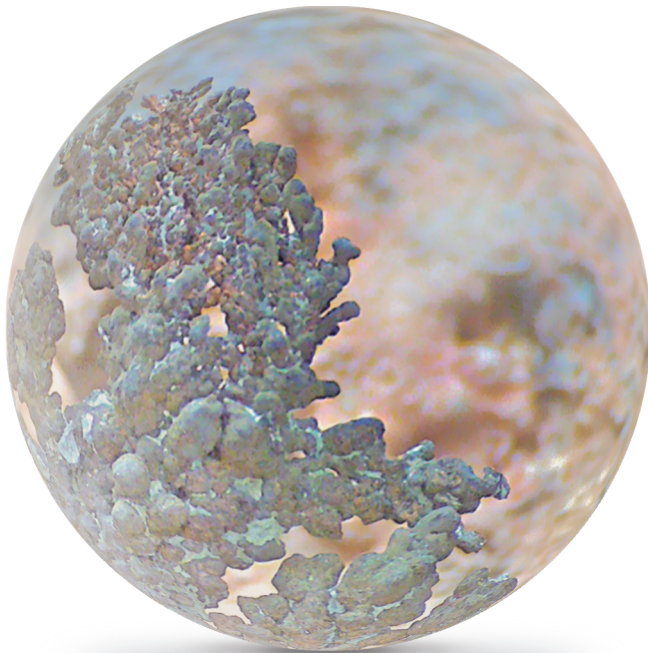


Patrimonio mineralógico de la Universidad de Huelva

Juan Carlos Fernández Caliani



Universidad
de Huelva



PATRIMONIO
MINERALÓGICO DE
LA UNIVERSIDAD DE HUELVA

PATRIMONIO MINERALÓGICO DE LA UNIVERSIDAD DE HUELVA

JUAN CARLOS FERNÁNDEZ CALIANI
2012



Universidad
de Huelva





2012

©

Servicio de Publicaciones
Universidad de Huelva

©

Juan Carlos Fernández Caliani

Motivo de Cubierta
Agregado arborescente de cobre nativo,
mina Herrerías, Puebla de Guzmán (Huelva)

Tipografía

Textos realizados en tipo Adobe Garamond de cuerpo 10,5pt

I.S.B.N.

978-84-16621-17-0

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito del Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva.

Nuestro catálogo en www.uhu.es/publicaciones

ÍNDICE

PRÓLOGO	9
PREFACIO	11
AGRADECIMIENTOS	13
INTRODUCCIÓN	15
ELEMENTOS NATIVOS	21
SULFUROS Y SULFOSALES	27
HALUROS	41
ÓXIDOS E HIDRÓXIDOS	49
CARBONATOS Y NITRATOS	63
BORATOS	75
SULFATOS, CROMATOS, MOLIBDATOS Y WOLFRAMATOS	77
FOSFATOS, ARSENIATOS Y VANADATOS	89
SILICATOS	103
ÍNDICE ALFABÉTICO DE MINERALES	145

PRÓLOGO

Los conceptos evolucionan, como las personas o la naturaleza, y van agrandando su significado con nuevos horizontes. Así ocurre con el patrimonio, un término cada vez más importante. Tanto que todas las Universidades andaluzas hemos creado un Campus de Excelencia dedicado al patrimonio en su más amplia acepción. Y es que resulta que todo lo que tenemos, somos o hemos sido, tanto personalmente como en nuestro entorno, se conceptualiza hoy día como patrimonio.

Nuestra Universidad está trabajando arduamente por catalogar y dar a conocer el patrimonio de nuestra tierra, que abarca su historia, cultura, arquitectura, obras de arte, y lo inmaterial como nuestras fiestas o creencias. Un ejemplo de este deseo fue la edición del libro *Geología de Huelva* que celebraba los 25 años de la Titulación de Geología.

Precisamente este deseo de dar a conocer aquello que atesoramos por considerarlo especial nos ha llevado a la realización de diversos catálogos de lo que tenemos en nuestra propia Universidad. Como es el caso del trabajo realizado para catalogar el patrimonio mineralógico de la Universidad de Huelva por Juan Carlos Fernández Caliani, Profesor de Cristalografía y Mineralogía del Departamento de Geología de la Universidad de Huelva.

Nuestro Campus del Carmen se está convirtiendo en un espacio museístico de primer orden con, entre otros, el museo pedagógico, que con sólo unos meses ya es de los más importantes de España en su especialidad, el espacio de interpretación de la Huelva milenaria con su yacimiento romano en el Cabezo de la Almagra a la entrada del Campus o el museo de escultura al aire libre, el de arquitectura con edificios premiados internacionalmente, el museo de la historia de la informática del que ya tenemos gran parte del fondo y se ubicará en el nuevo Maxiaulario de Ingenieros y el museo de mineralogía de nuestra Universidad.

El museo de mineralogía cuenta con una exposición permanente llamada Tesoros Minerales de la Universidad de Huelva, situada en el edificio de investigación Marie Curie, donde se exponen más de 350 ejemplares. Además, existe una versión virtual del museo en la dirección <http://www.uhu.es/museovirtualdemineralogia>, que el profesor Fernández Caliani ha realizado mediante un Proyecto de Innovación Docente concedido por el Vicerrectorado de Formación Permanente e Innovación de la Universidad de Huelva en la convocatoria de 2010/2011, lo que lo hace muy útil para nuestros alumnos y aquellos que quieran complementar la visita al museo. El espacio expositivo en el edificio Marie Curie se distribuye en ocho galerías que corresponden a las clases mineralógicas usadas universalmente para clasifi-

car los minerales, de acuerdo con criterios químicos y estructurales. Este es el mismo orden que se utiliza en el libro.

El patrimonio mineralógico de nuestra Universidad procede de muy diversas fuentes. Por un lado, de las adquisiciones de la propia Universidad, así como los que se ha ido heredando de los estudios de Ingenieros y Peritos de Minas que llevan impartándose en nuestra provincia desde hace más de un siglo. Además, un gran número de donantes nos han permitido contar con una colección cada vez más completa. Por ello, agradecemos a Antonio Barrero, Pablo Manuel Fernández, José Luis Carrizo, Fermín Clemente, Antonio La O Leñero, Jesús de la Rosa, Reinaldo Sáez, Gabriel Ruiz de Almodóvar, Juan Aurelio Pérez Macías, Juan Belmonte, Antonio Moreno, Javier Subirán, y a las empresas Cobre Las Cruces, Mina de Aguas Teñidas y Río Narcea Recursos sus donaciones a nuestro museo.

Por último, quiero agradecer a la Fundación Atlantic Copper el apoyo decidido por nuestra cultura mineralógica, como lo hizo hace unos meses con el magnífico congreso internacional sobre Tarteso, que se denominó el *Emporio del metal* y que ahora lo reafirma con esta cuidada edición que va a permitir que los visitantes de nuestro museo de mineralogía de la Universidad de Huelva cuenten con un catálogo completo de nuestra colección.

Francisco José Martínez López
Rector de la Universidad de Huelva

PREFACIO

Desde que pusimos en marcha la Fundación Atlantic Copper ha sido una prioridad la vinculación con la Universidad de Huelva. Con ello hemos recogido el testigo de años de positiva relación desarrollada previamente por nuestra empresa fundadora, que vivió como un acto de justicia el nacimiento de la institución docente que dotaba a la provincia de su propia oferta de estudios superiores.

En poco tiempo nuestra Universidad ha crecido cuantitativa y, sobre todo, cualitativamente, no solo en lo que se refiere a la actividad formativa, sino de manera muy especial, a la labor investigadora -que cuenta hoy con equipos y profesionales de reconocido prestigio- y a las publicaciones, que se convierten en una importante referencia de excelencia. La edición que ahora tenemos la satisfacción de prologar es una buena muestra de ello.

Huelva está íntimamente ligada a la mineralogía. Algunas de las más brillantes páginas de su historia se escribieron en torno al comercio de minerales y metales. Por fortuna, nuestra tierra está dotada de una gran riqueza de recursos naturales que hemos sabido aprovechar, siempre dentro de las posibilidades de cada época en lo que hoy se conoce como *mejores tecnologías disponibles*, y que debemos seguir usando para atender las necesidades de la sociedad contemporánea.

Los minerales resultan imprescindibles para muchas actividades cotidianas, conviven con nosotros en un sinnúmero de aplicaciones, son fuente de riqueza, de empleo, y también de salud. Sería una irresponsabilidad no relacionarnos con ellos sabiendo que están ahí, disponibles, al alcance de la mano, para aportarnos soluciones y alternativas.

Este ha sido el papel que le ha correspondido jugar a Atlantic Copper en el escenario productivo de la provincia de Huelva. Desde nuestros más remotos orígenes en el último cuarto del siglo XIX, nuestra función ha sido la transformación de mineral en productos útiles para el hombre. Nuestra compañía, como Huelva, no sería nada sin los minerales. Desde hace ya varias décadas nuestra presencia en la provincia se concreta en uno de los principales complejos metalúrgicos de Europa, que elabora cobre refinado de alta calidad y lo comercializa a los cinco continentes.

Por eso la Fundación Atlantic Copper se siente plenamente identificada con el propósito de esta publicación y con lo que representa, que no es nada más y nada menos que el trabajo de mucho tiempo en torno al estudio y la conservación de los minerales como patrimonio local, y su puesta a disposición de todos cuantos puedan estar interesados en su conocimiento, atraídos por su belleza o fascinados por sus secretos.

Esta edición coordinada por el profesor Fernández Caliani, del Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias Experimentales de la Universidad de Huelva es un eslabón más en una cadena de iniciativas marcadas por el denominador común de un profundo respeto hacia los minerales. Una cadena que presenta logros relevantes, como el Museo Virtual de Mineralogía, y que sin duda pronto contará con nuevos elementos en la misma línea.

La Fundación Atlantic Copper está orgullosa de participar en este proyecto, como lo está del resto de los programas que desarrolla con la Universidad de Huelva, entre los que destacan las convocatorias anuales de becas para que los jóvenes talentos de la provincia no tengan trabas económicas para acceder a estudios superiores o para que cursen estudios en universidades internacionales. Estos jóvenes son nuestro mejor recurso de futuro, como los minerales lo han sido en el pasado, lo son en el presente y seguirán siéndolo con el paso de los siglos.

Jesús Contreras Fernández
Presidente de la Fundación Atlantic Copper

AGRADECIMIENTOS

La publicación de esta obra ha sido posible gracias al patrocinio de la Fundación Atlantic Copper, que ha financiado íntegramente su edición. El libro se ha realizado también con el apoyo de mi institución, la Universidad de Huelva; especialmente estoy agradecido al Vicerrector de Investigación D. Jesús de la Rosa, por reconocer el valor patrimonial de los minerales y haber promovido la idea de divulgar el conocimiento de estos pequeños tesoros de la naturaleza. A D. Reinaldo Sáez, compañero del Área de Cristalografía y Mineralogía, le agradezco haber revisado el texto original y sus comentarios.

Juan Carlos Fernández Caliani

INTRODUCCIÓN

Un mineral es cualquier elemento o compuesto químico que normalmente es cristalino, y se ha formado como resultado de la acción de un proceso geológico. Actualmente se conocen más de 4.500 minerales, y cada año se descubren unas 50 especies nuevas. Muchos minerales presentan distintas variedades, que se diferencian entre sí por alguna propiedad física o por pequeñas variaciones composicionales. La diversidad de colores, brillos y formas cristalinas son el reflejo de su composición química y/o estructura cristalina.

