

UN MUNDO DE MINERALES

“El mundo mineral
está mucho más
integrado en nuestra
vida cotidiana
que lo que *a priori*
podríamos pensar”.

POR BLANCA BAULUZ





Cristal de berilo, variedad aguamarina.

www.fabreminerals.com

Cuando hablamos de minerales nos acordamos de ejemplares que hemos visto en vitrinas de museos, exposiciones o ferias. En estos lugares generalmente encontramos minerales llamativos, bien porque presentan colores vivos, formas bien cristalizadas, grandes tamaños o incluso ejemplares con una alta transparencia. Y nos vienen a la mente imágenes de cristales morados de cuarzo amatista, prismas hexagonales de aragonito o cubos de pirita.

Pero el mundo mineral está mucho más integrado en nuestra vida cotidiana que lo que *a priori* podríamos pensar. Es difícil imaginar cómo sería nuestro día a día sin minerales. Muchos de ellos se utilizan como materia prima en la fabricación de materiales de uso habitual.

En el ámbito académico, generalmente utilizamos clasificaciones cristaloquímicas, que combinan datos estructurales y composicionales para agrupar los minerales, pero para este artículo es más útil hacer referencia a una sencilla clasificación que agrupa los minerales según su utilidad, y permite discriminar tres categorías: minerales gema, minerales mena y minerales industriales.



Cristales de galena.
www.uhu.es

Los minerales gema son aquellos que por su dureza, durabilidad y belleza se utilizan en joyería con fines ornamentales. La gema "rey" es sin duda el diamante, los hay incoloros, rosas, amarillos o negros, todos ellos tienen la misma estructura cristalina y la misma composición química. Ha habido diamantes famosos por su tamaño y pureza como el diamante Florentino, el diamante Hope o El estrella de África. Pero no hay que olvidarse de otras gemas como son la aguamarina, el heliodoro, la morganita o la esmeralda, todas ellas variedades del berilo. Además de rubíes, turmalinas u otras de menor valor económico que las que denominamos semipreciosas como la turmalina y el ópalo.

Los minerales mena son aquellos que contienen algún elemento metálico de interés, como por ejemplo la galena que es mena de plomo y puede ser de plata, el cinabrio de mercurio, la cromita de cromo, o la hematita de hierro.

Finalmente, llegamos a la tercera categoría, los minerales (y rocas) industriales que son todos aquellos que no se pueden clasificar ni como gemas ni menas, ni como recursos energéticos y que, tras un proceso industrial, tienen aplicaciones de interés en la sociedad. Este grupo de minerales no suele presentarse en ejemplares "bonitos" pero es tan amplio y presenta tantas aplicaciones que es sin duda el grupo volumétrico y económicamente más importante.

Es difícil citar solo algunos ejemplos de minerales industriales pero posiblemente todos estemos familiarizados con algunos de ellos. Es bien conocido que el cemento se fabrica a partir de la calcinación de caliza (roca rica en calcita) y arcillas (ricas en filosilicatos y cuarzo), o que numerosos refractarios se fabrican a partir de caolín y/o pirofilita, o que la materia prima para la fabricación del vidrio está compuesta de cuarzo, carbonato de sodio y calcita.

En esta ocasión, he seleccionado un grupo de minerales que siempre me han atraído por sus peculiares propiedades y su vinculación con nuestro territorio, con Aragón, como son la sepiolita, el alabastro, la halita y las arcillas cerámicas de pasta blanca.

Los tres primeros, sepiolita, alabastro y halita, tienen en común que se forman generalmente en medios sedimentarios, en ambientes lacustres desarrollados en climas cálidos y secos. La composición química del agua, a partir de la que cristalizan, es uno de los factores fundamentales para que se formen, ya que estos minerales tienen composiciones químicas claramente diferentes y, por tanto, cristalizan a partir de aguas también distintas. Tienen en común, además, que los grandes depósitos en Aragón de estos

