formas favoritas son los prismas hexagonales terminados en pirámide trigonal. Es una clase enantimórfica)
- Clase Piramidal Ditrigonal (un buen ejemplo son las Turmalinas)
- Clase Romboédrica Trigonal (sus formas preferidas son los romboedros)



Pirargirita. Mina "La Fuerza", Hiendelaencina (Guadalajara). Un cristal trigonal de la clase Ditrigonal Piramidal.



Jarosita del Túnel del Arteal (Almería). Cristales trigonales de la clase hexagonal escalenoédrica. Imagen SEM





En la sección de cristales trigonales no podía faltar uno de sus minerales más importantes: la Calcita.

Este es un clásico romboedro, con una particularidad especial: no es un cristal natural, sino generado en el laboratorio por medio de la cristalización en gel.



No solo nosotros transportamos fantasmas: un escalenoedro de calcita con fantasma interior. En cristalografía, un fantasma es un cambio o interrupción en el crecimiento del cristal, que da lugar a formas extrañas, turbidez o burbujas. Y no, la imagen está bien. Es el extraño efecto visual que produce la doble refracción de la calcita.



Nitrato sódico (Nitratina, Nitrato de Chile). Forma romboedros que constituyen un ejemplo paradigmático del sistema trigonal. Obsérvese el parecido con los cristales de calcita.

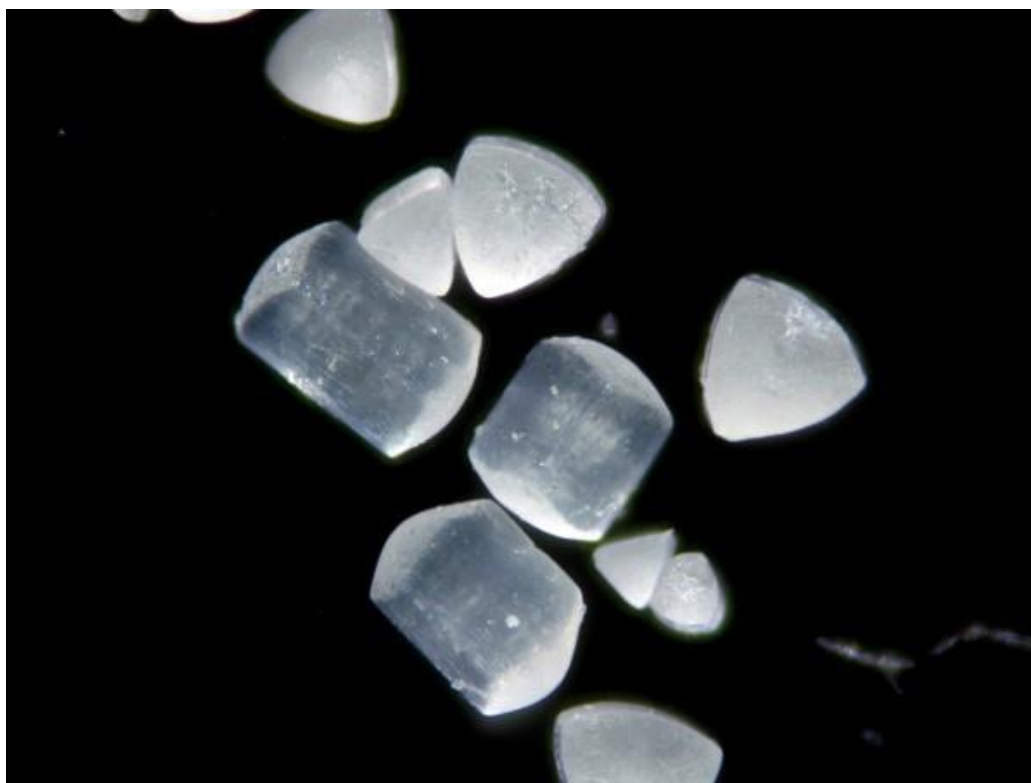
# Ortorrómico

January 18, 2014

Los cristales de este sistema se reconocen con relativa facilidad: los cristales son rectilíneos y los ángulos que forman, por ejemplo, la cara “frontal” y “trasera” con las bases es de  $90^\circ$ . Si ponemos el cristal vertical, lo orientamos de modo que el segundo eje más largo vaya de izquierda a derecha y miramos de frente, el perfil del cristal es rectangular o rómbico.