Los minerales se originan en ambientes geológicos muy diversos (sedimentario, diagenético, metamórfico, magmático), y aparecen asociados constituyendo diferentes tipos de rocas. Cuando las condiciones mineralogénicas son favorables, los minerales cristalizan dando lugar a formas geométricas regulares de gran belleza natural. Localmente, pueden concentrarse en depósitos o yacimientos que son susceptibles de explotación minera con rendimiento económico. El desarrollo de nuestra civilización depende, en gran medida, de los múltiples usos y aplicaciones de los minerales. Al margen de su interés económico-industrial, los minerales también han atraído la atención del ser humano desde tiempos prehistóricos por sus cualidades estéticas y ornamentales; la fascinación por los minerales llevó incluso a atribuirles propiedades mágicas o milagrosas.

Los minerales forman parte de la riqueza natural de nuestro planeta y, por consiguiente, se consideran elementos esenciales del patrimonio geológico mueble. Este patrimonio natural cumple una importante función educativa, cultural y científica, razón por la cual debe ser convenientemente protegido y divulgado. Como queda recogido en la Declaración de Girona sobre el Patrimonio Geológico, cada persona, cada administración, cada gobierno, tiene la obligación de ejercer acciones para dar a conocer, proteger, difundir y poner en valor el patrimonio geológico, en los distintos ámbitos que le sean propicios: local, regional, nacional e internacional.

La Universidad de Huelva (UHU) atesora una interesante colección de minerales, compuesta por más de 360 especies diferentes (Tabla 1), con muchos ejemplares que destacan por su belleza, rareza o interés mineralógico. Los minerales proceden de numerosos yacimientos españoles y extranjeros, y en algunos casos de la localidad donde fue descubierto o descrito por vez primera, incluyendo una amplia representación de la geodiversidad mineralógica de la provincia de Huelva. La donación de piezas de colección por parte de particulares, profesores y estudiantes ha sido una de las principales fuentes de enriquecimiento del patrimonio mineralógico de la UHU, especialmente desde 1981 cuando se creó la titulación de

Geología. Una parte de esta colección se muestra en una exposición permanente mediante el tradicional sistema de museo-vitrina en el edificio Marie Curie del Campus de El Carmen, y al mismo tiempo se expone en un museo virtual (www.uhu.es/museovirtualdemineralogia) recientemente creado en el marco de un Proyecto de Innovación Docente.

La presente obra es el complemento ideal e imprescindible para culminar este plan de divulgación, con el doble objetivo de valorizar y contribuir al conocimiento del patrimonio mineralógico de la UHU, y dotar de una guía visual a sus visitantes presenciales y virtuales. El libro propone hacer un recorrido descriptivo y profusamente ilustrado de los minerales más relevantes que componen la colección, a través de 240 fotografías distribuidas a lo largo del texto y cuidadosamente seleccionadas para resaltar los aspectos físicos (color, brillo, etc.) y cristalográficos (forma cristalina, hábito, maclado, etc.) que pueden observarse a simple vista o con una lupa de bolsillo.

Las especies seleccionadas se describen sistemáticamente tomando como base la composición química y estructura cristalina de los minerales. Las *clases* establecidas según el tipo de anión dominante son: 1) elementos nativos; 2) sulfuros y sulfosales; 3) haluros; 4) óxidos e hidróxidos; 5) carbonatos y nitratos; 6) boratos; 7) sulfatos, cromatos, molibdatos y wolframatos; 8) fosfatos, arseniatos y vanadatos; y 9) silicatos. Dentro de cada clase los minerales se clasifican en *grupos*, cuando entre ellos existe similitud cristalográfica o estructural, y los minerales del mismo grupo pueden formar *series* en caso de que presenten variaciones más o menos continuas en su composición química por sustitución iónica (soluciones sólidas).

TABLA I

Relación de especies que conforman el patrimonio mineralógico de la Universidad de Huelva

Se indican en cursiva las especies descritas en esta obra

ELEMENTOS NATIVOS

Antimonio, arsénico, azufre, bismuto, cobre, grafito, hierro, mercurio, oro, plata, selenio, telurio.

SULFUROS Y SULFOSALES

Acanrita, algodonita, altaíta, arsenopirita, berthierita, bismutina, bornita, bournonita, breithauptita, calcopirita, calcosina, cinabrio, cobaltina, colusita, covellina, cubanita, digenita, discrasita, djurleíta, enargita, esfalerita, estannita, estibina, estromeyerita, famatinita, freibergita, galena, gersdorffita, greenockita, hutchinsonita, jamesonita, jordanita, joseíta, kermesita, löllingita, luzonita, marcasita, maucherita, millerita, molibdenita, niquelina, oropimente, pentlandita, pirargirita, pirita, pirrotina, proustita, rammelsbergita, rejalgar, renierita, safflorita, tennantita, tetraedrita, semseyita, siegenita, skutterudita, valleriíta, villamaninita.

HALUROS

Atacamita, boletita, carnalita, chiolita, clorargirita, criolita, criolitionita, fluorita, gearsutita, halita, jarlita, murdochita, nadorita, pachnolita, paratacamita, ralstonita, silvina, thomsenolita, villiaumita, weberita.

ÓXIDOS e HIDRÓXIDOS

Anatasa, bismita, boehmita, brannerita, brookita, casiterita, cuprita, columbita, corindón, coronadita, crisoberilo, cromita, emmonsita, espinela, estibiconita, franklinita, goethita, gibbsita, hausmannita, hematites, hollandita, ilmenita, ilmenorritilo, lepidocrocita, litioforita, mackayita, magnetita, manganita, manganosita, microlita, partzita, perovskita, pirocloro, pirolusita, plattnerita, pseudobrookita, rajita, rodalquilarita, romanechita, rutilo, senarmontita, tantalita, tapiolita, telurita, tenorita, torianita, uraninita, zincita.

CARBONATOS y NITRATOS

Ankerita, aragonito, auricalcita, azurita, calcita, cerusita, dawsonita, dolomita, esferocobaltita, estroncianita, hidrozincita, magnesita, malaquita, northupita, rodocrosita, rosasita, siderita, smithsonita, trona, witherita.

BORATOS

Boracita, bórax, colemanita, fluoborita, hidroboracita, ludwigita, kurnakovita, tincalconita, vonsenita.

SULFATOS, CROMATOS, MOLIBDATOS y WOLFRAMATOS

Alunita, alunógeno, anglesita, anhidrita, antlerita, barita, botriógeno, calcantita, celestina, copiapita, coquimbita, devillina, epsomita, ferberita, fornacita, glauberita, halotriquita, hankita, hemiedrita, jarosita, kalinita, klebelsbergita, langita, linarita, melanterita, morenosita, peretaita, roemerita, romboclasa, scheelita, schuetteita, szomolnokita, thenardita, voltaíta, wolframita, wulfenita, yeso.

FOSFATOS, ARSENIATOS y VANADATOS

Adamita, anapaíta, apatito, autunita, beraunita, bolivarita, brasilianita, calderonita, carnotita, chapmanita, clinoclasa, conicalcita, cornetita, corvusita, descloizita, duftita, eritrina, escorodita, farmacolita, köttigita, jahnsita, laueita, lazulita, legrandita, libethenita, mimetita, monacita, mottramita, olivenita, parsonsita, piromorfita, pseudomalaquita, renardita, roselita, scholzita, sengierita, torbernita, turquesa, vanadinita, variscita, vauxita, wavellita, xenotima.

SILICATOS

Actinolita, aegirina, aerinita, albita, almandino, allanita, analcima, andalucita, andradita, antigorita, apofilita, astrofilita, augita, axinita, bavenita, benitoíta, berilo, biotita, brewsterita, caolinita, chorlo, cianita, clorita, coffinita, condrodita, cordierita, crisocola, crisotilo, cristobalita, cuarzo, damburita, datolita, deerita, diópsido, dioptrisa, eckermannita, edingtonita, elbaíta, epidota, espodumena, estauroilita, estilbita, estilpnomelana, euclasa, eudialita, fenacita, flogopita, gehlenita, gismondina, gmelinita, grosularia, harmotoma, hastingsita, haüyna, hemimorfita, heulandita, hiperstena, hisingerita, hornblenda, ilvátta, inesita, joaquinita, kaersutita, kinóíta, lazurita, lepidolita, leucita, levinita, lizardita, manganotremolita, microclina, miserita, moscovita, natrolita, neptunita, nontronita, okenita, olivino, ópalo, ortoclasa, osumilita, palygorskita, paraspurrita, pargasita, pectolita, petalita, phillipsita, piemontita, plancheíta, prehnita, richterita, rodonita, ruizita, sanidina, sepiolita, serandita, shattuckita, sillimanita, talco, taramita, tefroíta, titanita, topacio, tremolita, tridimita, uranofana, uvarovita, vermiculita, vesubianita, willemita, wollastonita, zinnwaldita, zircón, zoisita, zunyita.

ELEMENTOS NATIVOS

Se consideran elementos nativos aquellos minerales constituidos por átomos de un solo elemento que se encuentra en la naturaleza en estado nativo, es decir en estado de oxidación cero, incluyendo el mercurio y algunas aleaciones metálicas naturales. De acuerdo con su naturaleza cristaloquímica, se diferencian elementos metálicos, semimetálicos o metaloides, y elementos no metálicos.

Esta clase se caracteriza por una escasa diversidad mineralógica debido a que solamente unos 20 elementos se encuentran en la naturaleza en estado nativo (exceptuando los gases libres de la atmósfera). Su abundancia es insignificante (representan menos de 0,15% de la masa de la corteza terrestre), pero algunos minerales como el diamante, el oro o el platino alcanzan una elevada cotización por su rareza, valiosas propiedades físicas, químicas y ornamentales. La UHU dispone de 12 especies distintas de elementos nativos.

1. METALES NATIVOS

La mayoría de los metales nativos cristalizan en el sistema cúbico, aunque normalmente forman agregados masivos, dendríticos o filamentosos. Presentan propiedades físicas y químicas semejantes, derivadas de su empaquetamiento cristalino compacto y enlace metálico dominante. En general, son opacos, densos, dúctiles y maleables, excelentes conductores del calor y de la electricidad, y poseen un brillo metálico característico.

El **oro** (Au) es uno de los minerales más deseados por el ser humano desde tiempos prehistóricos. Es un mineral escaso, de origen hidrotermal, que se encuentra en ciertos filones de cuarzo, generalmente asociado a sulfuros metálicos. Un ejemplo de ello es la mina Sultana, una antigua explotación situada en las proximidades de Cala (Huelva), sobre una mineralización filoniana de cobre. El oro se presenta en pequeñas masas esqueléticas englobadas o flotantes en una matriz de cuarzo (Foto 1a). El oro nativo también está presente en pequeña cantidad en los sulfuros masivos de la Faja Pirítica Ibérica, y como partículas submicroscópicas en la zona de oxidación de los mismos, donde fue explotado a escala industrial en las minas de Tharsis y Riotinto.

