

**UNIDAD SEGUNDA:  
LA MATERIA MINERAL Y LA MATERIA CRISTALINA.**

**CONTENIDOS:**

1. INTRODUCCIÓN.
2. EL CRISTAL Y LA CRISTALOGRAFÍA.
  - 2.1. Concepto de cristal.
  - 2.2. Contenido y ramas de la cristalografía.
3. LA SIMETRÍA CRISTALINA.
  - 3.1. Concepto de simetría.
  - 3.2. Operaciones y operadores de simetría.
  - 3.3. Clases de simetría.
  - 3.4. Sistemas de simetría.
  - 3.5. Redes cristalinas.
4. CRISTALQUÍMICA.
  - 4.1. El cristal y las fuerzas de enlace entre las partículas.
  - 4.2. Cristales iónicos.
  - 4.3. Cristales metálicos.
  - 4.4. Cristales covalentes.
  - 4.5. Cristales heterodésimicos.
5. MÉTODOS DE ESTUDIO DE LOS CRISTALES (CRISTALOFÍSICA).
  - 5.1. Cristalografía óptica.
  - 5.2. Determinaciones por  $R_x$ .
6. LA MATERIA MINERAL Y LA MINERALOGÍA.
  - 6.1. Concepto de mineral.
  - 6.2. Contenido y ramas de la mineralogía.
7. DETERMINACIÓN Y RECONOCIMIENTO DE LOS MINERALES.
  - 7.1. Propiedades mecánicas (ensayos sencillos).
  - 7.2. Propiedades físicas.
  - 7.3. Propiedades químicas.
8. CLASIFICACIÓN DE LOS MINERALES.
9. PROCESOS MINERALOGENÉTICOS.
10. BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS DIDÁCTICOS.

## 1. INTRODUCCIÓN.

*Las capas sólidas de la Tierra están constituidas por rocas que guardan la biografía de nuestro planeta. Son, desde este punto de vista, una novela apasionante que narra escenas como la formación de la Hidrosfera y la Atmósfera, la aparición de la vida, la evolución de los seres humanos, la acumulación de hidrocarburos, y tantas otras historias...*

*Para entender el lenguaje con el que nos hablan las rocas necesitamos conocer algo sobre sus componentes. Las rocas son un agregado de minerales, están compuestas de lo que llamamos materia mineral.*

*En este tema desarrollamos las principales características de la materia mineral, los métodos más comunes que se usan para su estudio y los procesos que forman los minerales presentes en las rocas.*

*Comenzaremos por la materia cristalina dado que los minerales son, ante todo, agregados cristalinos formados en procesos naturales que podemos reconocer si observamos convenientemente la roca que los contiene.*

*Finalizamos con la exposición de aquellos aspectos de la naturaleza de la materia mineral que nos ayudan a comprender la relación entre las propiedades y los procesos geológicos responsables de la génesis mineral.*

*La mineralogía y la cristalografía se convierten en disciplinas necesarias para interpretar el legado que cada roca guarda desde tiempos inmemoriales.*

## 2. EL CRISTAL Y LA CRISTALOGRAFÍA.

### Concepto de materia cristalina: el cristal.

Un cristal es un ente real formado por partículas (iones, átomos o moléculas) que se repiten periódicamente en las tres dimensiones del espacio. Se trata de una entidad simétrica en la medida en que algunas de sus características se repiten mediante operaciones de simetría.

Si no existe una circunstancia que lo evite, los cristales están limitados en el espacio por caras planas que contienen materia homogénea y anisótropa, es decir: su composición es la misma en todas sus partes y su respuesta varía con la dirección en la que se mida una determinada propiedad.

La materia cristalina se define por cinco características:

- 1. Formada por partículas,**
- 2. Simetría,**
- 3. Homogeneidad,**
- 4. Anisotropía**
- 5. Limitada en el espacio.**

La cristalografía es la ciencia que estudia las formas y las propiedades físico-químicas de la materia cristalina. Su origen está asociado a la mineralogía aunque solamente se relaciona con ésta por el hecho de que los minerales son cristales. Como ciencia independiente ha adquirido cuerpo desde principios del siglo XX aunque los principios básicos como la *ley de Steno* y la *ley de Havy* fueron postulados con anterioridad. Hoy en día se ha especializado subdividiéndose en múltiples ramas como:

La **Simetría** cristalina que centra su estudio en el análisis de los procedimientos que generan la simetría externa (grupos puntuales de simetría) e interna (grupos espaciales de simetría) de los cristales.

La **Cristaloquímica** se preocupa de establecer la relación entre la estructura interna de la materia (disposición de las partículas) y sus propiedades físicas y químicas.

La **Cristalofísica** estudia la respuesta de los cristales a los estímulos físicos como  $R_x$ , temperatura, presión, luz...

La **Cristalografía óptica** es una rama de la cristalofísica que se especializa en el estudio del comportamiento de los cristales ante la luz.

### 3. LA SIMETRÍA CRISTALINA.

#### Concepto de simetría.

---

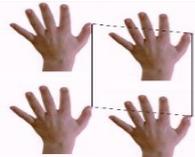
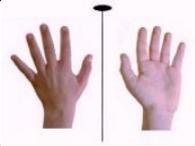
Desde un punto de vista general, la simetría es la constancia o repetición de algo en el tiempo o en el espacio. Pero en cristalografía nos limitamos a la repetición de las partículas que constituyen los cristales (simetría espacial) o al estudio de la repetición de los elementos geométricos que lo componen a escala macroscópica (vértices, aristas y caras).

Este estudio se desarrolla mediante el reconocimiento de la existencia de operaciones de simetría que se ponen de manifiesto por la actuación de operadores de simetría.