Clases:

- Bipiramidal Ortorrómica
- Biesfenoidal Ortorrómica
- Piramidal Ortorrómica (esta clase es *hemimórfica*, es decir, la terminación basal y la superior son diferentes)



Anhidrita, obtenida en el laboratorio. Cristales de la clase Bipiramidal. Aunque están bastante redondeados, se puede ver que son combinaciones de dos prismas rómbicos de tercer orden (paralelos al eje mayor) y bipirámide rómbica.

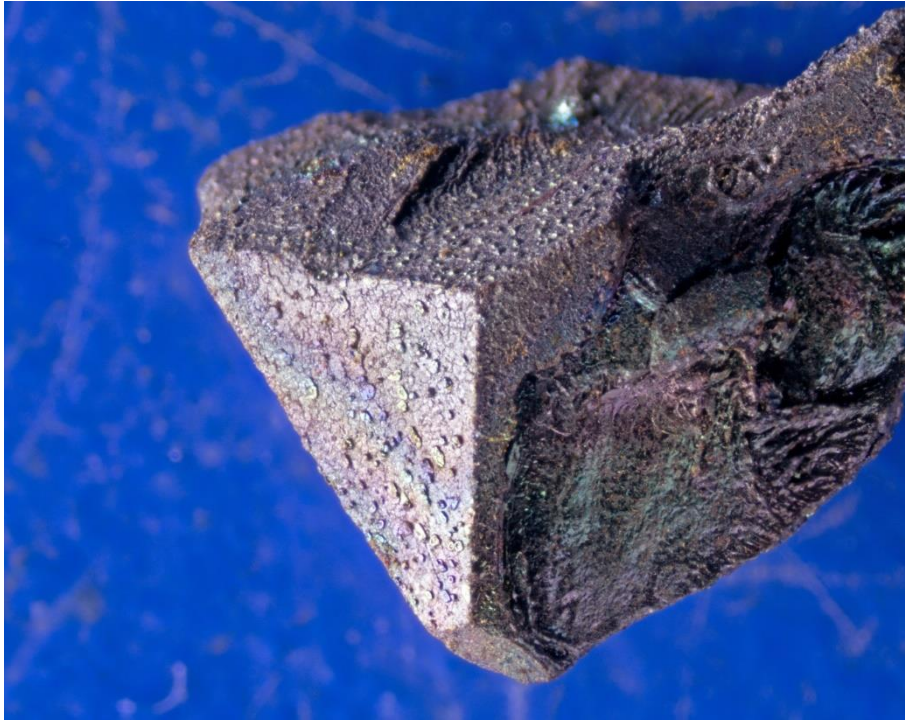


Similares a los anteriores, aunque suelen tener sección cuadrada cuando se observan en la dirección del eje mayor, son los cristales de L-histidina. Este aminoácido es fundamental para las proteínas: actúa como buffer de pH y es esencial en la actividad catalítica de una gran parte de las enzimas. Foto: Yuliia Fatych / UAH.



La barita es un mineral ortorrómbico clásico. Esta pertenece a la mina “Londres” de El

