

LOS MINERALES 1

Un **mineral** es una sustancia natural, de composición química definida, normalmente sólido e inorgánico, y que tiene una cierta estructura cristalina. Es diferente de una roca, que puede ser un agregado de minerales o no minerales y que no tiene una composición química específica. La definición exacta de un mineral es objeto de debate, especialmente con respecto a la exigencia de ser abiogénico, y en menor medida, a que deba tener una estructura atómica ordenada. El estudio de los minerales se llama mineralogía.

Hay más de 5.300 especies minerales conocidas, de ellas más de 5.070 aprobadas por la Asociación Internacional de Mineralogía (*International Mineralogical Association*, o IMA). Continuamente se descubren y describen nuevos minerales, entre 50 y 80 al año.¹ La diversidad y abundancia de especies minerales es controlada por la química de la Tierra. El silicio y el oxígeno constituyen aproximadamente el 75% de la corteza terrestre, lo que se traduce directamente en el predominio de los minerales de silicato, que componen más del 90% de la corteza terrestre. Los minerales se distinguen por diversas propiedades químicas y físicas. Diferencias en la composición química y en la estructura cristalina distinguen varias especies, y estas propiedades, a su vez, están influidas por el entorno geológico de la formación del mineral. Cambios en la temperatura, la presión, o en la composición del núcleo de una masa de roca causan cambios en sus minerales.

Los minerales pueden ser descritos por varias propiedades físicas que se relacionan con su estructura química y composición. Las características más comunes que los identifican son la estructura cristalina y el hábito, la dureza, el lustre, la diafinidad, el color, el rayado, la tenacidad, la exfoliación, la fractura, la partición y la densidad relativa. Otras pruebas más específicas para la caracterización de ciertos minerales son el magnetismo, el sabor o el olor, la radioactividad y la reacción a los ácidos fuertes.

Los minerales se clasifican por sus componentes químicos clave siendo los dos sistemas dominantes la clasificación de Dana y la clasificación de Strunz. La clase de los minerales de silicato se subdivide en seis subclases por el grado de polimerización en la estructura química. Todos los minerales de silicato tienen una unidad de base de un tetraedro de sílice $[\text{SiO}_4]^{4-}$, es decir, un catión de silicio unido a cuatro aniones de oxígeno, lo que da la forma de un tetraedro. Estos tetraedros pueden ser polimerizados para dar las subclases: ortosilicatos (no polimerizados, y por lo tanto, solo tetraedros), disilicatos (dos tetraedros enlazados entre sí), ciclosilicatos (anillos de tetraedros), inosilicatos (cadenas de tetraedros), filosilicatos (láminas de tetraedros), y tectosilicatos (redes en tres dimensiones de tetraedros). Otros grupos minerales importantes son los elementos nativos, sulfuros, óxidos, haluros, carbonatos, sulfatos y fosfatos.

La definición general de un mineral comprende los siguientes criterios:²

1. ser de origen natural;
2. ser estable a temperatura ambiente;
3. estar representado por una fórmula química;
4. ser generalmente abiogénico (no resultado de la actividad de los organismos vivos);

5. y tener disposición atómica ordenada.

Las tres primeras características generales son menos debatidas que las dos últimas.² :2-4 El primer criterio significa que un mineral se tiene que formar por un proceso natural, lo que excluye compuestos antropogénicos. La estabilidad a temperatura ambiente, en el sentido más simple, es sinónimo de que el mineral sea sólido. Más específicamente, un compuesto tiene que ser estable o metaestable a 25°C. Son ejemplos clásicos de excepciones a esta regla el mercurio nativo, que cristaliza a -39°C, y el hielo de agua, que es sólido sólo por debajo de 0°C; puesto que estos dos minerales se habían descrito con anterioridad a 1959, fueron adoptados por la Asociación Internacional de Mineralogía (IMA).³ 4 Los avances modernos suponen un amplio estudio de los cristales líquidos, que también concierne ampliamente a la mineralogía. Los minerales son compuestos químicos, y, como tales, pueden ser descritos por una fórmula fija o una variable. Muchos grupos de minerales y especies están compuestos por una solución sólida; las sustancias puras generalmente no se encuentran debido a la contaminación o sustitución química. Por ejemplo, el grupo del olivino se describe por la fórmula variable (Mg, Fe)₂SiO