#### Operaciones y operadores de simetría.

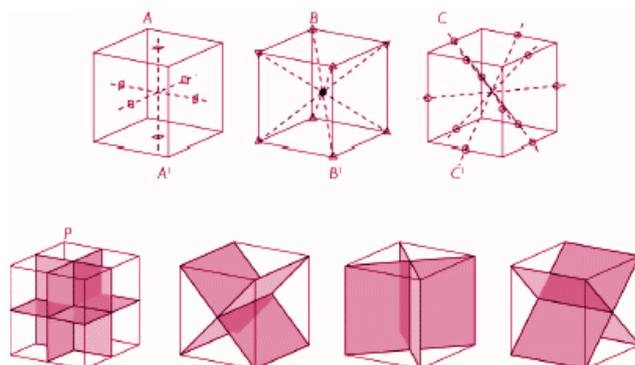
---

Una **operación** de simetría es un procedimiento mediante el cual un motivo perteneciente a un cristal se repite en un lugar distinto. Así, una arista, un vértice o una cara del cristal estarían presentes en varias posiciones del mismo pudiéndose establecer una relación entre ellas en función de dicho proceso. Tales procedimientos se pueden concretar en cuatro operaciones de simetría básicas:

Traslación	Los motivos se repiten a una distancia fija como las traviesas de una vía férrea	
Rotación	Todos los elementos del cristal se repiten 2, 3, 4 o 6 veces al girar 180°, 120°, 90° o 60°.	
Reflexión	Los distintos elementos que constituyen el cristal se duplican como si se estuviesen reflejando en un espejo.	
Inversión	Los elementos del sólido se repiten invertidos (la imagen muestra a la izquierda la derecha y hacia arriba lo de abajo).	

Para visualizar las operaciones de simetría se utilizan entidades matemáticas que denominamos **operadores** de simetría. A cada operación le corresponde un operador:

- Vector de traslación: En ella el módulo del vector indica el valor del desplazamiento del motivo que se repite y la dirección de repetición se representa por la dirección del vector.
- Eje de simetría: es una línea imaginaria que cruza el interior de la estructura cristalina. Al girar 360° hacen que el motivo geométrico del cristal se repita un número determinado de veces. Los ejes de simetría pueden ser binarios, ternarios, cuaternarios y senarios, según el número de repeticiones que generen. Se representa  $E^2$ ,  $E^3$ ,  $E^4$  y  $E^6$ , donde el superíndice indica el número de veces que se repite el motivo y se conoce como "orden".
- Plano de simetría: es una superficie plana que dividen el cristal en dos mitades exactamente iguales. Actúa como un espejo en el que se "reflejan" los motivos que componen el cristal. Se representa con la letra P.
- Centro de simetría: es un punto imaginario situado en el interior del cristal. Por ellos pasan los principales ejes y planos de simetría. Se representa con la letra Z.



En la figura se han representado los diferentes elementos de simetría (ejes, centro y planos de simetría) tomando como ejemplo un hexaedro (cubo).

### Clases y sistemas de simetría.

Cuando un cristal presenta una morfología bien desarrollada podemos reconocer estudiando su geometría los diferentes operadores o elementos de simetría. Pero todas las combinaciones no son posibles. Solamente existen 32 compatibles con los *teoremas de la Simetría* a las que conocemos como **clases de simetría**.

La tabla siguiente muestra las 32 clases de simetría:

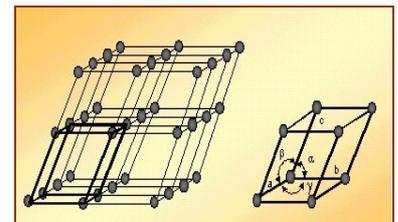
CLASE SISTEMA	HOLOÉDRICAS	HEMIÉDRICAS				TETARTOÉDRICAS	
		Enantiomórfica	Hemimórfica	Paramórfica	Inversión	Tetartoédrica	Inversión
CÚBICO	$4E^3, 3E^4, 6E^2, Z, 3P, 6p$	$4E^3, 3E^4, 6E^2$	$4E^3, 3E^4, 6p$	$4E^3, 3E^2, Z, 3p$		$4E^3, 3E^2,$	
TETRAGONAL	$E^4, 4E^2, Z, P, 4p$	$E^4, 4E^2$	$E^4, 4p$	$E^4, Z, P$	$E^4, 2E^2, 2p$	$E^4$	$E^4$
TRIGONAL	$E^3, 3E^2, Z, 3p$	$E^3, 3E^2$	$E^3, 3p$	$E^3, Z$		$E^3$	
HEXAGONAL	$E^6, 6E^2, Z, P, 6p$	$E^6, 6E^2$	$E^6, 6p$	$E^6, Z, P$	$E^3, 3E^2, Z, 3p$	$E^6$	$E^3, Z$
RÓMBICO	$3E^2, Z, 3P$	$3E^2$	$E^2, 2P$				
MONOCLÍNICO	$E^2, Z, P$	$E^2$	$Z$				
TRICLÍNICO	$Z$	$E^1$					

Las clases de simetría se agrupan en siete sistemas de simetría por la presencia de determinados elementos de simetría comunes.