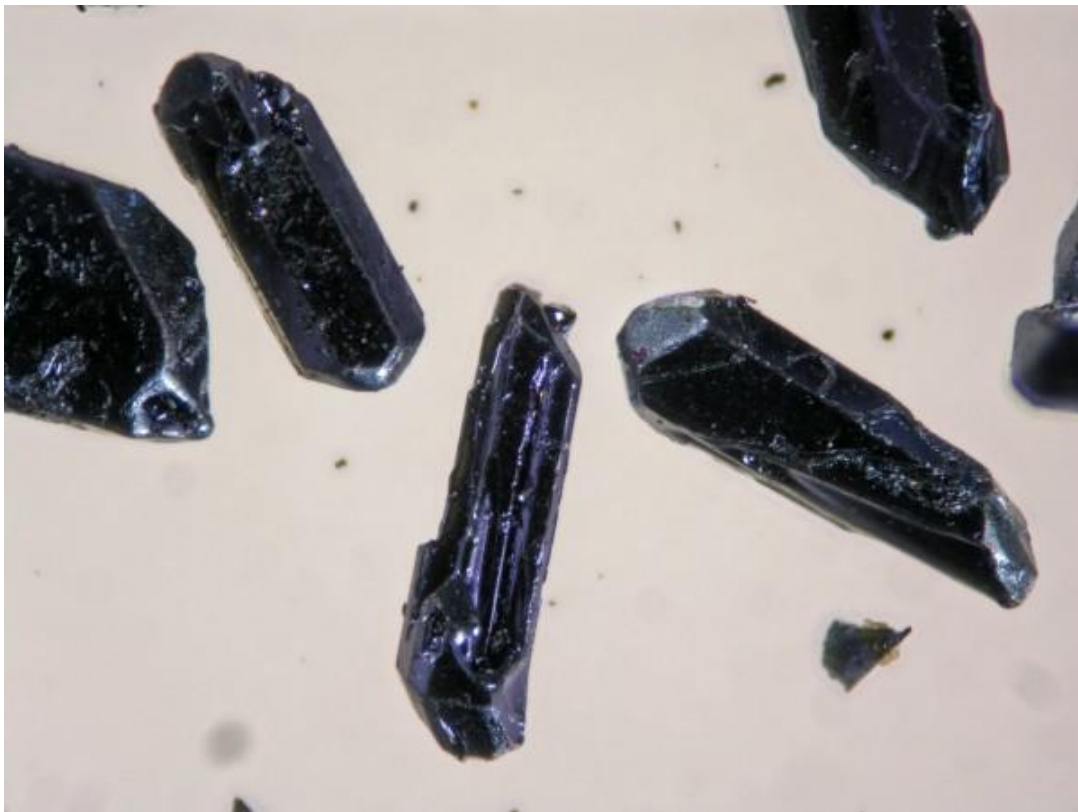
## Pedroso (Sevilla)



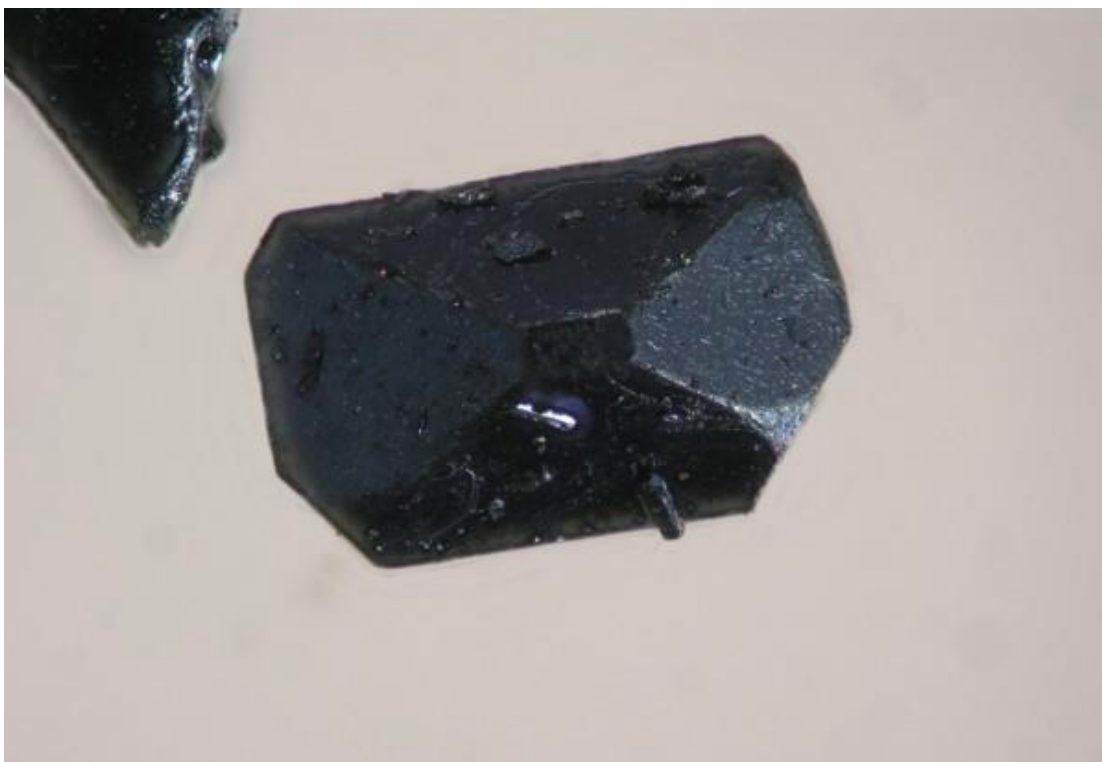
El yodo elemental cristaliza formando grandes cristales negro-violáceos