El **cobre** nativo (Cu) se origina normalmente por reducción del cobre liberado por los procesos de alteración supergénica de los sulfuros que lo contienen. En la provincia de Huelva se han encontrado magníficos ejemplares de cobre nativo, concretamente en la zona de

oxidación de algunos yacimientos como Riotinto, Sotiel, La Zarza y Herrerías. El cobre nativo de mina Herrerías (Foto 1b) apareció en las pizarras y filones de cuarzo de la corta Santa Bárbara, actualmente inundada con aguas ácidas. Se presenta en agregados dendríticos o arborescentes formados por cristales octaédricos muy distorsionados, parcialmente recubiertos por una pátina de alteración.

El **bismuto** (Bi) se encuentra como elemento traza en las masas de sulfuros de la Faja Pirítica, pero excepcionalmente en la mina de Monte Romero (Almonaster la Real, Huelva) se hallaron antiguamente algunos ejemplares donde el bismuto nativo aparece en cristales de tamaño centimétrico (Foto 1c).

2. SEMIMETALES O METALOIDES NATIVOS

A diferencia de los metales nativos, la estructura de los semimetales o metaloides no puede representarse mediante un simple empaquetamiento atómico, y sus enlaces son parcialmente covalentes. Presentan una estructura en capas que determina una fácil exfoliación debido a la presencia de enlaces más débiles. Los metaloides, como el **antimonio** (Foto 2a), rara vez aparecen cristalizados en la naturaleza, sino formando masas laminadas o radiadas, de color gris, a menudo recubiertas por una pátina de oxidación, en este caso compuesta por valentinita (Sb_2O_3).

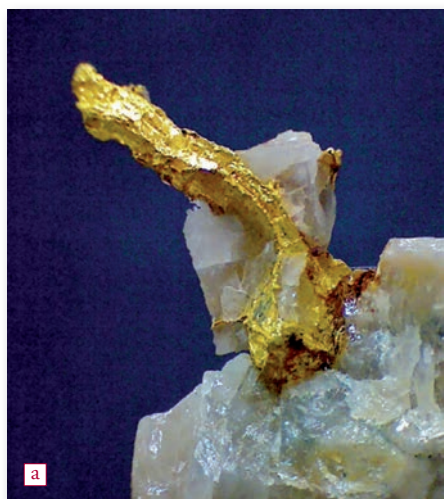


Foto 1. Metales nativos

a) Oro nativo en matriz de cuarzo, mina Sultana, Cala, Huelva (1,5 x 1,2 cm).

b) Crecimiento arborescente de cobre nativo, mina Herrerías, Puebla de Guzmán, Huelva (9,5 x 5,5 cm).

c) Bismuto nativo procedente de Monte Romero, Almonaster la Real, Huelva (6,5 x 4,8 cm).

3. NO METALES NATIVOS

El carbono (C) puede aparecer en estado nativo como **diamante** y **grafito**, constituyendo un interesante ejemplo de polimorfismo. En el caso del diamante, los átomos de carbono se enlazan mediante compartición de electrones, formando una estructura covalente pura, lo cual determina su extraordinaria dureza. En cambio, el grafito presenta una estructura molecular constituida por un empaquetamiento regular de láminas planas de anillos hexagonales, unidas por fuerzas de enlace débiles, dando lugar a masas hojosas muy blandas y exfoliables. La mina Bogala (Sri Lanka) produce el grafito probablemente más puro y cristalino del mundo (Foto 2b).

El **azufre** (S) también presenta una estructura molecular, consistente en agrupaciones de ocho átomos que forman anillos débilmente unidos entre sí, de ahí que sea un mineral blando y frágil, con bajo punto de fusión y alto coeficiente de expansión térmica. El azufre nativo se forma típicamente en áreas volcánicas, como producto de sublimación de fumarolas. Los cristales generalmente presentan formas bipiramidales del sistema rómbico, color amarillo característico y brillo resinoso. El azufre siciliano es reconocido internacionalmente por sus bellos cristales asociados a calcita y aragonito (Foto 2c).



Foto 2. Metaloides y no metales nativos

a) Antimonio nativo con pátina amarillenta de valentinita, Nuevo Tepache, México (4,5 x 2,5 cm).

b) Grafito de elevada cristalinidad, precipitado a partir de fluidos carbónicos, mina Bogala, Sri Lanka (7,3 x 5 cm).

c) Cristal rómbico de azufre, con aragonito y calcita, Sicilia, Italia (1 cm arista).

SULFUROS Y SULFOSALES

Pertenecen a esta importante clase aquellos minerales formados por combinaciones no oxigenadas de metales o metaloides con azufre (o bien con As, Sb, Se y Te), de modo que se incluyen también arseniuros, antimoniuros, seleniuros y telururos, así como sulfosales (sulfuros dobles de un metal y un metaloide). En total, son más de 600 especies diferentes, de las cuales 58 se encuentran representadas en la colección de la UHU.

La mayoría de estos minerales son opacos, poseen un elevado peso específico y presentan un brillo metálico característico. En general, son buenos conductores del calor y de la electricidad. Muchos sulfuros y sulfosales tienen interés económico por tratarse de menas metálicas, como calcopirita (Cu), esfalerita (Zn), galena (Pb), etc.

1. SULFUROS METÁLICOS

La **pirita** (FeS_2) es el sulfuro más abundante en la naturaleza. Las mayores reservas del mundo de pirita masiva se localizan en el suroeste de la península Ibérica (Faja Pirítica Ibérica), si bien las mejores piezas de colección proceden de La Rioja (Navajún, Ambasaguas, etc.). Las piritas riojanas son apreciadas por la perfección morfológica (cubos y dodecaedros pentagonales o *piritoedros*), brillo y tamaño de los cristales (Foto 3a). La pirita también cristaliza en forma de octaedro, aunque más raramente (Foto 3b).

La **marcasita** tiene la misma composición que pirita, pero sus cristales son tabulares y suelen presentar crecimientos paralelos dando lugar a agrupaciones en forma de *cresta de gallo* (Foto 3c). Generalmente se encuentra en filones hidrotermales de baja temperatura, así como en yacimientos estratoligados a rocas carbonatadas, junto con esfalerita y galena, como ocurre en la mina de Reocín (Cantabria), su localidad más clásica en España.

La **pirrotina** ($\text{Fe}_{0,8-1,0}\text{S}$) es un sulfuro de hierro no estequiométrico debido a la existencia de vacancias estructurales. Se reconoce por su color bronce, propiedades magnéticas y por la forma hexagonal de sus cristales. Se han encontrado bellos cristales en la mina Potosí, Chihuahua, México (Foto 3d).



Foto 3. Sulfuros de hierro

- a) Cristal cúbico de pirita en matriz de lutita, Navajún, La Rioja (3 cm arista).
- b) Cristales octaédricos de pirita con magnetita, mina Brosso, Piamonte, Italia (1 cm arista).
- c) Agregado de cristales tabulares de marcasita en forma de cresta de gallo, mina Reocín, Cantabria (8 x 5,5 cm).
- d) Cristales prismáticos hexagonales de pirrotina, mina Potosí, Chihuahua, México (3,3 x 2,5 cm).



La **calcopirita** (CuFeS_2) es el mineral de cobre más difundido en la naturaleza y una de sus principales menas. Normalmente se presenta en masas compactas de color amarillo, a menudo con pátina iridiscente. Los cristales son raros y se asemejan a tetraedros, aunque cristalográficamente se consideran biesfenoides tetragonales (Foto 4). La calcopirita se ha explotado intensivamente en los yacimientos de sulfuros masivos de la Faja Pirítica Ibérica, donde aparece asociada a pirita, esfalerita y galena. Actualmente continúa la extracción de calcopirita para la obtención de cobre en la mina Aguas Teñidas (Almonaster la Real, Huelva), y existen proyectos de reapertura de otras minas como Riotinto, Sotiel, La Zarza y Lomero-Poyatos.



Foto 4. Cristales biesfenoidales de calcopirita intercrecidos con esfalerita, Huancavelica, Perú (5,8 x 4,4 cm).

La **calcosina** (Cu_2S) es una mena importante de cobre, no tanto por su abundancia como por su alto contenido metálico (80% Cu). Los cristales presentan una morfología lenticular de contorno hexagonal, debido a un maclado cíclico, y poseen un color gris que se torna negro mate al contacto con el aire. Se encuentra en la zona de cementación o enriquecimiento supergénico de los depósitos primarios de cobre, como es el caso del yacimiento Las Cruces (Gerena, Sevilla) donde aparecen excelentes cristales de calcosina en cavidades tapizadas por calcita (Foto 5a).

La **covellina** (CuS) es otro sulfuro de cobre de origen supergénico, que habitualmente se presenta en masas y pátinas de color azul añil recubriendo a los sulfuros primarios (Foto 5b). Las minas de Riotinto (Huelva) han producido magníficos ejemplares de covellina, de aspecto aterciopelado, a veces acompañado de azufre nativo.



Foto 5. Sulfuros supergénicos de cobre

a) Cristales pseudohexagonales de calcosina con calcita, mina Las Cruces, Gerena, Sevilla (2 mm arista).

b) Pátina de covellina con aspecto aterciopelado, recubriendo una masa de pirita, Minas de Riotinto, Huelva (6 x 5 cm pieza).



La **galena** (PbS) es la mena más importante de plomo. Suele presentarse en masas exfoliadas, de color gris plomo y elevado peso específico. También son comunes los cristales cúbicos y combinaciones de cubos y octaedros (Foto 6). Generalmente se encuentra asociado a cuarzo, calcita y otros sulfuros, sobre todo esfalerita, en filones hidrotermales. Los yacimientos españoles más importantes por su producción y calidad se encuentran en el distrito de Linares y La Carolina (Jaén).



Foto 6. Cristales cubo-octaédricos de galena, distrito de Santa Eulalia, Chihuahua, México (5 mm arista)

La **esfalerita** (ZnS) es la principal mena de zinc, aunque puede contener proporciones variables de hierro. Suele mostrar una coloración parda o amarillenta con brillo resinoso (Foto 7a), como la esfalerita *acaramelada* de la mina Áliva (Picos de Europa, Cantabria), o bien más oscura, casi negra, en el caso de la variedad *marmatita* (Foto 7b). Los cristales son comunes, con formas del sistema cúbico (cubos, tetraedros y dodecaedros) complejas debido al efecto del maclado. La **greenockita** (CdS) es un mineral terroso de color amarillo (Foto 7c), que se encuentra asociado a esfalerita en algunos yacimientos.

El **cinabrio** (HgS) es la única fuente importante de mercurio. El depósito de cinabrio masivo más importante del mundo se localiza en Almadén (Ciudad Real), donde ocasionalmente aparecían pequeños cristales romboédricos diseminados en cuarcitas negras con mercurio nativo (Foto 7d). El cinabrio se caracteriza por su color rojo bermellón y brillo adamantino.