SISTEMA	Elementos de simetría comunes	
	Notación tradicional	Hermann-Mougain
Cúbico:	$4E^3$	3, 3, 3, 3
Trigonal:	$1E^3$	3
Rómbico:	$3E^2$	2, 2, 2
Hexagonal	$1E^6$	6
Tetragonal	$1E^4$	4
Monoclínico	$1E^2$	2
Triclínico:	$Z$	1

### Redes cristalinas.

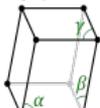
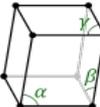
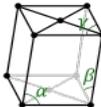
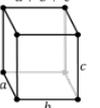
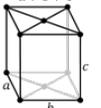
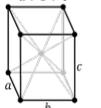
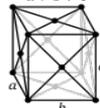
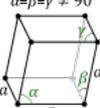
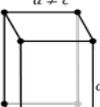
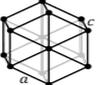
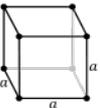
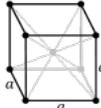
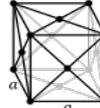
Hemos considerado la materia cristalina desde un punto de vista morfológico pero, como se recoge al principio, un cristal está formado por partículas que se repiten en las tres direcciones del espacio. Por esto debemos considerar que un cristal es una red en cuyos nudos se sitúan las partículas y



que éstas ocupan posiciones definidas por unas coordenadas. De esta forma podemos introducir el concepto de *celdilla unitaria* (celda unidad) que se define para cada estructura

cristalina como una relación axial ( $a, b, c$ ) y otra angular ( $\alpha, \beta, \gamma$ ) características del paralelepípedo formado por el mínimo número de partículas que generan por repetición la red cristalina como se muestra en la figura.

En la tabla se muestra las celdillas unitarias compatibles con los distintos sistemas de simetría. Se conocen como *redes de Bravais* y se agrupan en cuatro tipos en función que presenten partículas solamente en los vértices (P), en los vértices y en dos caras (C), en los vértices y en el interior (I) en los vértices y en todas las caras (F).

SISTEMA	TIPO DE RED			
	P	C	I	F
<b>TRICLÍNICO</b> $a \neq b \neq c \neq a$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	$\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$ 			
<b>MONOCLÍNICO</b> $a \neq b \neq c \neq a$ $\alpha = \gamma = 90^\circ; \beta \neq 90^\circ$	$\alpha \neq 90^\circ$ $\beta, \gamma = 90^\circ$ 	$\alpha \neq 90^\circ$ $\beta, \gamma = 90^\circ$ 		
<b>RÓMBICO</b> $a \neq b \neq c \neq a$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 	$a \neq b \neq c$ 
<b>TRIGONAL</b> $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ 			
<b>TETRAGONAL</b> $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a \neq c$ 		$a \neq c$ 	
<b>HEXAGONAL</b> $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$				
<b>CÚBICO</b> $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$				

## 4. CRISTALQUÍMICA

### El cristal y las fuerzas de enlace entre las partículas.

Desde el punto de vista de la cristalquímica la estructura de la red cristalina (relación axial y angular y tipo de celdilla) y las propiedades que poseen los cristales dependen del tipo de elementos que los constituyen dado éstos determinan las fuerzas que los unen y los enlaces que presentan. Por ello es importante conocer la tipología de los cristales en función de la naturaleza de los enlaces presentes entre las partículas.

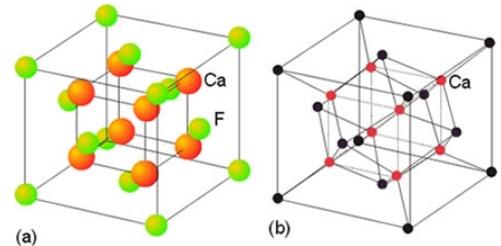
Existen dos tipos diferentes de cristales:

1. *Cristales moleculares* en los que las partículas que conforman la red cristalina son moléculas. Son característicos de los compuestos orgánicos y muy raros entre la materia mineral.
2. *Cristales no moleculares* en los que las partículas son átomos, unidos por enlace iónico, metálico o covalente.

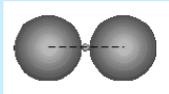
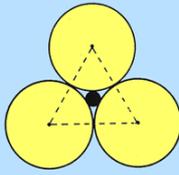
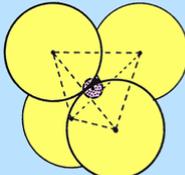
### Cristales iónicos.

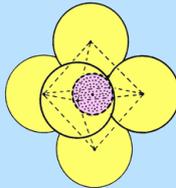
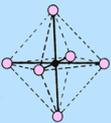
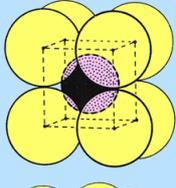
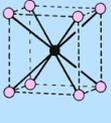
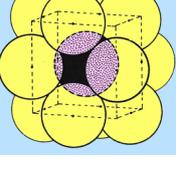
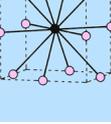
Este tipo de enlace se basa en la atracción entre átomos con carga eléctrica (iones). El resultado es una conexión química fuerte debido a la diferencia de carga eléctrica entre el anión y el catión.

En este enlace el ión de menor tamaño ocupa la posición central de la red y a su alrededor se dispone un número de iones de mayor tamaño (número de coordinación). El poliedro formado por los iones que rodean a un catión, o al revés, se denomina *poliedro de coordinación*. Éste depende del tamaño relativo de los iones, lo que se llama radio iónico. En términos generales, un catión grande suele disponer de una mayor cantidad de aniones a su alrededor y por lo tanto su número de coordinación será elevado y presentará mayor simetría. Es el caso de la Fluorita ( $\text{CaF}_2$ ) cuya relación de radios  $R_{\text{Ca}}/R_{\text{F}} = 0.98$  implica un número de coordinación 8 con simetría de la clase  $4E^3, 3E^4, 6E^2, Z, 3P, 6p$ .



En la tabla se muestran ejemplos que ilustra el vínculo existente entre la relación de radios y la geometría interna del cristal.