4, que es una solución sólida de dos especies de miembro extremo, la forsterita rica en magnesio y la fayalita rica en hierro, que se describen mediante una fórmula química fija. Otras especies minerales podrían tener composiciones variables, tales como el sulfuro de mackinawita, (Fe, Ni)₉S

8, que es principalmente un sulfuro ferroso, pero que tiene una impureza de níquel muy significativa que se refleja en su fórmula.² :2-45

El requisito de que una especie mineral para ser válida ha de ser abiogénica también se ha descrito como similar a que sea inorgánica; sin embargo, este criterio es impreciso y a los compuestos orgánicos se les ha asignado una rama de clasificación separada. Por último, la exigencia de tener una disposición atómica ordenada es generalmente sinónimo de cristalinidad; sin embargo, los cristales también son periódicos, por lo que se utiliza en su lugar el criterio más amplio.² :2-4 Una disposición atómica ordenada da lugar a una variedad de propiedades físicas macroscópicas, como la forma cristalina, la dureza y la exfoliación.⁶ :13–14 Ha habido varias propuestas recientes para modificar la definición para considerar las sustancias biogénicas o amorfas como minerales. La definición formal de un mineral aprobada por la IMA en 1995:

Un mineral es un elemento o compuesto químico que es normalmente cristalino y que se ha formado como resultado de procesos geológicos.

Además, las sustancias biogénicas fueron excluidas explícitamente:

Las sustancias biogénicas son compuestos químicos producidos totalmente por procesos biológicos sin un componente geológico (por ejemplo, cálculos urinarios, cristales de oxalato en tejidos vegetales, conchas de moluscos marinos, etc.) y no son considerados como minerales. Sin embargo, si hubo procesos geológicos implicados en la génesis del compuesto, entonces el producto puede ser aceptado como un mineral.

Los sistemas de clasificación de minerales y sus definiciones están evolucionando para recoger los últimos avances de la ciencia mineral. Los cambios más recientes han sido la adición de una clase orgánica, tanto en el nuevo Dana y en los esquemas de la clasificación de Strunz.^{8 9} La clase orgánica incluye un grupo muy raro de minerales con hidrocarburos. La «Comisión sobre nuevos minerales y nombres de minerales» de la IMA aprobó en 2009 un esquema jerárquico para la denominación y clasificación de los grupos minerales y de los nombres de los grupos y estableció siete comisiones y cuatro grupos de trabajo para revisar y clasificar los minerales en una lista oficial de sus nombres publicados. De acuerdo con estas nuevas reglas, las especies minerales pueden ser agrupadas de diferentes maneras, sobre la base de la química, la estructura cristalina, la aparición, la asociación, la historia genética o los recursos, por ejemplo, dependiendo de la finalidad para que sirva la clasificación.

La exclusión de Nickel (1995) de las sustancias biogénicas no fue universalmente respetada. Por ejemplo, Lowenstam (1981) declaró que «los organismos son capaces de formar una gran variedad de minerales, algunos de los cuales no se pueden formar inorgánicamente en la biosfera.»¹² La distinción es una cuestión de clasificación y tiene menos que ver con los constituyentes de los minerales mismos. Skinner (2005) considera todos los sólidos como minerales potenciales e incluye los biominerales en el reino mineral, que son aquellos creados por las actividades metabólicas de los organismos. Skinner amplió la definición previa de un mineral para clasificar como mineral cualquier «elemento o compuesto, amorfo o cristalino, formado a través de los procesos biogeoquímicos».¹³