Otro ejemplo de cristal ortorrómbico: Barita de la mina “San Miguel” (Huelva). Este es un prisma de primer orden (paralelo al eje menor) y pinacoides frontales. Mirando con atención las esquinas, se ven caras vestigiales de prismas de tercer orden.



Cristales de permanganato potásico. Pertenecen a la clase Bipiramidal Ortorrómbica y su aspecto general recuerda a la estaurolita, mineral que cristaliza en la misma clase.



En este cristal de permanganato potásico se aprecian bien las características de los cristales ortorrómbicos, a pesar de que es una combinación complicada de prismas y pinacoides.



Cristal de perclorato amónico ( $\text{NH}_4\text{ClO}_4$ ), con abundantes inclusiones acuosas



Más cristales de perclorato amónico. Observa la similitud con los cristales de permanganato. De hecho, el permanganato ( $\text{MnO}_4^-$ ) y el perclorato ( $\text{ClO}_4^-$ ) tienen ciertas similitudes químicas y forman sales con estructuras similares.

# Monoclínico

January 18, 2014

La Naturaleza tiene una especial predilección por este sistema cristalino. Una enorme cantidad de sales y sustancias químicas cristalizan en el sistema Monoclínico, cuyos cristales suelen tener hábito prismático, pero también con mucha frecuencia forman cristales aciculares y tabulares.

La sección del cristal suele ser rectangular o un rectángulo con las esquinas cortadas. Con mucha frecuencia forman cristales rómbicos muy fáciles de confundir con los del sistema Ortorrómbico y, a veces, los principiantes en la morfología cristalina se lian bastante. Cuando los cristales tienen terminación, la mitad delantera de la terminación es distinta de la trasera, lo que lo diferencia del sistema ortorrómbico.

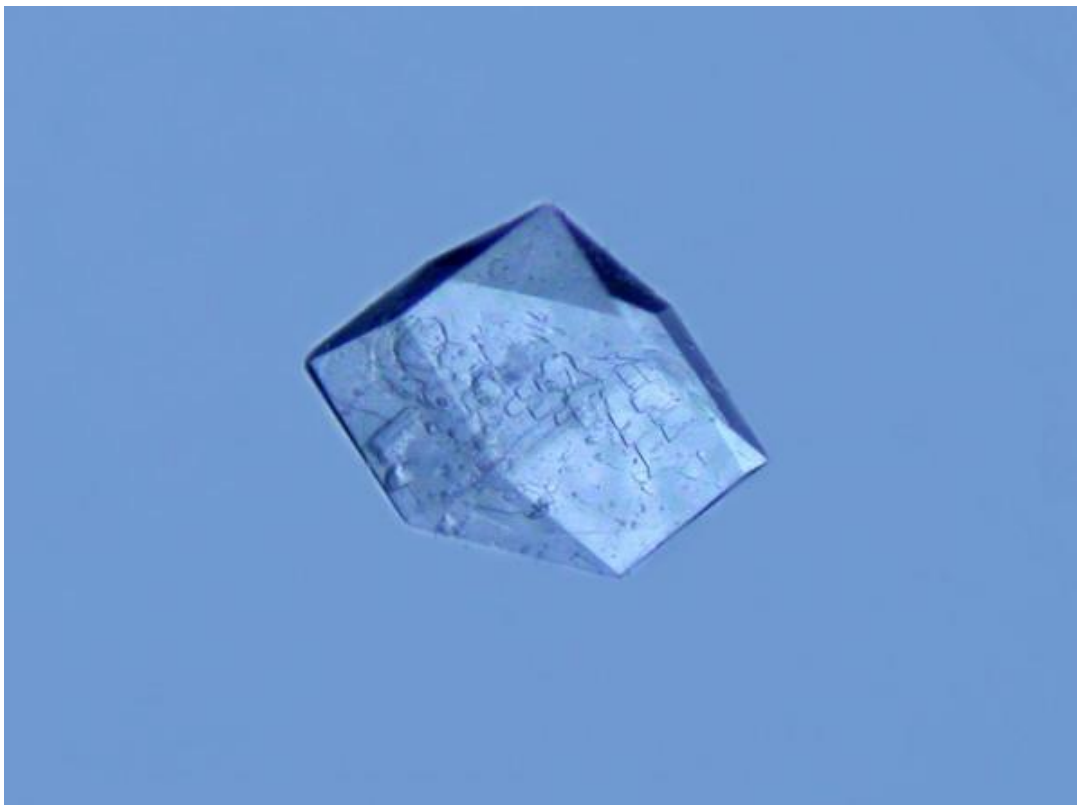
Clases cristalinas:

- Prismática
- Esfenoidal (más rara. Los cristales de esta clase tienden a formar cristales aciculares)
- Domática (clase hemimórfica)



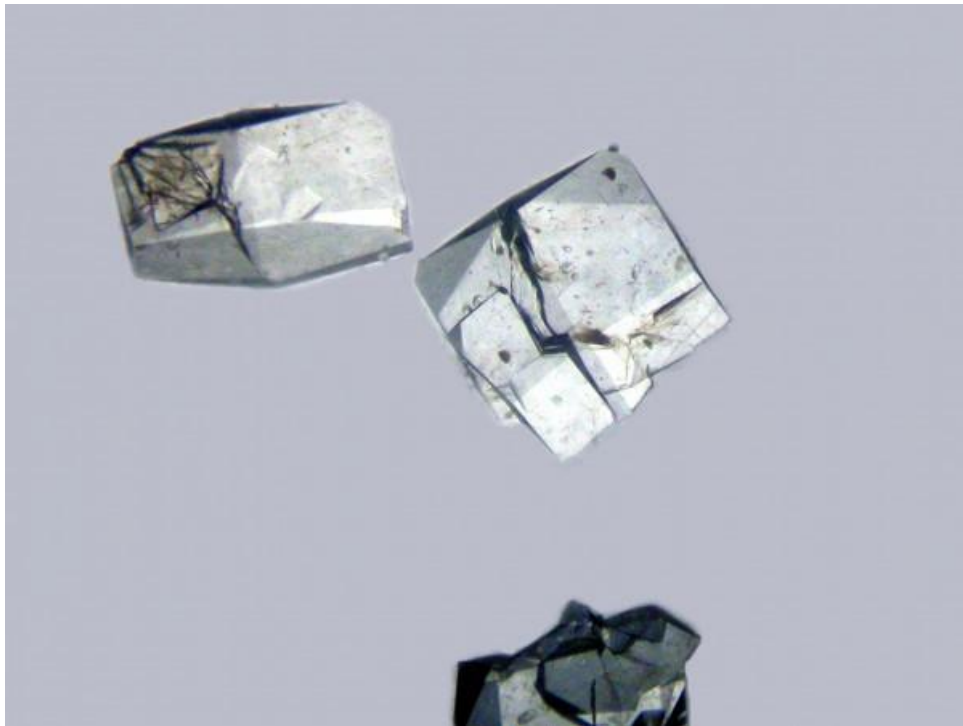


Un cristal prismático monoclinico, clase prismática. Es una Calcosina de la mina "Las Cruces", Gerena (Sevilla)



Un cristal monoclinico del enzima Lisozima. La Lisozima es fácil de cristalizar y es un modelo para la cristalización de proteínas. Fue el primer enzima cuya estructura se

resolvió mediante difracción de rayos X del cristal.