Número de coordinación	$R_{\text{Cación}}/R_{\text{anión}}$	Poliedro de coordinación	Ejemplo
2	0 – 0,155		$\text{HF}^-$
3	0,115 – 0,225		$\text{CaCO}_3$
4	0,225 – 0,414		$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$

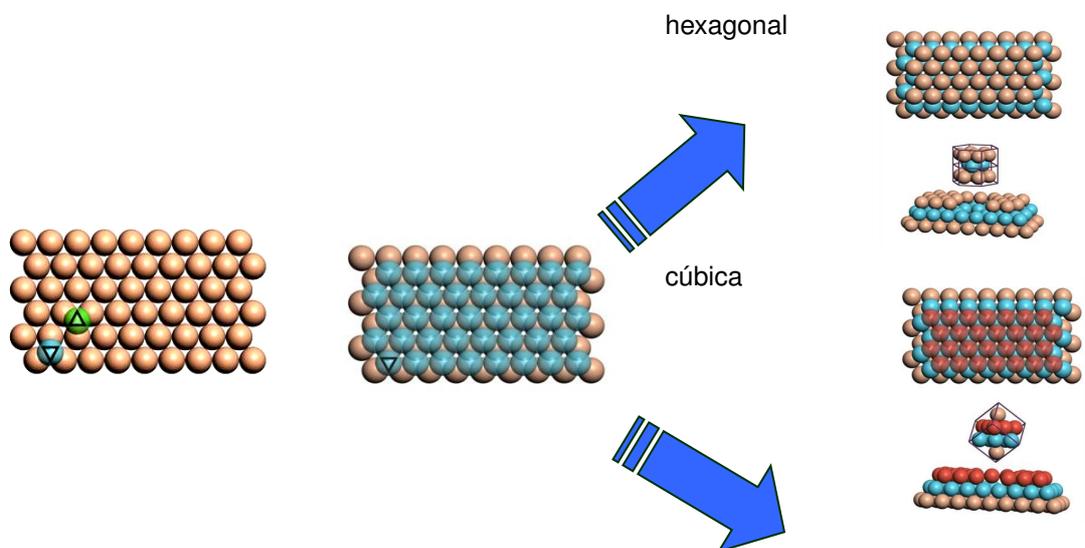
6	0,414 – 0,732			NaCl
8	0,732 – 1			CsCl
12	1			Ag

Este tipo de enlace es frecuente en minerales comunes como los sulfuros, haluros y óxidos.

Cristales metálicos.

Los cuerpos metálicos presentan un tipo de enlace de **gran cohesión** debido a que varios átomos comparten una **nube de electrones** que circulan de una órbita a otra sin pertenecer a un núcleo concreto. Esta propiedad, característica de elementos poco electronegativos, proporciona a los metales sus propiedades de dureza, tenacidad y gran conductividad eléctrica.

La principal característica de las redes cristalinas en las que interviene el enlace metálico viene determinada por la coordinación 12, dado que la relación de radios es 1. Consideramos la red como el resultado del *apilamiento* de átomos en capas sucesivas como muestran las figuras. Las redes resultantes corresponden al cúbico (CCC, CCI) o al hexagonal (HC).

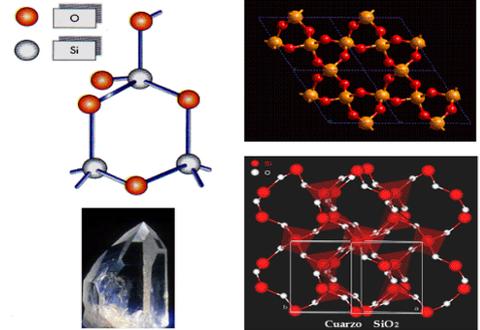


No es muy frecuente en los minerales la presencia de este tipo de enlace. Se halla en los minerales del grupo de los elementos nativos como Au, Ag y Cu.

---

Cristales covalentes.

En este tipo de enlace dos o más átomos se mantienen cohesionados debido a que comparten un número par de electrones que cohabitan en un *orbital híbrido*. Es propio de compuestos formados por elementos electronegativos. Por sus peculiares características, se trata del enlace químico más fuerte que se conoce, aunque la consistencia de la red depende en gran medida de la orientación de los enlaces. El enlace covalente es propio de algunos compuestos muy comunes, como el agua, la molécula de oxígeno o el metano, y también se encuentra en la mayor parte de los minerales duros, como el cuarzo y diamante, siendo propio de la estructura de las redes de los silicatos, cuya unidad básica es un tetraedro formado por cuatro átomos de oxígeno situados en los vértices y un átomo de silicio en el centro.

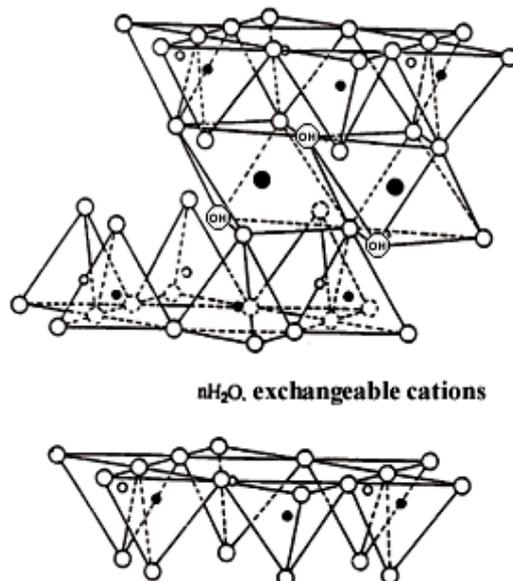



---

Cristales heterodésmicos.