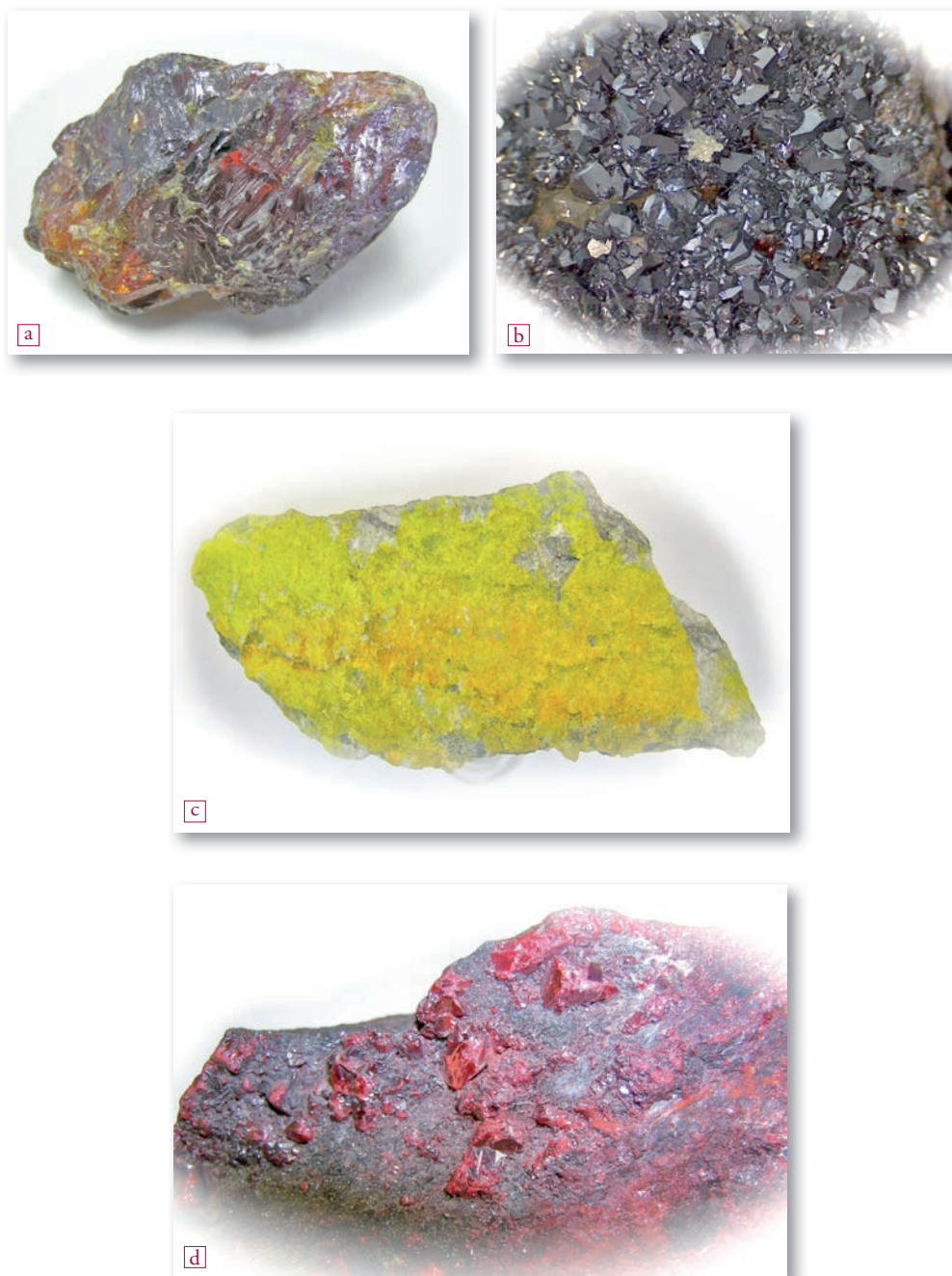


Foto 7. Sulfuros con brillo no metálico

a) Masa de esfalerita acaramelada, Picos de Europa, Cantabria (8 x 5 cm).

b) Esfalerita ferrífera (variedad marmatita), Cumberland, Inglaterra (4 mm arista mayor).

c) Pátina de greenockita, Gualba, Barcelona (9,5 x 4,5 x 3,5 cm).

d) Cristales de cinabrio en cuarcita negra, con gotitas de mercurio nativo, Almadén, Ciudad Real (10 x 4 cm).

La **pentlandita** $[(\text{Ni},\text{Fe})_9\text{S}_8]$ es la principal mena de níquel. Se origina por procesos de segregación magmática a elevada temperatura, y suele encontrarse asociado a calcopirita y pirrotina en rocas ígneas básicas y ultrabásicas. Normalmente se presenta en masas compactas de color bronceado (Foto 8a). En España se explota actualmente en la mina Aguablanca (Monesterio, Badajoz), el yacimiento de níquel más importante del suroeste de Europa.

La **millerita** (NiS) es un mineral hidrotermal de baja temperatura, fácilmente reconocible por la forma acicular de sus cristales de color amarillo pálido (Foto 8b). Los agregados cristalinos típicamente se encuentran en cavidades de calizas y dolomías formando grupos radiados. También puede hallarse en rocas ultrabásicas serpentizadas, donde se origina a partir de pentlandita.

La **niquelina** (NiAs) es un arseniuro de níquel que cristaliza en el sistema hexagonal, aunque normalmente se presenta masivo, de color cobre pálido, en mineralizaciones hidrotermales. En el distrito de Cobalt, Ontario (Canadá), se han hallado buenos ejemplares de niquelina (Foto 8c).

La **cobaltina** (CoAsS) se origina por procesos hidrotermales de alta temperatura, a menudo asociado a niquelina. Cristaliza en el sistema rómbico, si bien los cristales presentan morfologías pseudocúbicas con caras estriadas, como la pirita, de la cual se diferencia por su color gris plateado. La cobaltina se encuentra a nivel microscópico en las masas de sulfuros polimetálicos de la Faja Pirítica, pero excepcionalmente en la mina Monte Romero (Almonaster la Real, Huelva) aparecieron algunos ejemplares de gran interés mineralógico por su rareza y cristalización (Foto 8d).

La **skutterudita** (CoAs₂₋₃) es otro mineral hidrotermal de alta temperatura, generalmente asociado a cobaltina y niquelina en las mineralizaciones filonianas. Normalmente se halla en masas granulares de color gris plata, si bien en algunos distritos mineros como Bou Azzer (Marruecos) se encuentran agregados de cristales bien desarrollados, formados por una combinación de cubos y octaedros (Foto 8e). Cristales de buena calidad se han hallado también en algunas minas de la provincia de Huelva, como Monte Romero y Cala.

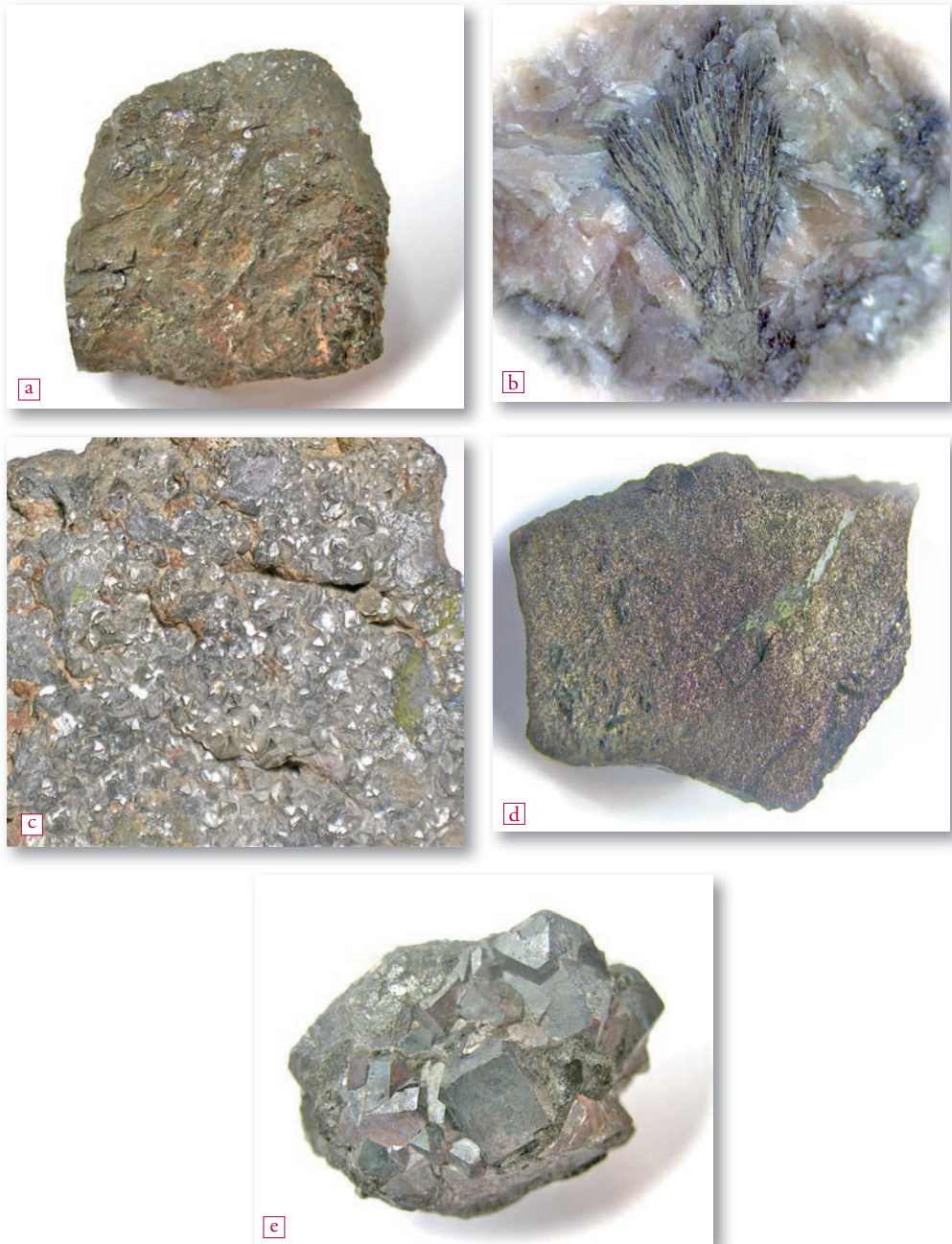


Foto 8. Sulfuros y arseniuros de níquel y/o cobalto

- a) Pentlandita masiva, Broken Hill, Nueva Gales del Sur, Australia (6,5 x 5,5 cm).
 b) Agregado de cristales aciculares de millerita en forma de abanico, Pafuri, Limpopo (2 cm longitud).
 c) Masa granular de niquelina, Cobalt, Ontario, Canadá (6 x 4,2 cm).
 d) Agregado de cristales pseudocúbicos de cobaltina, mina Monte Romero, Almonaster la Real, Huelva (6,5 x 5 cm).
 e) Agregado de cristales cuboctaédricos de skutterudita, Bou Azzer, Ouarzazate, Marruecos (0,9 cm arista).

La **arsenopirita** (FeAsS) es el mineral de arsénico más abundante y, por tanto, su principal mena. Los yacimientos más comunes son filones hidrotermales de alta temperatura, bolsadas pegmatíticas y depósitos de skarn, donde se asocia a wolframita y casiterita. La arsenopirita cristaliza en el sistema monoclinico, si bien son comunes las maclas que producen formas tabulares o prismáticas pseudorrómbicas. Las caras suelen presentar estrías longitudinales y un característico color blanco a gris de plata (Foto 9a). En las minas de estaño y wolframio del oeste peninsular se han obtenido excelentes ejemplares de arsenopirita cristalizada, especialmente en las minas de Panasqueira (Beira Baixa, Portugal).