Los recientes avances en la genéticas de alta resolución y espectroscopía de absorción de rayos X están proporcionando revelaciones sobre las relaciones biogeoquímicas entre microorganismos y minerales que pueden hacer obsoleta la exclusión biogénica de Nickel (1995) y una necesidad la inclusión biogénica de Skinner (2005).^{7 13} Por ejemplo, el IMA encargó al «Grupo de trabajo de Mineralogía ambiental y Geoquímica»¹⁴ tratar de los minerales en la hidrosfera, atmósfera y biosfera. El alcance del grupo incluye microorganismos formadores de minerales, que existen en casi todas las rocas, en el suelo y en la superficie de las partículas que atraviesan el globo hasta una profundidad de al menos 1600 metros por debajo del fondo del mar y 70 kilómetros en la estratosfera (posiblemente se introduzcan en la mesosfera).^{15 16 17} Los ciclos biogeoquímicos han contribuido a la formación de minerales durante miles de millones de años. Los microorganismos pueden precipitar los metales de la disolución, contribuyendo a la formación de yacimientos de mineral. También pueden catalizar la disolución de los minerales.^{18 19 20}

Antes de la lista de la Asociación Internacional de Mineralogía, más de 60 biominerales ya habían sido descubiertos, nombrados y publicados.²¹ Estos minerales (un subconjunto tabulado en Lowenstam (1981)¹²) se consideran propiamente minerales de acuerdo con la definición de Skinner (2005).¹³ Estos biominerales no figuran en la lista oficial de nombres de minerales de la IMA,²² aunque muchos de estos biominerales representativos se distribuyen entre las 78 clases minerales que figuran en la clasificación de Dana.¹³ Otra clase rara de minerales (principalmente de origen biológico) incluye los cristales líquidos minerales que tienen propiedades tanto de líquidos y cristales. Hasta la fecha se han identificado más de 80.000 compuestos cristalinos líquidos.^{23 24}

La definición de mineral de Skinner (2005) toma en cuenta esta cuestión afirmando que un mineral puede ser cristalino o amorfo, incluyendo en este último grupo los cristales líquidos.¹³ Aunque los biominerales y los cristales líquidos no son la forma más común de minerales,²⁵ ayudan a definir los límites de lo que constituye propiamente un mineral. La definición formal de Nickel (1995) menciona explícitamente la cristalinidad como una clave para la definición de una sustancia como un mineral. Un artículo de 2011 define la icosahedrita, una aleación de hierro-cobre-aluminio, como mineral; llamada así por su singular simetría icosaédrica natural, es un cuasi cristal. A diferencia de un verdadero cristal, los cuasicristales están ordenados pero no de forma periódica.

Los minerales no son equivalentes a las rocas. Una roca puede ser un agregado de uno o más minerales, o no tener ningún mineral.^{6 :15–16} Rocas como la caliza o la cuarcita se componen principalmente de un mineral —calcita o aragonito en el caso de la caliza, y cuarzo, en la última.^{6 : 719–721, 747–748} Otras rocas pueden ser definidas por la abundancia relativa de los minerales clave (esenciales); un granito está definido por las proporciones de cuarzo, feldespato alcalino y plagioclasa.^{6 :694–696} Los otros minerales de la roca se denominan accesorios, y no afectan en gran medida la composición global de la roca. Las rocas también pueden estar compuestas enteramente de material no mineral; el carbón es una roca sedimentaria compuesta principalmente de carbono derivado de manera orgánica.

En las rocas, algunas especies y grupos minerales son mucho más abundantes que otros; éstos se denominan minerales formativos. Los principales ejemplos son el cuarzo, feldespatos, las micas, los anfíboles, los piroxenos, los olivinos, y la calcita; excepto la última, todos son minerales silicatos.^{2 : 15} En general, alrededor de unos 150 minerales se consideran particularmente importantes, ya sea en términos de su abundancia o valor estético en términos de coleccionismo.

Los minerales y rocas comercialmente valiosos se conocen como minerales industriales y rocas industriales. Por ejemplo, la moscovita, una mica blanca, puede ser utilizada para ventanas (a veces conocida como isinglass), como material de relleno o como un aislante.^{6 : 531–532} Las menas son minerales que tienen una alta concentración de un determinado elemento, normalmente de un metal. Ejemplos de ello son el cinabrio (HgS), un mineral de mercurio, esfalerita (ZnS), un mineral de zinc, o la casiterita (SnO₂), un mineral de estaño. Las gemas son minerales con un alto valor ornamental, y se distinguen de las no gemas por su belleza, durabilidad, y por lo general, rareza. Hay alrededor de 20 especies minerales que se califican como minerales gema, que constituyen alrededor de las 35 piedras preciosas más comunes. Los minerales gema están a menudo presentes en diversas variedades, y así un mineral pueden dar cuenta de varias piedras preciosas diferentes; por ejemplo, rubí y el zafiro son ambas corindón, Al₂O₃.