En muchos casos una misma sustancia presenta una **combinación de varios tipos de redes cristalinas**, a menudo orientadas en planos o siguiendo un eje de simetría. En tales casos, la distribución de las redes y el predominio de una u otra determinará muchas propiedades de la sustancia, como la dureza o la conductividad eléctrica.

Un ejemplo típico de red mixta lo constituyen las micas como la moscovita, formado cuya estructura básica está formada por capas de tetraedros de sílice y oxígeno unidos fuertemente



mediante un enlace covalente en las cuales existen grandes huecos que alojan a cationes que compensan el déficit de carga de la capa conformando octaedros unidos por enlaces iónicos y moléculas de agua y (OH)<sup>-</sup> que unen cada tres capas mediante enlaces débiles de tipo Van der Waals.

## 5. MÉTODOS DE ESTUDIO DE LOS CRISTALES (CRISTALOFÍSICA).

El estudio de las características de la materia cristalina se establece gracias a una amplia gama de procedimientos que requieren del uso de métodos específicos. Podemos destacar en este tema los más comunes.

Cristalografía óptica.

Los métodos de observación basados en la interacción de la materia cristalina con la luz se conocen como métodos ópticos y las propiedades que estudian se denominan propiedades ópticas. Aunque algunas de estas propiedades pueden ser observadas a simple vista como el color y el brillo se utiliza un microscopio óptico que dispone de un polarizador y analizador, entre otros dispositivos especiales.



Con la ayuda del microscopio podemos determinar el **índice de refracción**, (relación existente entre la velocidad de propagación de la luz en el aire y en el cristal), la **absorción** (porcentaje de la luz que retiene la estructura), el **pleuroismo** (absorción diferencial dependiente de la orientación en la que incide la luz), entre otras propiedades.

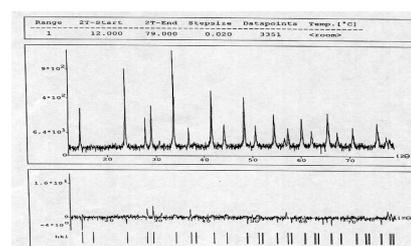
Determinaciones por  $R_x$ .

El descubrimiento de los  $R_x$  (Roentgen, 1895) y su aplicación al estudio de los cristales ha impulsado sobremanera el conocimiento de la estructura cristalina. Dado que la longitud de onda de la radiación X oscila entre 100 y 0.02 Å, pueden interactuar con las partículas que forman la red cristalina y nos permiten determinar su estructura con precisión.

Los métodos más frecuentes se basan en que al incidir un haz de rayos sobre el cristal los átomos que encuentra en su trayectoria vibran y absorben parte de la energía y actúan como nueva fuente de ondas de este tipo de energía. Los diferentes ensayos difieren en el procedimiento de registro y en el tipo de preparación que se requiere. Entre otros destacamos el ensayo de Von Laue, el método de rotación y precisión y el método de polvo (el gráfico corresponde al registro de este último ensayo).



equipo de un difractómetro automático



registro de un ensayo del método de polvo

## 6. LA MATERIA MINERAL Y LA MINERALOGÍA.

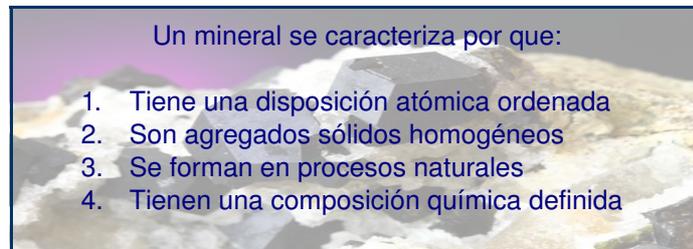
Concepto de mineral.

---

En los cinco apartados precedentes nos hemos centrado en la exposición de los aspectos más destacados de la naturaleza de la materia cristalina. Pero necesitamos para iniciarnos en el conocimiento de los procesos que intervienen en la formación de los materiales terrestres introducir el concepto de *materia mineral*.

Podemos afirmar que los minerales son sustancias cristalinas que se encuentran en la naturaleza. Por esto, a modo de definición, podemos concretar que *Un mineral es un sólido homogéneo formado en un proceso natural, normalmente inorgánico, con una composición química determinada y una disposición atómica ordenada*.

Comprenderemos mejor esta definición si destacamos los cuatro puntos siguientes:



De esta forma, los materiales sintetizados en los laboratorios como cerámicas, piedras preciosas y semiconductores, entre otros, no se pueden considerar minerales. De igual manera, líquidos como el petróleo o el agua (también el agua mineral), el vidrio volcánico (obsidiana) o el "cristal" de una ventana no se pueden considerar minerales, ni siquiera son materia cristalina, pues sus partículas no están ordenadas simétricamente.

La Mineralogía es, por lo tanto, la ciencia que se dedica al estudio de estas sustancias cristalinas que conocemos como minerales mientras que la Petrología estudia las asociaciones minerales presentes en las rocas.

Historia y ramas de la mineralogía.

---

Podemos afirmar que la mineralogía es una de las ciencias de la tierra más antiguas y que acompaña al ser humano desde los albores de la humanidad. En este sentido, podemos hablar de hechos que revelan la importancia que para el hombre ha tenido el conocimiento de los minerales. El uso de *hematites* rojo para las pinturas rupestres, el *sílex* para la fabricación de herramientas o las pinturas funerarias del valle del Nilo en las que se muestran a artesanos pesando *malaquita* y *jade* son claros ejemplos de ello.