La **molibdenita** (MoS_2) es la mena fundamental de molibdeno. Se trata de un sulfuro muy blando (puede rayarse con la uña), de color gris plomo, que habitualmente se presenta cristalizado en forma de placas hexagonales (Foto 9b), fácilmente exfoliables, o prismas muy cortos y ligeramente cónicos. Se origina en filones hidrotermales de alta temperatura, depósitos de tipo porfídico, así como en pegmatitas graníticas y depósitos de skarn. Los mejores ejemplares proceden posiblemente de Quebec (Canadá).

La **acantita** (Ag_2S) es una mena importante de plata que se forma primariamente por procesos hidrotermales de baja temperatura, y también por alteración supergénica. Cristaliza en el sistema monoclinico aunque son frecuentes las formas cristalinas cúbicas. Tradicionalmente, estos cristales con morfología pseudocúbica se consideraban argentita, término desacreditado por la Asociación Internacional de Mineralogía. La mina San Juan de Rayas, Guanajuato (México), es conocida por haber proporcionado los mejores cristales de acantita (Foto 9c).

La **löllingita** (FeAs_2) es un arseniuro de hierro de color gris acero, que cristaliza en el sistema rómbico dando lugar a cristales prismáticos, generalmente biterminados. Se encuentra en depósitos hidrotermales y pegmatíticos. Los ejemplares de löllingita cristalizada más interesantes que se han encontrado en España proceden de la mina Monchi, Burguillos del Cerro (Badajoz), y de la corta Carlés, Salas (Asturias), donde aparece asociado a anfíboles (Foto 9d).

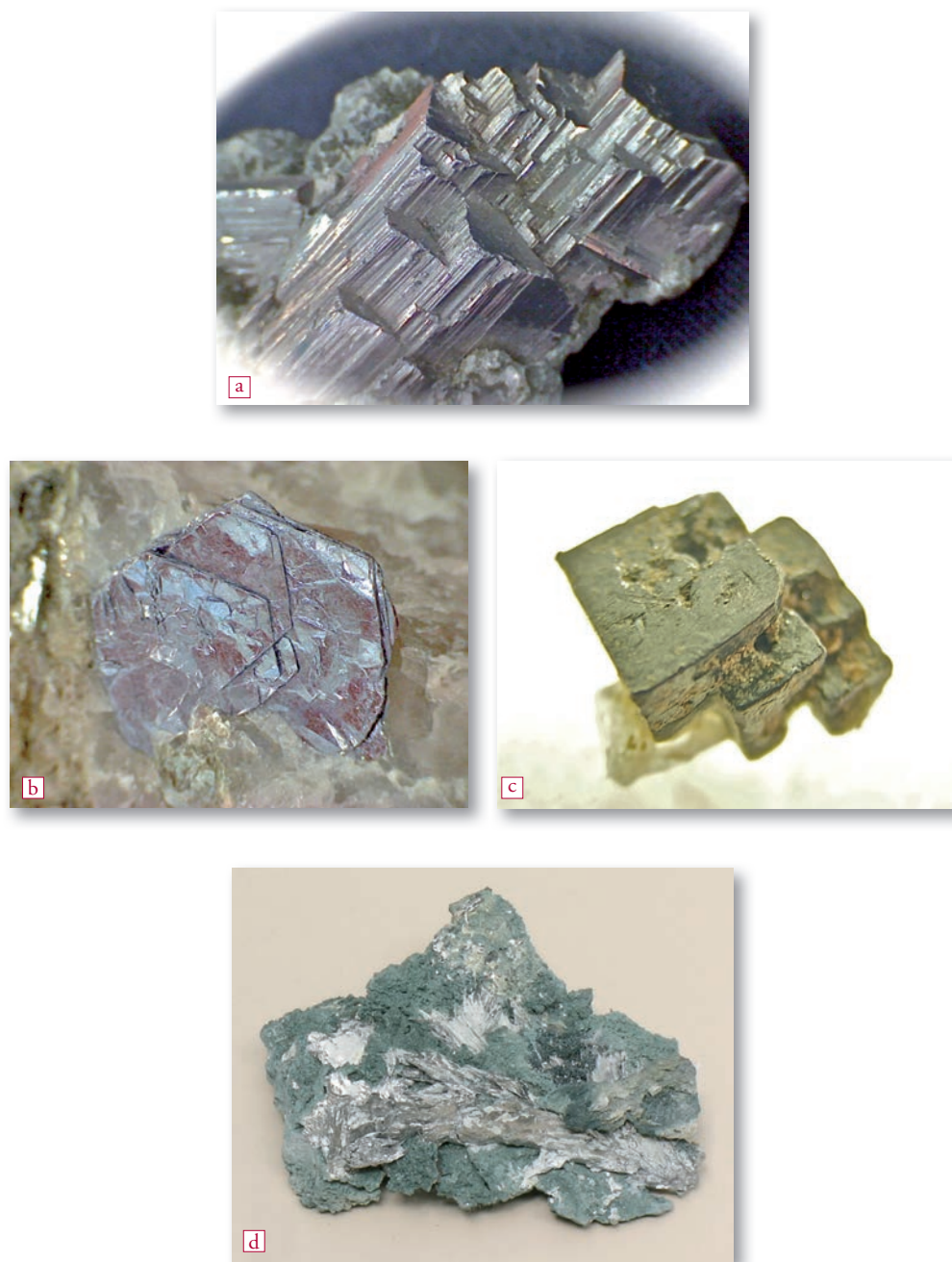


Foto 9. Otros sulfuros y arseniuros metálicos

- a) Cristales prismáticos de arsenopirita con caras estriadas, minas de Panasqueira, Portugal (6,4 x 3,1 cm).
b) Cristales hexagonales de molibdenita en matriz de cuarzo, mina Moly Hill, Quebec, Canadá (1 cm arista).
c) Grupo de cristales pseudocúbicos de acantita, mina San Juan de Rayas, Guanajuato, México (5 mm arista).
d) Agregado de cristales prismáticos alargados de löllingita, mina Carlés, Salas, Asturias (9 x 7 cm).

2. SULFUROS SEMIMETÁLICOS

La **antimonita** o estibina (Sb_2S_3) es la mena principal de antimonio. Se caracteriza por sus cristales prismáticos alargados, terminados en punta, y estriados longitudinalmente. Cuando aparece masivo puede distinguirse por su fácil exfoliación y baja dureza. En general, se localiza en filones hidrotermales de baja temperatura. Fue explotado en la provincia de Huelva durante la segunda mitad del siglo XIX, en la mina Nerón, El Cerro de Andévalo, donde aparece en masas hojosas acompañado de cuarzo (Foto 10a).

Oropimente (As_2S_3) y **rejalgar** (AsS) normalmente se encuentran asociados en depósitos hidrotermales de baja temperatura, formando masas hojosas muy blandas, con brillo resinoso (Foto 10b). Más raramente en cristales tabulares o prismáticos cortos (Foto 10c). Se distinguen por vistosos colores brillantes, amarillo intenso (oropimente) y rojo fuego (rejalgar). Son minerales tóxicos que antiguamente se utilizaban como pigmentos naturales.

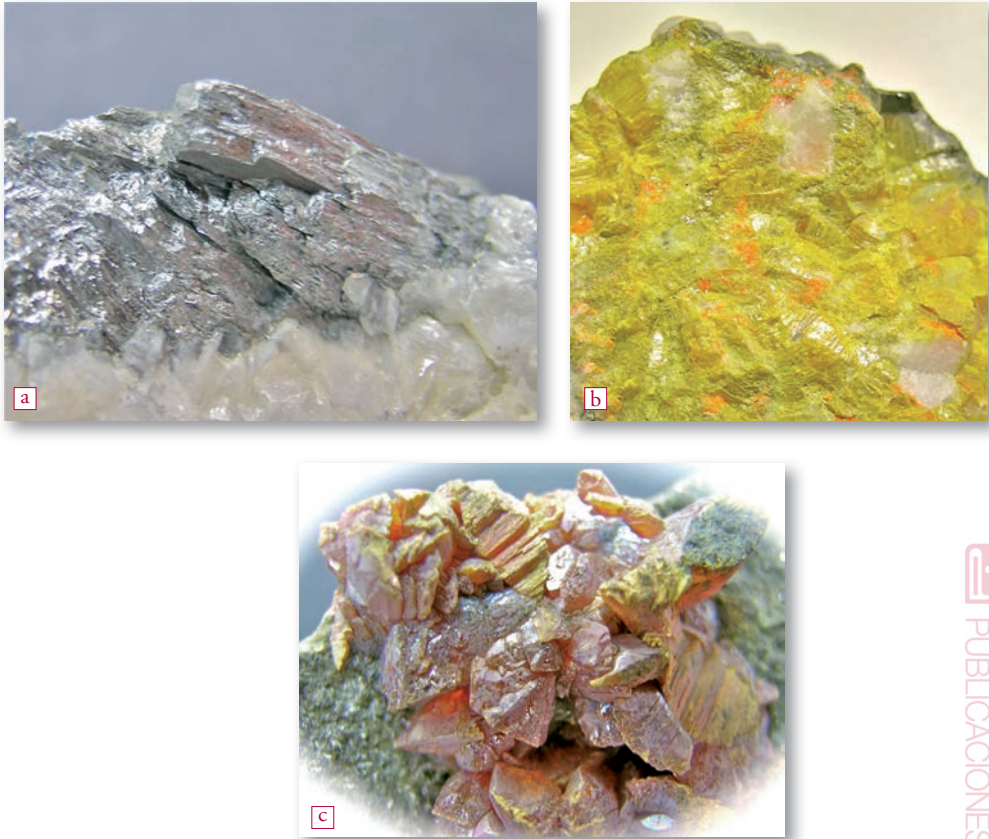


Foto 10. Sulfuros semimetálicos

a) Masa de antimonita, mina Nerón, El Cerro de Andévalo, Huelva (9 x 6 cm pieza).

b) Oropimente masivo, mina Twin Creeks, Nevada, USA (4 x 3,4 cm).

c) Cristales de rejalgar con oropimente en matriz de pirita, Huancavelica, Perú (6 x 3,5 cm).

3. SULFOSALES

Tetraedrita $[(\text{Cu},\text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}]$ y **rennantita** $[(\text{Cu},\text{Fe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}]$ son sulfosales de cobre que constituyen una serie isomorfa de soluciones sólidas, pues arsénico y antimonio pueden sustituirse en las mismas posiciones de su estructura cúbica dando lugar a cristales mixtos. Se conocen también como *cobres grises*, por su coloración. Los cristales frecuentemente son tetraédricos (Foto 11a,b), y suelen estar asociados a sulfuros metálicos en depósitos hidrotermales de temperatura media o baja.

Piragirita $(\text{Ag}_3\text{SbS}_3)$ y **proustita** $(\text{Ag}_3\text{AsS}_3)$ son sulfosales de plata, isoestructurales, pero en este caso la sustitución iónica entre arsénico y antimonio es muy limitada. Se presentan en cristales prismáticos o escalenoédricos de color rojo rubí, razón por la que se conocen también como *platas rojas*. No obstante, los cristales tienden a recubrirse con una pátina oscura cuando se exponen a la luz (Foto 11c). Se hallan conjuntamente en filones hidrotermales de baja temperatura, asociados a acantita y plata nativa. Algunas localidades clásicas de las platas rojas son Hiendelaencina (Guadalajara) y Guadalcanal (Sevilla). Recientemente han aparecido bellos cristales de proustita (Foto 11d) en la mina Las Cruces (Gerena, Sevilla).