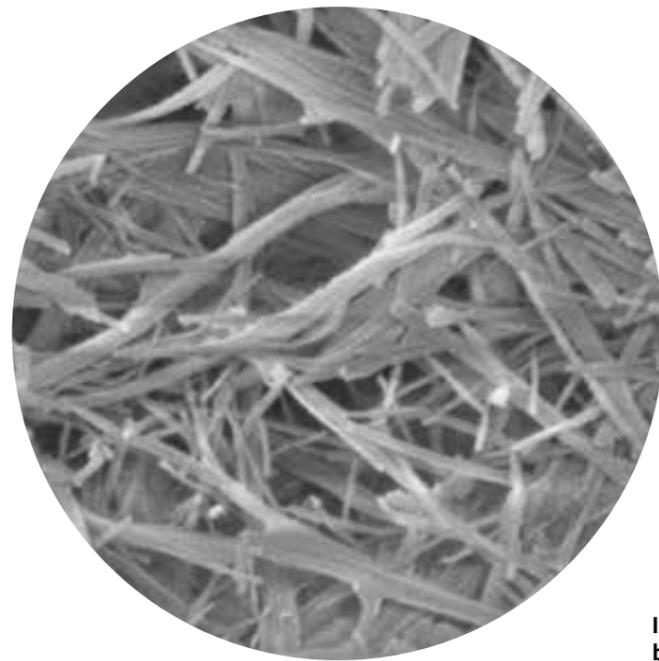


Imagen de microscopía electrónica de barrido de fibras de sepiolita.

minerales se formaron hace relativamente poco tiempo, durante el Oligoceno-Mioceno (Terciario), es decir, durante un periodo que se inició hace unos 20 y finalizó hace unos 5 millones de años.

La **sepiolita** es un filosilicato, una arcilla con morfología fibrosa. Estas fibras tienen longitudes claramente inferiores a las 2 micras y, por tanto, visibles solo en microscopios electrónicos. Además de la sepiolita, hay otra arcilla que también presenta morfologías fibrosas, denominada paligorskita. Si bien la paligorskita en España es relativamente escasa, la sepiolita es muy abundante y el yacimiento más importante del mundo se encuentra en la Cuenca de Madrid. La producción que procede de esa zona junto con la de otro yacimiento ubicado en la zona de Calatayud (Orera-Mara) hace que España sea el mayor productor del mundo.

Estas arcillas tienen una estructura cristalina diferente al resto de arcillas, que son habitualmente laminares, las arcillas fibrosas presentan discontinuidades estructurales que hace que contengan canales internos. Esta porosidad estructural, junto con el pequeño tamaño de partícula, favorecen que tengan una enorme área superficial. Su peculiar estructura les confiere una serie de propiedades, entre ellas las de formar suspensiones poco afectadas por la concentración iónica y una enorme capacidad sorcitiva, por lo que son poderosos decolorantes y absorbentes. También tienen propiedades reológicas, son capaces de formar geles estables de alta viscosidad a bajas concentraciones de sólido y son susceptibles de ser activadas mediante tratamientos térmicos y ácidos.

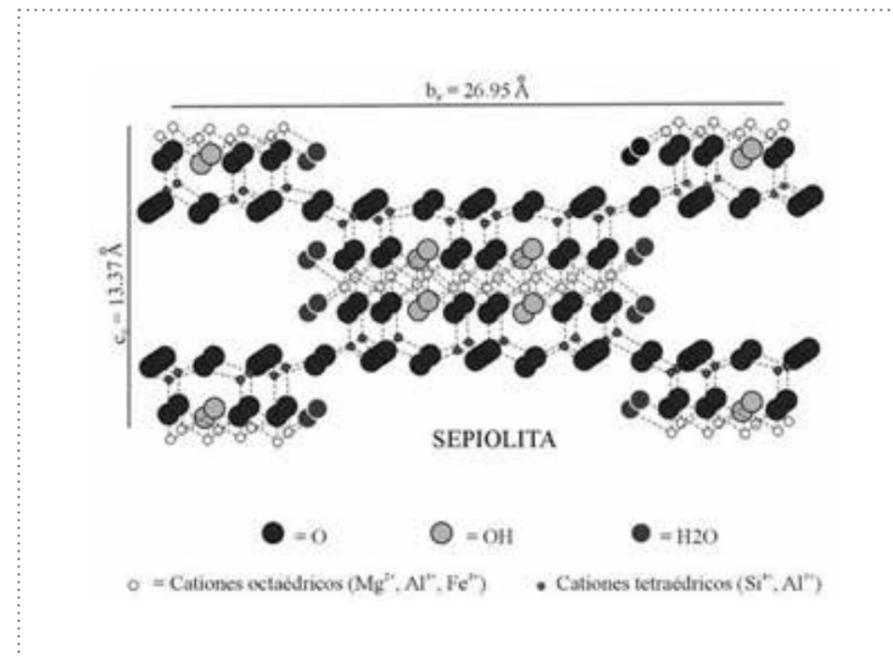
Habitualmente se utilizan como absorbentes, para lechos de animales, en suelos y nutrición animal, como soporte en aerosoles y aerogeles para pesticidas y fertilizantes. Por sus propiedades adsorbentes, en la purificación de productos del petróleo, en procesos de filtración, floculación y clarificación de vinos y aceites.