Con posterioridad y gracias a la escritura conocemos mediante los trabajos de recopilación de Theophrastos (s. II a.C.) y de Plinio (s. I d.C.) de la importancia del saber sobre mineralogía. Pero no es hasta la publicación de la obra de Agrícola, G. (1.556) cuando se puede hablar de esta ciencia con tal. Durante los siglos XIX y XX se fijan las base del estudio de los minerales gracias a los trabajos de Cordie (método de inmersión), Nicol (microscopia de luz polarizada), Von Laue (difracción de  $R_x$ ) y Bragg (Estructura cristalina).

En la actualidad el campo de trabajo de la mineralogía se ha extendido ampliamente a diferentes ámbitos de la sociedad estableciéndose un gran numero de ramas como la cristalografía de  $R_x$ , mineralogía experimental, petrología, metalurgia, cerámica, física del cristal, mineralogía de menas metálicas, mineralogía de arcillas...

## 7. DETERMINACIÓN Y RECONOCIMIENTO DE LOS MINERALES.

Los métodos de estudio de los minerales destinados al reconocimiento de los mismos se basan en ensayos y observaciones sencillas que se relacionan con determinadas propiedades mecánicas, ópticas o químicas de la muestra. También se recurre a procedimientos mas sofisticados como los citados en el apartado 5 ya que nos informan de la estructura cristalina del mineral. No obstante su uso está limitado por el elevado coste de los equipos necesarios. Algo más común es la utilización de microscopio petrográfica.

### Propiedades mecánicas

En este apartado relacionamos una serie de propiedades físicas que responden a estímulos de naturaleza mecánica que podemos realizar mediante observaciones y ensayos sencillos como someter una muestra de mineral a un golpe o a esfuerzos similares. Las más importantes son:

#### 1. HABITO

Se refiere a la apariencia o la forma en que suele presentarse el mineral. Algunos ejemplos de términos comunes usados para referirse a cristales individuales o agregados cristalinos pueden ser...

- Cristales aislados (Acicular, hojoso, capilar, prismático...).
- Grupos de cristales (Dendrítico, radial, reticular, fibroso, botroidal, terroso...).

#### 2. EXFOLIACIÓN

Se dice que un mineral presenta expoliación cuando se rompe de forma que deja superficies planas cuando se le aplica la fuerza necesaria. En algunos minerales el tipo de expoliación es característica del mismo y nos ayuda en su identificación.



### 3. FRACTURA

Por fractura se entiende el aspecto que presenta la superficie de un mineral cuando se rompe como consecuencia de un golpe. Así es frecuente facilitar términos como irregular, concoidal, astillosa...



### 4. DUREZA

Se llama dureza a la resistencia que opone la superficie pulida de una muestra mineral a ser rayada. Para determinar esta propiedad se usa la escala de dureza de Mohs. Establece grados relativos en función de diez minerales comunes (Talco, Yeso, Calcita, Fluorita, Apatito, Ortosa, Cuarzo, Topacio, Corindón y Diamante).

### 5. TENACIDAD

La tenacidad determina la cohesión de las partículas que componen el mineral y se determina intentando molerlo, triturarlo, desgarrarlo... Hablamos de comportamiento frágil (se rompe con facilidad), Maleable (Se conforma en hojas), Séctil (se puede cortar en virutas), Dúctil (se puede estirar en forma de hilos), flexible o elástico.

### 6. PESO ESPECÍFICO

El peso específico o densidad relativa es un número que expresa la relación entre su peso y el peso del mismo volumen de agua destilada a 4º C.

Esta propiedad guarda una estrecha relación con la composición del mineral y el tipo de empaquetamiento, de esta forma el peso específico de la Siderita ( $\text{Fe CO}_3$ ) es 3,9 y el de la Calcita ( $\text{Ca CO}_3$ ) es 2,7.

### 7. BRILLO y COLOR

Tanto el brillo como el color de los minerales se deben a la interacción de la superficie de los minerales con la luz blanca. En el caso del brillo se debe al aspecto de la misma cuando refleja la luz, de esta forma describimos por similitud el brillo como metálico y no metálico, vítreo, graso, sedoso, céreo, etc. El color se debe a la absorción de determinadas longitudes de onda del espectro visible. Algunos minerales presentan colores propios que nos permiten identificarlo con facilidad, como le ocurre a los carbonatos hidratados de Cu (Azurita y Malaquita).

Propiedades químicas

---

Para el estudio químico de los minerales se suele utilizar aparatos analíticos e instrumental de un laboratorio especializado. No obstante se suelen realizar algunos ensayos sencillos rápidos son de gran utilidad para el reconocimiento de muestras y para la determinación de la mayor parte de los elementos comunes en los minerales. Citaremos aquí los *ensayos con soplete* y el *ensayo a la perla*.

### 1. ENSAYOS CON SOPLETE.

El soplete está formado por un tubo que termina en una pequeña ranura por la que sale aire en forma de un chorro fino que se dirige hacia una llama. En unos ensayos se observa la fusión de la muestra y en otros la aparición de una coloración característica. De esta forma podemos identificar la existencia de Ag (color blanco), el Cu (rojo) o el Pb (gris), entre otros elementos.



### 2. ENSAYO A LA PERLA.

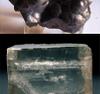
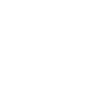
Este tipos de ensayos intentan obtener la fusión con un determinado fundente que suele ser el bórax ( $B_4O_7Na_2 \times 10 H_2O$ ). La masa fundida, denominada *perla*, adquiere un color característico. Así el Sr produce una perla carmesí, el Ba amarillo intenso y el Cl azul marino.

## 8. CLASIFICACIÓN DE LOS MINERALES.

La clasificación de los más de 2.000 minerales descritos y reconocidos por los mineralogistas es una tarea de la mineralogía desde sus orígenes. Para ello se han tomado múltiples criterios, si bien, desde el siglo XIX se opta por la composición química. En la actualidad las clasificaciones establecen clases de acuerdo al grupo aniónico (óxidos, sulfuros, etc.) debido a que presentan mayores semejanzas y tienden a presentarse juntos.