La **bournonita** (PbCuSbS_3) es una sulfosal de elevado peso específico por su contenido en plomo. Los cristales son de color gris acero y presentan morfologías tabulares o prismáticas con escaso desarrollo (Foto 11e). Aparecen frecuentemente maclados, con las caras estriadas. El distrito minero de Quiruvilca (Perú) ha proporcionado interesantes muestras de esta sulfosal.

Otras sulfosales de plomo son la **jamesonita** $(\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14})$, fácilmente reconocible por su hábito acicular o capilar (Foto 11f), y la **hutchinsonita** $[(\text{Pb},\text{Tl})_2\text{As}_5\text{S}_9]$ caracterizada por su contenido en talio y por la forma prismática alargada de sus cristales (Foto 11g). Se originan por procesos hidrotermales, como la mayoría de las sulfosales.

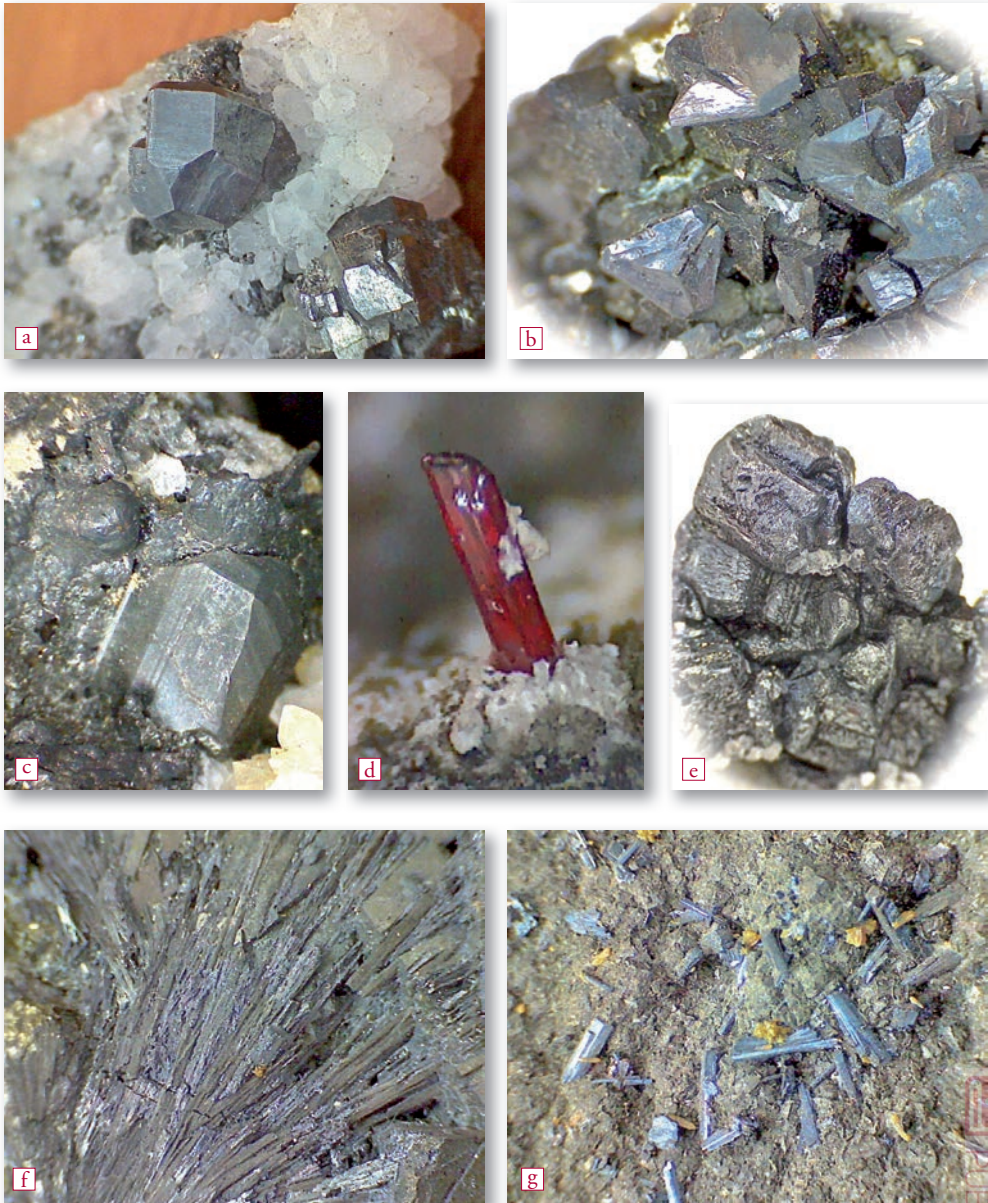


Foto 11. Sulfosales

- a) Cristales prismáticos de tennantita en matriz de cuarzo, El Cobre, Zacatecas, México (5 mm arista).
- b) Grupo de cristales triaquistetraédricos de tetradrita, Pasto Bueno, Perú (3 mm arista).
- c) Cristal prismático hexagonal de pirargita, Fresnillo, Zacatecas, México (5 mm largo).
- d) Cristal prismático terminado de proustita, mina Las Cruces, Gerena, Sevilla (1,5 mm largo).
- e) Agregado de cristales tabulares de bourbonita, Quiruvilca, Perú (3 x 2,2 cm).
- f) Agregado radiado de cristales aciculares de jamesonita, en matriz de pirita, Carlés, Salas, Asturias (3 cm largo).
- g) Cristales prismáticos de hutchinsonita diseminados en matriz con oropimente, Quiruvilca, Perú (4 mm largo).

HALUROS

Los haluros son unos 150 minerales compuestos por iones halógenos electronegativos (especialmente F⁻ y Cl⁻) con cationes metálicos, principalmente alcalinos y alcalino-térreos (Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺). Presentan estructuras cristalinas típicamente iónicas. Cuando los iones halógenos se combinan con cationes más pequeños y polarizados, como Al, Cu y Ag, se forman estructuras de simetría más baja, con enlaces covalentes. En este caso, el agua o el grupo hidróxilo (OH)⁻ son componentes adicionales importantes.

Estos minerales se caracterizan por una dureza relativamente baja (los fluoruros son más duros que los cloruros), peso específico variable según el catión principal, y puntos de fusión de moderados a elevados. Muchos son solubles en agua. En general, son malos conductores del calor y de la electricidad en estado sólido, aumentando considerablemente por calentamiento, hasta llegar a una excelente conductividad en estado fundido. La UHU cuenta con 20 especies diferentes de haluros.

1. CLORUROS

La **halita** o sal gema (NaCl) es el cloruro más abundante en la naturaleza. Es un mineral típicamente sedimentario, que se forma por precipitación química en depósitos evaporíticos marinos, asociado a otros cloruros, sulfatos y carbonatos. Son característicos sus cristales cúbicos en forma de tolva (Foto 12a), aunque en ambientes húmedos tienden a disolverse parcialmente adquiriendo un aspecto redondeado. Los mejores ejemplares de halita que se contemplan actualmente en las vitrinas de los museos proceden de Wieliczka (Polonia).

La **silvita** (KCl) posee la misma estructura cristalina y propiedades físicas que halita, aunque se distingue por su sabor salado más amargo. Se origina también por evaporación de aguas salinas, siendo una de las últimas sales en precipitar, por su mayor solubilidad. Se localiza, por tanto, en las capas superiores de las cuencas evaporíticas, formando masas granulares con otras sales potásicas como **carnalita** (KMgCl₃·6H₂O) (Foto 12b). La Cuenca Potásica Catalana es una de las principales reservas europeas de estas sales, con yacimientos que se explotan actualmente por minería subterránea para elaborar fertilizantes.



Foto 12. Cloruros alcalinos

a) Agregado de cristales cúbicos de halita con forma de tolva, Marismas del Odiel, Huelva (9 mm arista).

b) Masa de carnalita anaranjada con halita, Cuenca Potásica Catalana (17 x 8 cm).

La **clorargirita** (AgCl) es un mineral séctil (puede cortarse en virutas con una cuchilla) que aparece típicamente en costras de color gris amarillento, de aspecto céreo, en la zona de enriquecimiento supergénico de los filones de plata. El complejo minero de Broken Hill, Nueva Gales del Sur (Australia) ha producido una notable cantidad de esta importante mena de plata, así como ejemplares bien cristalizados (Foto 13a).

La **boleíta** [$\text{KAg}_9\text{Cu}_{24}\text{Pb}_{26}\text{Cl}_{62}(\text{OH})_{48}$] es un raro hidroxiclورو de metales pesados procedente del distrito minero de El Boleo, Baja California (México). Sus cristales son muy apreciados por los coleccionistas debido a la morfología cúbica e intenso color azul (Foto 13b). Las minas se encuentran cerradas actualmente y es improbable que vuelvan a abrirse por lo que los ejemplares existentes son aún más valiosos.

La **atacamita** [$\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$] es un mineral supergénico que se forma en la zona de oxidación de los depósitos de cobre de las regiones áridas y salinas, como el desierto de Atacama (Chile) de donde toma su denominación. Los ejemplares más atractivos proceden de la provincia de Copiapó, y consisten en agregados radiados de cristales prismáticos, alargados, con un característico color verde manzana (Foto 13c).

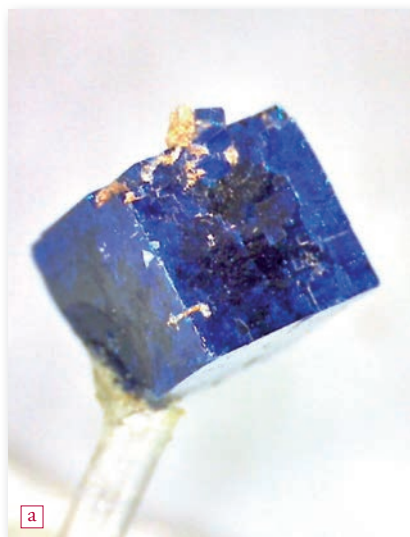


Foto 13. Cloruros de metales pesados

a) Masa con algunos cristales de clorargirita, Broken Hill, Australia (8 x 5 cm).

b) Monocristal cúbico de boleíta, El Boleo, Baja California, México (5 mm arista).

c) Agregados radiados de cristales prismáticos de atacamita con halloysita (esferulitos blancos), mina La Farola, Copiapó, Chile (5 mm longitud).

2. FLUORUROS

La **fluorita** (CaF_2) es un fluoruro relativamente abundante y extendido en la naturaleza. Se origina en una gran diversidad de ambientes mineralogénicos, como filones hidrotermales, yacimientos pegmatíticos, depósitos estratiformes, complejos ígneos alcalinos, etc. Los cristales cúbicos son muy comunes (Foto 14a), aparecen maclados con frecuencia, y exhiben una coloración ampliamente variable debido a defectos cristalinos.

Los yacimientos de fluorita más importantes de Europa se localizan en Asturias, no sólo por el volumen de mineral explotable, sino también por la calidad de los ejemplares como piezas de colección. En la zona de Caravia-Berbes se explotaron algunos filones de fluorita (minas Jaimina y San Lino) donde se hallaron agrupaciones de cristales cúbicos tetraquihexaédricos, de color violeta pálido, sobre drusas de cuarzo (Foto 14b). La mina Emilio, situada en el mismo distrito, también ofreció excelentes grupos de cristales cúbicos, incoloros y completamente transparentes (Foto 14c).