Los minerales se solían clasificar en la antigüedad con criterios de su aspecto físico; Teofrasto, en el siglo III a. C., creó la primera lista sistemática cualitativa conocida; Plinio el Viejo (siglo I), en su “Historia Natural”, realizó una sistemática mineral, trabajo que, en la Edad Media, sirvió de base a Avicena; Linneo (1707-1778) intentó idear una nomenclatura fundándose en los conceptos de género y especie, pero no tuvo éxito y dejó de usarse en el siglo XIX; con el posterior desarrollo de la química, el químico sueco Axel Fredrik Cronstedt (1722-1765) elaboró la primera clasificación de minerales en función de su composición; el geólogo estadounidense James Dwight Dana, en

1837, propuso una clasificación considerando la estructura y composición química. La clasificación más actual se funda en la composición química y la estructura cristalina de los minerales. Las clasificaciones más empleadas son las de Strunz y Kostov.

Los minerales se clasifican según la variedad, especie, serie y grupo, en orden creciente de generalidad. El nivel básico de definición es el de las especies minerales, que se distinguen de otras especies por sus propiedades químicas y físicas específicas y únicas. Por ejemplo, el cuarzo se define por su fórmula química, SiO_2 , y por una estructura cristalina específica que lo distingue de otros minerales con la misma fórmula química (denominados polimorfos). Cuando existe un rango de composición entre dos especies minerales, se define una serie mineral. Por ejemplo, la serie de la biotita está representada por cantidades variables de la endmembers flogopita, siderofilita, annita, y eastonita. Por contraste, un grupo mineral es una agrupación de especies minerales con algunas propiedades químicas comunes que comparten una estructura cristalina. El grupo piroxeno tiene una fórmula común de $\text{XY}(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$

en donde X e Y son ambos cationes, siendo X generalmente mayor que Y (radio iónico); los piroxenos son silicatos de cadena sencilla que cristalizan en cualquiera de los sistemas cristalinos monoclinico o ortorrómbico. Finalmente, una variedad mineral es un tipo específico de especies minerales que difieren por alguna característica física, como el color o el hábito del cristal. Un ejemplo es la amatista, que es una variedad púrpura del cuarzo.² :20–22

Para ordenar minerales dos son las clasificaciones más comunes, la de Dana y la de Strunz, ambas basadas en la composición, en especial respecto a los grupos químicos importantes, y en la estructura. James Dwight Dana, un geólogo principal de su tiempo, publicó por primera vez su *System of Mineralogy* [Sistema de Mineralogía] en 1837; en 1997 se editó su octava edición. La clasificación de Dana asigna un número de cuatro partes a una especie mineral. Su número de clase se basa en los grupos de composición importantes; el número de tipo da la relación de cationes/aniones en el mineral; y los dos últimos números corresponden al grupo de minerales por similitud estructural dentro de un tipo o clase determinada. La clasificación de Strunz —utilizada con menor frecuencia y llamada así por el mineralogista alemán Karl Hugo Strunz— se basa en el sistema de Dana, pero combina tanto criterios químicos como estructurales, estos últimos con respecto a la distribución de los enlaces químicos.² :558–559

En enero de 2016, la IMA había aprobado 5.090 especies minerales.²⁸ Se han nombrado en general en honor de una persona (45%), seguidos por la ubicación del lugar, mina o yacimiento del descubrimiento (23%); otras etimologías comunes son los nombres basados en la composición química (14%) y en las propiedades físicas (8%).² :20-22, 556 El sufijo común *-ita* usado en los nombres de las especies minerales descende del antiguo sufijo griego -ίτης (-ites), que significa 'relacionado con' o 'que pertenece a'