Por sus propiedades reológicas, en lodos de perforación con base de agua salada, farmacia, pinturas, resinas y cosmética. La sepiolita se utiliza también en la fabricación de nanocomposites.

Al inicio de los años 80, en la búsqueda de nuevos materiales en el sector automovilístico, se empezó a investigar y obtener nanocomposites polímero/arcilla. Si bien inicialmente se trabajaba con arcillas como las bentonitas, desde hace unos 15 años se utiliza la sepiolita como matriz en estos nanocomposites. Desde entonces, son muchos los nanocomposites polímero/sepiolita estudiados por numerosos investigadores y muchas las industrias que, cada vez más, los incorporan en sus diseños o procesos productivos.

La sepiolita, además de una estructura peculiar que le confiere la morfología fibrosa, tiene una composición química también peculiar, ya que es silicato de magnesio hidratado $[Mg_4Si_6O_{15}(OH)_2 \cdot 6(H_2O)]$. La mayoría de las arcillas son aluminosilicatos, pero este mineral, en concreto, no contiene aluminio en la estructura. Su cristalización se produce a partir de aguas de pH alcalinos ($pH > 8$) y ricas en Si y Mg. Estas condiciones se desarrollaron en la Península Ibérica en algunas zonas lacustres evaporíticas (muy cálidas y secas) durante el Mioceno. No es frecuente encontrar lagos con esta composición química, son más habituales las aguas ricas en sulfatos y calcio, a partir de las que se forma el yeso, un mineral muy frecuente en todas las grandes cuencas terciarias, como la Cuenca del Ebro. La composición peculiar que necesitan las salmueras para la cristalización de la sepiolita hace que este mineral no esté distribuido a nivel mundial.

El **yeso**, sulfato de calcio hidratado $[CaSO_4 \cdot 2(H_2O)]$, es un mineral que se presenta en diferentes hábitos y formas cristalinas. En los alrededores de Zaragoza es habitual encontrar cristales de yeso fibroso, maclas de punta de flecha, rosas del desierto... En ocasiones



Estructura de la sepiolita mostrando la porosidad estructural.

Imágenes cedidas por la autora.

el yeso se presenta formando agregados microcristalinos, de cristales equigranulares. Esta variedad, que se denomina alabastro (o yeso alabastrino), es una consecuencia de la cristalización del yeso en ciclos de hidratación-deshidratación. Esta textura genera que tenga una dureza ligeramente superior a otro tipo de cristales de yeso y que presente un comportamiento mecánico isótropo, lo que permite utilizarlo con fines ornamentales.

Aragón es el mayor productor del mundo de alabastro. Las mayores explotaciones proceden de una zona localizada al SE de Zaragoza fronteriza con la provincia de Teruel. En concreto, hay depósitos de interés económico en las zonas de Fuentes de Ebro, Gelsa, La Zaida y Escatrón, en los que el alabastro está formando grandes nódulos de escala de decimétrica a métrica. Los depósitos son de edad Oligoceno-Eoceno (Terciario).

La alta disponibilidad de este material en Aragón se refleja en algunas de las joyas arquitectónicas de la ciudad de Zaragoza. Algunos ejemplos son los sillares de alabastro en la muralla de la Aljafería, el retablo de la Basílica del Pilar, la fachada de la Iglesia de Santa Engracia y, mucho más reciente, el Pabellón de Aragón que se construyó para la Expo de 1992 (actual edificio de la CEOE Aragón).

La **halita** (NaCl), al igual que la sepiolita y el yeso, se forma por precipitación de aguas de lagos cerrados desarrollados en climas áridos y cálidos. Este mineral, que pertenece al grupo de los cloruros, necesita unas condiciones de evaporación más drásticas que el yeso y la sepiolita. Podríamos decir que en un lago, con una composición química adecuada, primero precipitarían carbonatos, como la calcita. Conforme la evaporación progresa se formarían sulfatos, como el yeso y la epsomita y, en condiciones más drásticas de evaporación, cristalizarían los cloruros como la halita, silvina y carnalita. El que se formen unas fases u otras depende de

“Son muchos los nanocomposites polímero/sepiolita estudiados por numerosos investigadores y muchas las industrias que, cada vez más, los incorporan en sus diseños o procesos productivos”.



las condiciones climáticas, del volumen y quimismo del agua. Las propiedades de la halita son conocidas por todos, en concreto, es soluble en agua y tiene un característico sabor salado. Además hay que indicar que es el único cloruro de sodio natural.