Debido al carácter genérico de este nos hemos limitado a relacionar una muestra de minerales comunes en las rocas de la Litosfera destacando su quimismo, simetría y una imagen de una muestra representativa.

CLASE	QUIMISMO	MINERALES			
		ejemplo	composición	simetría	imagen
Elementos nativos	El mineral es un compuesto monoatómico	Oro	Au	Cúbico	
		Cobre	Cu	Cúbico	
		Diamante	C	Cúbico	
		Azufre	S	Rombico	

<b>Sulfuros</b>	Son sales del S <sup>=</sup> y un metal de transición	Galena	PbS	Cúbico	
		Blenda	ZnS	Cúbico	
		Pirita	FeS <sub>2</sub>	Cúbico	
		Cinabrio	HgS	Hexagonal	
<b>Óxidos</b>	El oxígeno aparece combinado con uno o dos metales	Corindón	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Hexagonal	
		Hematites	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Hexagonal	
		Ilmenita	FeTiO <sub>3</sub>	Hexagonal	
		Espinelita	MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Cubico	
		Rutilo	TiO <sub>2</sub>	Tetragonal	
<b>Hidróxidos</b>	En ellos aparece el grupo oxidrilo o el agua	Diáporo	AlO.(OH)	Rómbico	
		Goethita	FeO.(OH)	Rómbico	
<b>Haluros</b>	Se caracteriza por la presencia de los aniones halogenuros	Halita	NaCl	Cubico	
		Silvina	KCl	Cubico	
		Fluorita	CaF <sub>2</sub>	Cubico	
<b>Carbonatos</b>	El complejo aniónico CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> es compensado por cationes como el Ca o el Mg	Calcita	Ca CO <sub>3</sub>	Trigonal	
		Siderita	Fe CO <sub>3</sub>	Hexagonal	
		Aragonito	Ca CO <sub>3</sub>	Rómbico	
		Dolomita	CaMg (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Hexagonal	
		Malaquita	Cu <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub>	Monoclínico	

<b>Sulfatos</b>	Grupo de minerales que comparten el anión $\text{SO}_4^{2-}$	Yeso	$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Monoclínico	
		Barita	$\text{Ba SO}_4$	Rombico	
		Celestina	$\text{Sr SO}_4$	Rómbico	
<b>Fosfatos</b>	Minerales en los que se encuentra en el anión $\text{PO}_4^{3-}$	Apatito	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)(\text{OH})$	Hexagonal	
		Turquesa	$\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)(\text{OH})_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Triclínico	
<b>Silicatos</b>	Nesosilicatos	Granate (Almandino)	$\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$	Cubico	
		Olivino	$(\text{FeMg})_2 \text{SiO}_4$	Rómbico	
		Andalucita	$\text{Al}_2 \text{SiO}_5$	Rómbico	
	Sorosilicatos	Epidota	$\text{CaFeAl}_2\text{O}(\text{Si}_3\text{O}_{11})(\text{OH})$	Monoclínico	
	Ciclosilicatos	Berilo	$\text{BeAl}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$	Hexagonal	
		Turmalina	$\text{CaMgFe}_6(\text{Si}_3\text{O}_{11})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_4$	Hexagonal	
	Inosilicatos	Piroxenos (Augita)	$\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$	Monoclínico	
		Anfíboles (Honrblenda)	$\text{Ca}_2\text{Fe}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Monoclínico	
	Filosilicatos	Talco	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Monoclínico	
		Moscovita	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	Monoclínico	
		Biotita	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	Monoclínico	
		Clorita	$(\text{Mg,Fe})_3(\text{Si,AL})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Monoclínico	
	Tectosilicatos	Anortita	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	Triclínico	
		Albita	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	Triclínico	
		Ortosa	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$	Monoclínico	
		Cuarzo	$\text{SiO}_2$	Trigonal	

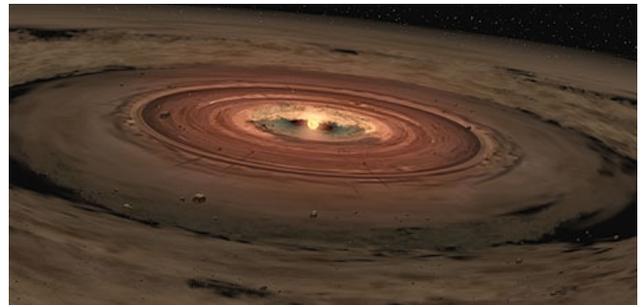
## 9. PROCESOS MINERALOGÉNÉTICOS.

El estudio de la génesis mineral que planteamos parte de un criterio acorde con el concepto de evolución mineral diferente al enfoque tradicional de la mineralogía basado en que los minerales son objetos valiosos con distintas propiedades físicas y químicas, sin tomar en consideración el tiempo, la cuarta dimensión fundamental de la Geología. Será, por lo tanto, la historia de la Tierra el marco de referencia para conocer los minerales y los procesos que los han creado.

Las 4.500 especies minerales que conocemos son el resultado de sucesivos episodios de formación que podemos agrupar en seis etapas por las que ha pasado nuestro planeta.

### Primera etapa: Antes del origen de la Tierra.

Después de la Gran explosión transcurrieron más de medio millón de años hasta la formación de los primeros átomos (H, He y Li). Muchos millones de años después se formaron las primeras estrellas. Cuando estas



estrellas gigantes se convirtieron en supernovas se sintetizaron el resto de los elementos químicos. De estas etapas iniciales son los primeros cristales, una docena, entre los que se hallan el diamante y el grafito y otros minerales resistentes como la moissanita (SiC) y la osbornita (TiN).