Mas cristales de lisozima. Esta proteína se encuentra en la clara de huevo, saliva y lágrimas e impide que nuestros ojos y boca se infecten por bacterias, ya que daña la pared bacteriana



Parapirotita, una rara sulfosal de talio, que forma bonitos cristales monoclínicos. Sobre Rejalgar. De la localidad tipo, Allchar (Macedonia)

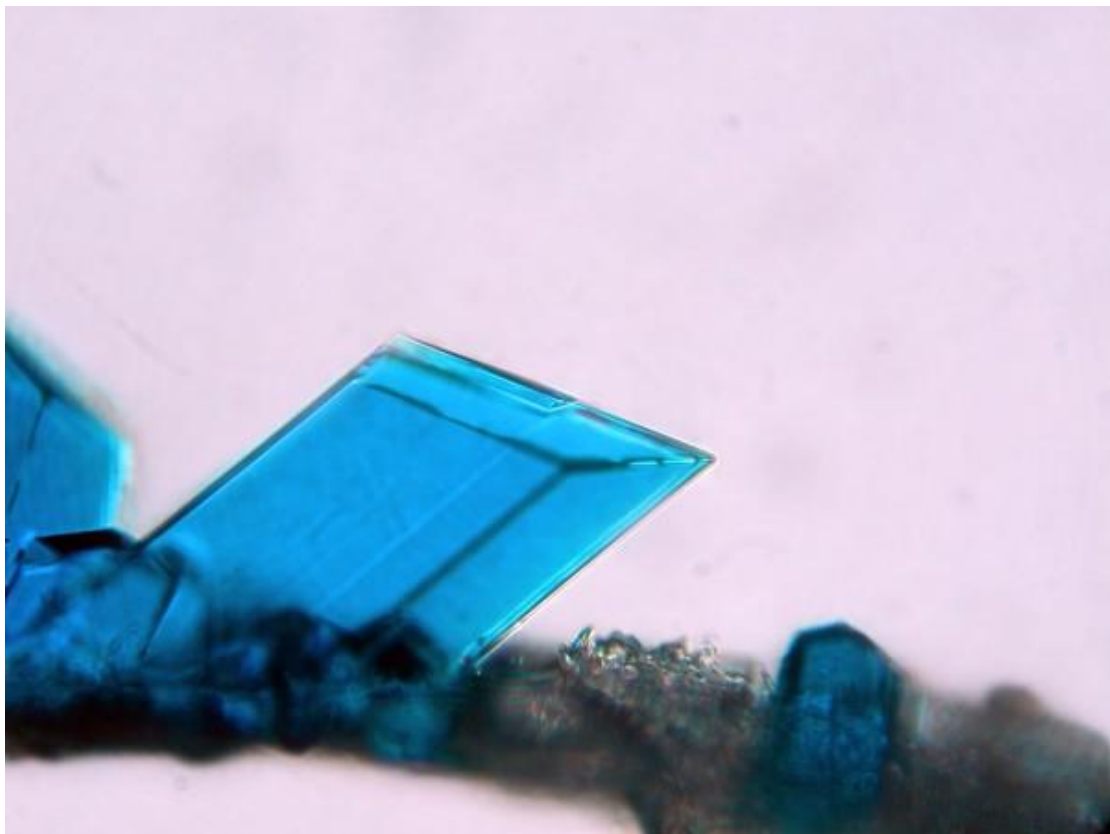
# Triclínico

January 18, 2014

El sistema Triclínico es el que menos simetría posee. Todas las formas son pinacoides (es decir, son pares de caras paralelas en sitios opuestos del cristal) o pediones (caras simples, sin caras similares en el resto del cristal). Los ejes se inclinan en tres direcciones y los cristales tienen ausencia de ángulos rectos entre caras y en sus esquinas. Sin embargo, a veces los ángulos son casi rectos y los cristales pueden confundirse con ortorrómbicos. También forma a veces cristales casi hexagonales, que pueden confundirse con los del sistema hexagonal y forman pseudocubos.

El sistema consta de las clases:

- Pinacoidal
- Pedial



La Calcantita (sulfato de cobre hidratado), aquí vista con microscopio desarrollándose sobre un sulfuro de cobre en proceso de oxidación, es un ejemplo de cristal triclínico que podría, a primera vista, confundirse con ortorrómbico. Sin embargo, si medís los ángulos visibles, veréis que no son de  $90^\circ$ .