Por otro lado, la mina Berta, en el término de Sant Cugat del Vallés (Barcelona), es conocida por la morfología octaédrica, a veces con los vértices truncados, y el color verde esmeralda que presentan los cristales de fluorita (Foto 14d). La fluorita raramente cristaliza en octaedros, de ahí que los ejemplares de esta localidad sean muy valorados por los coleccionistas.

La **villiaumita** (NaF) es un raro fluoruro con la misma estructura cristalina que halita, si bien los cristales cúbicos son muy raros. Se presenta en masas exfoliadas, solubles en agua, de color rojo carmín (Foto 14e). Las pegmatitas y sienitas nefelínicas del complejo ígneo alcalino de Ilimaussaq, en Groenlandia, constituyen uno de sus escasos yacimientos.

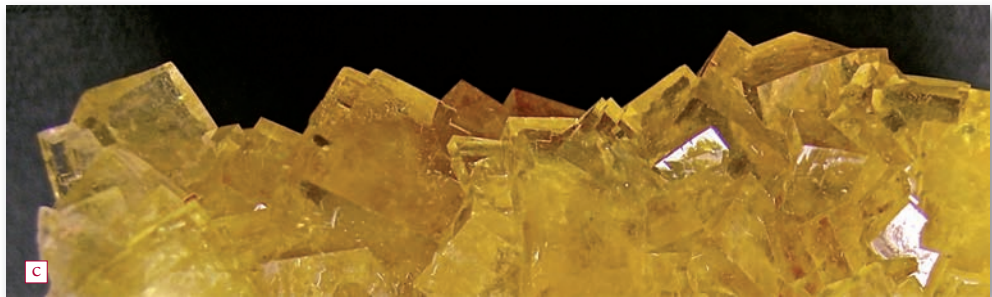


Foto 14. Fluoruros

- a) Cristales cúbicos incoloros y transparentes de fluorita, Caravia, Asturias (1,5 cm arista).
 b) Cristales tetraquihexaédricos de fluorita, de color malva, Caravia, Asturias (1 cm arista).
 c) Cristales cúbicos de fluorita amarilla, Villabona, Asturias (1 cm arista).
 d) Cristales octaédricos de fluorita verde, mina Berta, Sant Cugat, Barcelona (6 mm arista).
 e) Masa roja de villiaumita en matriz de roca ígnea alcalina, Ilimaussaq, Groenlandia (9 x 6 cm pieza).

Otros fluoruros más complejos (Foto 15), que forman parte de la colección de la UHU, son: **criolita**, **criolitionita**, **chiolita**, **gearsutita**, **jarlita**, **metajarlita**, **pachnolita**, **ralstonita**, **thomsenolita** y **weberita**. Los ejemplares de estos raros aluminofluoruros proceden de Ivigtut (Groenlandia), un yacimiento único en el mundo donde los minerales mencionados tienen su localidad tipo. Actualmente Ivigtut es un poblado minero abandonado en el suroeste de Groenlandia, donde se explotaba la criolita (Na_3AlF_6) en un cuerpo pegmatítico lenticular encajado en un granito. La actividad minera comenzó en 1865 y cesó en 1987 por agotamiento del mineral. La criolita se usaba como fundente en el proceso metalúrgico de producción de aluminio a partir de bauxita.



Foto 15. Aluminofluoruros de Ivigtut (Groenlandia, Dinamarca)

- a) Cristales pseudocúbicos de criolita recubiertos por una patina de siderita (6 x 5 cm pieza).*
- b) Masa translúcida de chiolita (5,5 x 5 cm).*
- c) Masa de criolitionita blanca y criolita parda (6 x 4,8 cm pieza).*
- d) Cristales prismáticos de thomsenolita (3 mm cristal).*

ÓXIDOS E HIDRÓXIDOS

Los óxidos e hidróxidos son unos 500 minerales en los que el oxígeno y el grupo hidroxilo (OH), respectivamente, aparecen combinados con uno o más metales. Se excluyen los polimorfos de la sílice (SiO₂) por su vinculación estructural con la clase de los silicatos. Presentan estructuras sencillas, de elevada simetría, con enlace iónico predominante. En general, los óxidos son más duros y más densos que los hidróxidos, y presentan una elevada estabilidad química, alta temperatura de fusión y baja solubilidad. Algunos minerales de esta clase tienen valor económico, por tratarse de importantes menas metálicas. En la colección de la UHU se encuentran representadas 48 especies, siendo la mayoría óxidos.

1. ÓXIDOS

Rutilo, anatasa y brookita son dióxidos de titanio (TiO₂) con diferentes tipos de estructuras, por lo que representan un caso de polimorfismo.

El rutilo cristaliza en el sistema tetragonal dando lugar a formas prismáticas con terminaciones piramidales. Los cristales son de color castaño rojizo y aparecen usualmente maclados en forma de codo, con las caras estriadas. Su localidad tipo se encuentra en Horcajuelo de la Sierra (Madrid). Se han hallado cristales muy notables de rutilo en las montañas Graves (Foto 16a), en Georgia (Estados Unidos). Los cristales aciculares o capilares, de tonalidades doradas, que se encuentran como inclusiones en algunos cristales de cuarzo, reciben la denominación de *cabellos de Venus* (Foto 16b). El rutilo es un mineral accesorio de origen metamórfico, pegmatítico e hidrotermal de alta temperatura, que tiende a concentrarse en depósitos secundarios de tipo placer.

La anatasa también es tetragonal y típicamente se presenta en pequeños cristales bipiramidales, muy agudos y brillantes, con las caras estriadas transversalmente (Foto 16c), mientras que la brookita es rómbica y su hábito más común es tabular, prismático corto y más raramente bipiramidal (variedad *arkansita*; Foto 16d). Estos polimorfos son mucho más raros que el rutilo y suelen encontrarse en rocas metamórficas (gneises y esquistos) de los Alpes suizos, donde se han encontrado ejemplares excepcionales de ambas especies.

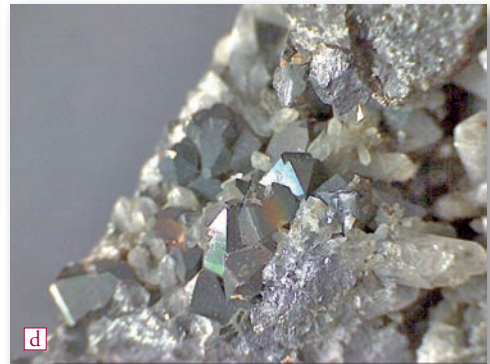


Foto 16. Óxidos de titanio (polimorfos de TiO_2)

a) Cristal maclado de rutilo, de color castaño e intenso brillo vítreo, Mts. Graves, Georgia, USA (4,3 x 3,1 cm).

b) Inclusiones aciculares de rutilo en cuarzo hialino, Minas Gerais, Brasil (3 cm longitud).

c) Cristal bipiramidal de anatasa diseminado en cuarcita, Alpes suizos (1 mm arista).

d) Cristales bipiramidales de brookita (variedad arkansita), Magnet Cove, Arkansas, USA (4 mm arista).

La **ilmenita** (FeTiO_3) es la principal fuente de titanio, junto con rutilo. Los cristales son poco comunes, generalmente tabulares, gruesos, y de color negro. Los mejores ejemplares de ilmenita por las dimensiones de sus cristales proceden de Froland, en Noruega (Foto 17a). La ilmenita es un mineral accesorio en las rocas ígneas básicas (basaltos, dioritas, gabros, etc.), no obstante los depósitos explotables son placeres aluviales y costeros, donde se concentra formando capas de arenas negras con otros minerales pesados. La ilmenita se emplea como materia prima para la obtención de pigmento de dióxido de titanio.

La **pseudobrookita** (Fe_2TiO_5) es otro óxido doble de hierro y titanio. Se caracteriza por la forma prismática alargada de sus cristales, a menudo formando hermosos grupos radiados o estrellados, de color castaño oscuro (Foto 17b). Suele hallarse en cavidades de las rocas volcánicas.



Foto 17. Óxidos de hierro y titanio

- a) Cristal de ilmenita, Froland, Noruega (2,3 cm arista).
b) Agregado estrellado de cristales prismáticos de pseudobrookita, Topaz Valley, Thomas Mts. Utah, USA (3 mm largo).



La **hematites** (Fe_2O_3) es una de las menas más importantes de hierro, aunque también se emplea como pigmento (ocre rojo). Su nombre hace referencia al color rojo sangre del mineral pulverizado. Los cristales normalmente son laminares o lenticulares con tendencia a agruparse en forma de rosetas (*rosas de hierro*). La isla de Elba (Italia) es uno de los lugares más conocidos por la belleza de los agregados cristalinos (Foto 18a). También son comunes las masas botrioidales o reniformes, estalactíticas, terrosas y granulares. Es frecuente la pseudomorfosis de hematites en pirita conservando la morfología cúbica de los cristales originales (Foto 18b). La hematites es un mineral poligénico muy abundante en muchos tipos de rocas y yacimientos.



Foto 18. Hematites

a) Agregado de cristales lenticulares, ligeramente iridisados, Rio Marina, isla de Elba, Italia (7 x 4,5 cm pieza).

b) Cristales cúbicos de pirita pseudomorfizados por hematites, Carratraca, Málaga (2 cm arista).



Las **espinelas** constituyen un grupo de óxidos de fórmula general (XY_2O_4), donde X es un metal divalente e Y es un metal trivalente, que cristalizan en el sistema cúbico. Los minerales más comunes de este grupo son: espinela (especie que da nombre al grupo), magnetita, franklinita y cromita.

La **espinela** *sensu stricto* ($MgAl_2O_4$) se encuentra típicamente en cristales octaédricos (Foto 19a) diseminados en rocas metamórficas de alta temperatura y rocas ígneas básicas. En función de su coloración se distinguen variedades tales como: *espinela rubí* (rojo claro), *pleonasma* (negro) y *picotita* (pardo amarillenta).

La **magnetita** ($Fe^{2+}Fe^{3+}_2O_4$) es una mena importante de hierro. Su origen es diverso, si bien los principales yacimientos del mundo se encuentran asociados a rocas magmáticas en el norte de Suecia. En España es abundante en los depósitos de skarn de Cala (Huelva) y Burguillos del Cerro (Badajoz). Se reconoce por la forma octaédrica o rombododecaédrica de sus cristales (Foto 19b,c), color negro, y sobre todo por sus propiedades ferromagnéticas (es atraída fácilmente por un imán de bolsillo). La magnetita tiende a oxidarse dando lugar a una variedad de hematites denominada *martita*.

La **franklinita** [$(Zn,Mn,Fe)^{2+}(Fe,Mn)^{3+}_2O_4$] presenta una composición química más compleja y variable. Los cristales son octaédricos, de color negro, con las aristas ligeramente redondeadas (Foto 19d). Esta espinela se localiza casi exclusivamente en los yacimientos de zinc del distrito minero de Franklin (Nueva Jersey, USA), su localidad tipo, donde aparece en lentejones intercalados en rocas carbonatadas.