### Segunda etapa: Formación de la Tierra.

Hace unos 4.600 m.a. tuvo lugar la ignición del Sol a partir de la masa colapsada de una nebulosa. Este proceso ocasionó la fusión y mezcla de los elementos y minerales existente en el disco protoplanetario



solar. En este estadio de la evolución mineral surgieron las aleaciones de Hierro (Fe) y Níquel (Ni), sulfuros, fosfuros, óxidos y algunos silicatos que formaban los componentes de los "cóndrulos" que pronto se agregaron formando "planetesimales" de gran tamaño. Las colisiones entre planetesimales aumentan la temperatura y posibilitan alteraciones en los minerales originados en el estadio anterior. Las partículas de hielo existentes en la nebulosa presolar se fundieron desencadenando reacciones químicas que originarían nuevos minerales. Se estima que surgieron 250 especies minerales asociadas a la formación de la Tierra.

---

### Tercera etapa: Tierra negra.

La Tierra primigenia, tras la colisión que dio origen a la Luna y dispersó elementos raros (uranio, berilio, arsénico y oro...) empezó a enfriarse. Era un mundo hostil cubierto por una capa de basalto y continuamente bombardeado por los restos nebulares. La diversidad mineral aumentó de manera gradual durante el eón Hadeano (4.500 a 3.800 m.a.) y Arcaico (3.800 a 2.500 m.a.) por la fusión reiterada de la corteza rocosa y su posterior consolidación y por las reacciones de meteorización provocadas por la atmósfera y los océanos primigenios. Las sucesivas fusiones del basalto generaron rocas graníticas en las que aparecen una mineralogía con feldespatos y micas. Con todo, durante las transformaciones de la corteza y manto en los primeros 2.000 m.a. se habían generado 1.500 especies minerales.



---

### Cuarta etapa: Tierra roja.

La aparición de la vida y, sobre todo, de la fotosíntesis introdujo dos cambios muy significativos. La oxidación de la atmósfera y fijación del CO<sub>2</sub> por los seres vivos. Se crearon las condiciones para la formación de 2.500 especies nuevas, la mayoría son minerales oxidados e hidratados y carbonatos. Estos cambios afectaron al aspecto del planeta que se tornaría rojo por hematites y otros compuestos oxidados de los minerales ferrosos del basalto.



---

### Quinta etapa: Tierra blanca.

Hace 800 m.a. las masas continentales estaban unidas en un supercontinente, Rodinia, situado cerca del ecuador. La consecuencia fue una aceleración de la erosión, la extracción consecuente del dióxido de carbono y el enfriamiento del planeta. El hielo polar se iba extendiendo. Durante 10 m.a. o más la Tierra era una enorme bola de nieve. En los 200 m.a. siguientes se alternaron episodio varios episodios glaciares. Pero desde el punto de



vista mineralogenerico poco cambió, si bien, los minerales que se formaban no eran distintos, si lo fue su abundancia dado que se produjo un importante incremento de micoorganismos que incorporaban en sus conchas carbonatos como el aragonito y diversas variedades de sílex.

Sexta etapa: Tierra verde.

El incremento de O<sub>2</sub> permitió la creación de la Ozonofera y con ello la vida en las tierras emergidas.

(Sin terminar...)



## BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS DIDÁCTICOS.

- AMOROS, J.L., 1990, El Cristal. Atlas. Madrid
- BERRY, L.G.; MASON, B & DIETRICH, R.V. (1983). Mineralogy. W. H. Freeman & Co., San Francisco.
- BLOSS, F.D., 1994, Crystallography and Cristal Chemistry. Mineralogical Society of America. Washington, D. C.
- BLOSS, F.D., 1970, Introducción a los métodos de cristalografía óptica. Omega. Barcelona
- DEER W.A.; HOWIE R.A. & ZUSSMAN, J (1992). An introduction to the rock forming minerals (2nd ed.). Longman Sci & Tech., Essex.
- GALÁN HUERTOS, E (Ed) (2003) Mineralogía Aplicada. Síntesis. Madrid.
- KLEIN, C. & HULBURT, C.S. (1997), Manual de Mineralogía de Dana (4ª ed.). Reverté S.A. Barcelona
- LIMA DE FARÍA, J. (1994) Structural Mineralogy. An introduction. Kluwer Acad. Publ., Dordrech, 344pp
- PHILLIPS, F.C., 1978, Introducción a la Cristalografía (2ª Ed.). Paraninfo. Madrid
- PUTNIS, A., 1992, Introduction to Mineral Sciences. Cambridge University Press
- RODRIGUEZ GALLEGO, M. 1982, La Difracción de los Rayos X. Alhambra. Madrid
- WHITTAKER, E.J.W., 1981, Crystallography. Pergamon Press. Oxford.
- ZUSSMAN, J (Ed) (1977). Physical Methods in Determinative Mineralogy. Academic Press. New York.
- HAZEN, R. M., La evolución de los minerales en Investigación y Ciencia, mayo 2010. Prensa Científica, S. A. Barcelona.

### Direcciones web:

[http://www.uned.es/cristamine/cristal/morfo\\_mrc.htm](http://www.uned.es/cristamine/cristal/morfo_mrc.htm)

[http://www.uned.es/cristamine/cristal/atlas/atl\\_mrc.htm](http://www.uned.es/cristamine/cristal/atlas/atl_mrc.htm)

[http://www.esi2.us.es/IMM2/estructuras\\_cristalinas/conceptos\\_previos.html](http://www.esi2.us.es/IMM2/estructuras_cristalinas/conceptos_previos.html)