Si bien hay importantes yacimientos de halita en la Península Ibérica, tales como los de Polanco y Cabezón de la Sal (Cantabria), en Úbeda (Jaén) o Pirnoso (Alicante), merece la pena destacar los yacimientos que se explotan en Remolinos (Zaragoza) que, a diferencia de las explotaciones de sepiolita y alabastro, se desarrollan en minería de interior. Estas explotaciones están en activo desde la época romana. En estos yacimientos, la halita se encuentra asociada a yeso, anhidrita, arcillas, glauberita y carbonatos. La halita se caracteriza por tener una estructura cúbica y se presenta en cristales, habitualmente, equidimensionales (cubos) incoloros o blancos. Si bien es cierto que, según las condiciones de formación, pueden presentar hábitos e incluso colores variados.

La halita, la sal, está presente en nuestras casas, ya que uno de sus usos más conocidos es su utilización en cocina para aportar sabor a los alimentos. Para esto, utilizamos frecuentemente *sal común* que puede proceder de sal gema (sal geológica), de agua de mar o de manantial. Generalmente, la sal más utilizada es la sal fina (sal vacuum) que es una sal refinada, que se extrae de vaporizadores al vacío en los que se controla que los granos, los cristales, tengan todos los mismos tamaños. Pero encontramos en el mercado otros tipos de sal utilizados en cocina, como es la sal del Himalaya que procede fundamentalmente de Pakistán y tiene un color rosado/naranja porque contiene pequeñas cantidades de potasio, la sal negra con un fuerte olor sulfuroso por su génesis en medios volcánicos o la sal Maldon que procede de Maldon (Essex, Inglaterra), y que se extrae del agua de marismas que bordean el río Blackwater. El agua se lleva a ebullición y se deja que cristalice en aguas poco profundas, lo que favorece que adquiera forma en escamas. A pesar de estas diferencias entre los distintos tipos de sales, todas ellas son cloruros de sodio con estructura cúbica.

Si bien los primeros usos de la halita fueron para la preservación de los alimentos y el aporte de sabor, este mineral tiene gran interés en la industria química para la obtención de cloro, ácido clorhídrico, cloruros, cloratos e hipocloritos sódicos y potásicos, sosa cáustica



“Si bien hay importantes yacimientos de halita en la Península Ibérica, merece la pena destacar los yacimientos que se explotan en Remolinos (Zaragoza)”.

y carbonato sódico. También tiene interés para la fusión del hielo y nieve en carreteras, en alimentación animal, en las primeras fases del curtido de piel y el tratamiento de agua.

Por último, quería incluir en este artículo los yacimientos de **arcillas cerámicas de pasta blanca** del Cretácico inferior de la zona de las Comarcas Mineras en Teruel (zonas de Oliete, Estercuel y Gargallo). Estas arcillas sedimentarias, que están intercaladas con abundantes niveles de carbón subbituminoso, son de edad Albiense (~110 millones de años) y se formaron en ambientes de marismas con zonas pantanosas inundadas por agua dulce. Estos ambientes, junto con unas condiciones climáticas cálidas y húmedas, favorecieron la formación de depósitos ricos en turba que contenían restos de plantas sin modificar, restos vegetales descompuestos e incluso materia carbonosa. Posteriormente, estos restos evolucionaron durante la diagénesis para dar lugar al carbón subbituminoso.



A.

A) Cristal cúbico de halita.

B) Cristales en escamas de sal Maldon en los que se aprecia la forma en octaedros.

C) Explotación minera a cielo abierto en los yacimientos de arcillas de pasta blanca en la zona de Ariño-Estercuel (Teruel).

D) Cantera de ball clays en Heathfield (Inglaterra) en explotación en los años veinte.

losporquesdelanaturaleza.com (A)
 www.maldonsalt.co.uk (B)
 Imagen cedida por la autora (C)
 www.clayheritage.org (D)



B.



C.



D.

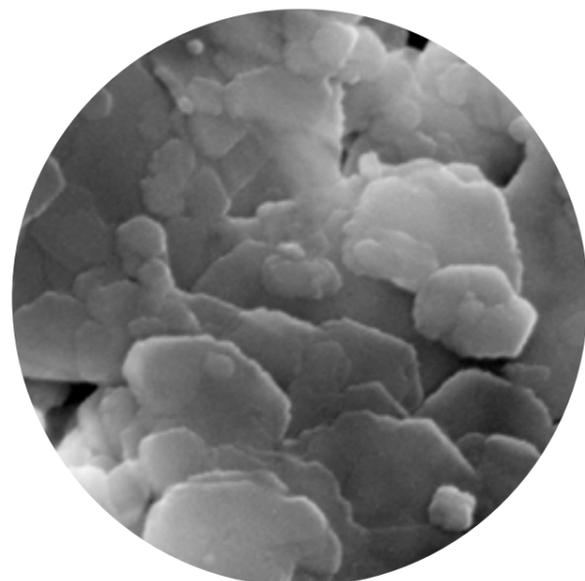
Estas arcillas cerámicas se pueden clasificar como *ball clays*, que es un término que procede del sur de Inglaterra (Devon y Dorset). A principios del siglo XX, para extraer las arcillas, las cortaban en canteras a cielo abierto en cubos (o bolas) de aproximadamente 25 cm de lado y que pesaban entre 15 y 17 Kg. El proceso se hacía de modo manual.

En general, las *ball clays* son arcillas plásticas, con contenidos significativos en caolinita, una arcilla laminar de composición aluminosilicatada $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$, y proporciones variables de otras arcillas como illita y/o mica, junto con cuarzo. Además se caracterizan por no contener carbonatos, ser de colores grises por la presencia de materia orgánica (hasta un 4%), y presentar contenidos muy bajos en Fe_2O_3 and TiO_2 . Si bien parte de los componentes de estas arcillas son detríticos (illitas, micas, cuarzo), y proceden de áreas fuente sometidas a procesos de meteorización y erosión, la caolinita, al menos en parte, se formó *in situ* en la cuenta sedimentaria. Las condiciones ácidas y reductoras, que generó la presencia de abundante materia orgánica, favorecieron la disolución de aluminosilicatos potásicos detríticos y la posterior cristalización de caolinita. Estas transformaciones minerales, que tienen lugar a temperaturas

“La halita se caracteriza por tener una estructura cúbica y se presenta en cristales, habitualmente, equidimensionales (cubos) incoloros o blancos”.

Imagen de microscopía electrónica de barrido de cristales laminares de caolinita (arriba) e imagen de microscopio electrónico de barrido de cristales de mullita inmersos en una matriz vítrea (abajo).

Imágenes cedidas por la autora.



muy bajas (<100°C), son a menudo transformaciones incompletas y producen fases intermedias como interestratificados e intercrecimientos a escala nanométrica de caolinita/esmectita o illita/esmectita. La presencia de materia orgánica, de fases intermedias expandibles y de caolinita, que se caracteriza por tener una morfología laminar, alta superficie específica y abundantes defectos cristalinos, confieren al material una alta plasticidad.

La caolinita, a diferencia de otras arcillas, tiene un comportamiento refractario lo que permite la fabricación de cerámicas de alta temperatura (~ 1300°C). Tras el proceso de cocción, la cerámica obtenida presenta un color blanco, lo que hace que se las denomine habitualmente arcillas de pasta blanca. El proceso de cocción cerámico hace que la mayor parte de las fases presentes en la materia prima se desestabilice (illita, materia orgánica, etc.) así como parte del cuarzo. Todas estas fases se funden, vitrifican, y se genera una fase amorfa aluminosilicatada a partir de la cual cristalizan dos nuevas fases, mullita y cristobalita. La mullita, que es un aluminosilicato ($Al_6Si_2O_{13}$), presenta morfología acicular. Los cristales tienen generalmente longitudes nanométricas y están orientados al azar en el cuerpo cerámico, lo que aporta una considerable resistencia mecánica. Por otra parte, la mullita incorpora en su estructura pequeñas cantidades del hierro y titanio presentes en la materia prima, lo que favorece que el producto cocido tenga color blanco. Si estos elementos, en vez entrar en la estructura de la mullita, formarían óxidos de hierro, como la hematites, o de titanio, como el rutilo o anastasa, el cuerpo cerámico tendría coloraciones rojizas. Las arcillas caoliníferas de pasta blanca de Teruel se utilizan para fabricar diversos pavimentos cerámicos, gres porcelánico, vidriados y sanitarios.

Se quedan en el tintero muchos otros minerales de los que hablar... como el coltán, presente en los medios de comunicación por ser un mineral de interés estratégico por sus aplicaciones tecnológicas, y el hecho de que los yacimientos más importantes del mundo estén en países en conflicto, el cuarzo o la turmalina, por sus propiedades piroeléctricas y piezoeléctricas, o las zeolitas, por sus propiedades de intercambio iónico y catalíticas, así como su capacidad de absorción, entre otros.

Dejo una pregunta en el aire... ¿Nos imaginamos un mundo sin minerales?

Blanca Bauluz.
Dpto. de Ciencias de la Tierra.
IUCA-Facultad de Ciencias.
Universidad de Zaragoza.