La **cromita** ($Fe^{2+}Cr_2O_4$) es la mena fundamental de cromo. Raras veces se presenta en cristales, por lo general en masas granulares de color negro y brillo metálico (Foto 19e). Es un mineral de origen ortomagmático habitualmente presente en las rocas ígneas ultrabásicas (peridotitas). El complejo ígneo de Bushveld (Sudáfrica) es uno de los yacimientos de cromita más importantes del mundo.



Foto 19. Espinelas

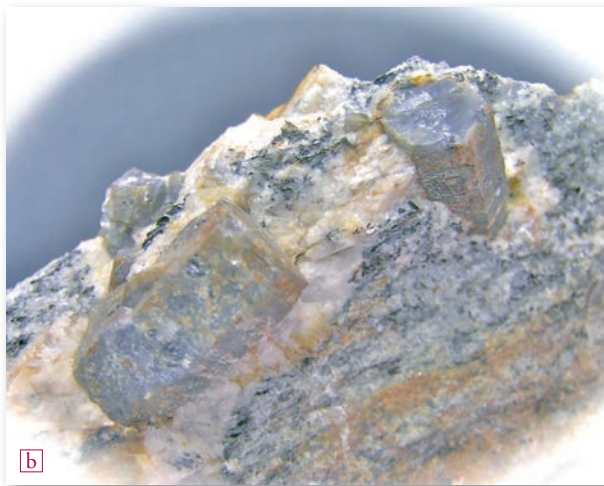
- a) Cristal octaédrico de espinela, Sierra de Mijas, Málaga (2 mm arista).
b) Cristales octaédricos de magnetita, localidad desconocida, Italia (6 mm arista).
c) Cristales dodecaédricos de magnetita, parcialmente martitizados, Burguillos de Cerro, Badajoz (7 mm arista).
d) Cristales octaédricos de franklinita, mina Franklin, Nueva Jersey, USA (2 mm arista).
e) Cromita masiva, Bulquize, Albania (9,3 x 7 cm).

El **corindón** (Al_2O_3) es un mineral accesorio común en rocas metamórficas de alto grado (mármoles, gneises, etc.) y ciertas rocas ígneas (sienitas y pegmatitas). En general, se presenta en cristales tabulares o prismáticos de contorno hexagonal, a menudo estrechados por los extremos y redondeados en forma de tonel, con un marcado estriado transversal. Su color es variable según el metal cromóforo (Cr, Fe, Ti) que sustituye al aluminio en la red cristalina, lo cual determina diferentes variedades, como *rubí* (Foto 20a) y *zafiro* (Foto 20b). Estas variedades son gemas muy cotizadas cuando poseen suficiente transparencia. Los mejores rubíes y zafiros proceden de países asiáticos (Myanmar, Sri Lanka, India y Tailandia, entre otros). El corindón translúcido carece de valor gemológico y se emplea como abrasivo por su elevada dureza (sólo es rayado por el diamante).



Foto 20. Variedades de corindón

- a) Cristales prismáticos hexagonales de rubí en matriz, Misore, India (1,4 cm largo).
- b) Cristales prismáticos hexagonales de zafiro en matriz, Helena, Montana, USA (1,8 cm largo).



El **crisoberilo** (BeAl_2O_4) es otro óxido interesante por sus cualidades gemológicas: rareza, dureza y belleza. Cristaliza en formas tabulares y prismáticas del sistema rómbico (Foto 21). Con frecuencia exhibe una simetría pseudo-hexagonal debido a un maclado de tipo cíclico. Los cristales presentan un color verde amarillento que, en el caso de la variedad *alejandrita*, se torna rojo cuando se iluminan con luz artificial. El crisoberilo se encuentra primariamente en depósitos pegmatíticos.



Foto 21. Monocristal prismático de crisoberilo, terminado en pirámide rómbica, Toamasina, Tasmania (9 x 8 mm).

La **casiterita** (SnO_2) es el mineral más abundante de estaño y su única mena. Los cristales más comunes son prismas cortos y bipirámides tetragonales (Foto 22) que, a menudo, se encuentran maclados en forma de codo (*pico de estaño*). También se caracteriza por un elevado peso específico, brillo adamantino y color pardo a negro. Los yacimientos primarios de casiterita son de origen hidrotermal y pegmatítico, en relación con cuerpos plutónicos graníticos. En España los principales filones de casiterita se localizan en Galicia y Extremadura.

Foto 22. Cristales prismáticos de casiterita biterminados en pirámides, minas de Panasqueira, Beira Baixa, Portugal (6 mm arista).



Cuprita (Cu_2O) y **tenorita** (CuO) son minerales supergénicos de cobre, que se originan en la zona de oxidación de los yacimientos cupríferos, en asociación con cobre nativo y óxidos de hierro.

La cuprita se presenta en cristales octaédricos de color rojo sangre, que tienden a oscurecerse con la luz solar (Foto 23a), y en masas granulares o terrosas. También existe una variedad de hábito acicular o capilar, de color rojo más claro, que recibe el nombre de *calcotriquita* (Foto 23b). La cuprita se ha citado clásicamente en Minas de Riotinto (Huelva), y más recientemente en el yacimiento de oro y cobre de El Valle-Boinás, en Asturias.

Los cristales de tenorita son monoclinicos y más raros. No obstante, en las lavas del volcán Vesubio (Italia) se encuentran agregados estrellados de cristales de color gris acero, con brillo metálico (Foto 23c).

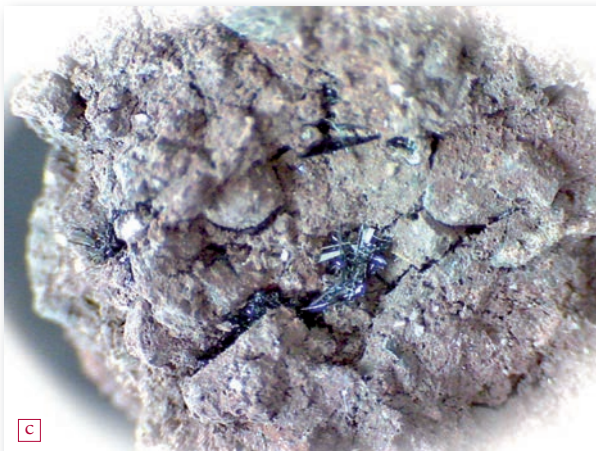
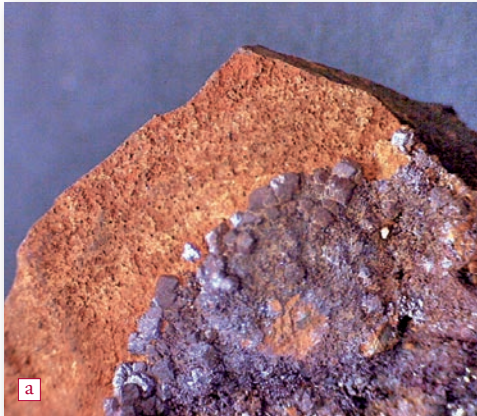


Foto 23. Óxidos de cobre

- a) Cristales octaédricos de cuprita en matriz limonítica, Corta Boinás Oeste, Belmonte de Miranda, Asturias (1 mm arista).
- b) Agregado acicular de calcotriquita sobre cobre nativo, mina Ray, Arizona, USA (1 mm largo).
- c) Agregados cristalinos de tenorita distribuidos en lava volcánica, Vesubio, Italia (2 mm largo).

La **pirolusita** (MnO_2) es uno de los minerales de manganeso más abundantes. Se forma en condiciones fuertemente oxidantes a partir de carbonatos y silicatos de manganeso de origen primario. Normalmente se presenta en masas compactas, concreciones botrioidales y agregados dendríticos, de color gris oscuro o negro, aunque también son comunes los cristales prismáticos alargados o aciculares formando agregados radiados (Foto 24a,b). En la Faja Pirítica Ibérica existen innumerables mineralizaciones de pirolusita asociadas a lentejones de jaspes, que fueron objeto de explotación en el pasado.

La **coronadita** ($\text{PbMn}_8\text{O}_{16}$) es un óxido doble de manganeso y plomo, de origen supergénico, que generalmente se presenta en masas concrecionadas compactas, con hábito botrioidal y color gris oscuro o negro (Foto 24c). Puede confundirse fácilmente con pirolusita y otros oxi-hidróxidos de manganeso.

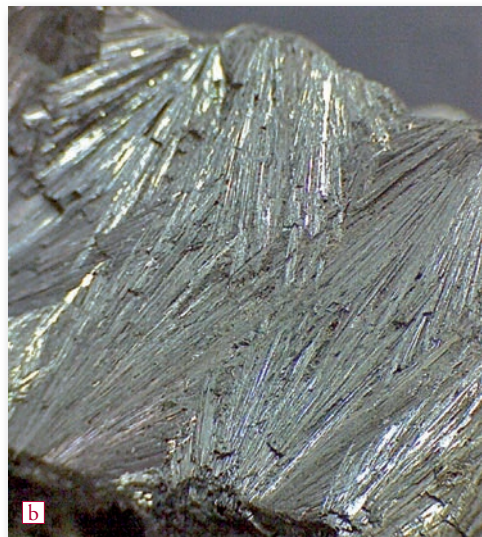


Foto 24. Óxidos de manganeso

a) Cristales prismáticos alargados de pirolusita, Serra da Mina, Cercal, Portugal (2 cm largo).

b) Agregados radiados de cristales aciculares de pirolusita, Elgersburg, Turingia, Alemania (2 cm largo).

c) Masa botrioidal de coronadita, Bou Tazoult, Ouarzazate, Marruecos (5,2 x 3,9 cm).



Columbita $[(\text{Fe},\text{Mn})\text{Nb}_2\text{O}_6]$ y **tantalita** $[(\text{Fe},\text{Mn})\text{Ta}_2\text{O}_6]$ constituyen los términos de una serie isomorfa de óxidos complejos que popularmente reciben la denominación de *coltan*. Se originan en depósitos pegmatíticos, y los cristales presentan morfologías tabulares o prismáticas del sistema rómbico. En los últimos años, el *coltan* ha pasado de ser una simple curiosidad mineralógica a un valioso recurso estratégico, por sus aplicaciones en dispositivos microelectrónicos de gran interés tecnológico. Las mayores reservas del mundo se localizan en la República Democrática del Congo. En España se ha citado la presencia de ferro-columbita en la mina Julita, cerca de Salamanca (Foto 25a).

La **senarmonita** (Sb_2O_3) es un mineral secundario, procedente de la alteración de antimonita (Sb_2S_3), que se caracteriza principalmente por la forma octaédrica de sus cristales. Los mejores ejemplares de esta especie proceden de la mina Djebel Haminate, en Argelia (Foto 25b).

La **plattnerita** (PbO_2) es un óxido de color negro brillante (Foto 25c), con un elevado peso específico, que puede encontrarse masivo en la zona de oxidación de las mineralizaciones primarias de plomo.

La **torianita** (ThO_2) es un óxido de torio que suele contener también algo de uranio en su estructura cúbica. Se origina en pegmatitas graníticas, pero gracias a su elevada densidad y dureza puede concentrarse en depósitos secundarios de origen aluvial. Los cristales son cúbicos, de color negro (Foto 25d), a veces con los vértices truncados y con maclas de penetración.

La **zincita** (ZnO) raramente se observa en cristales bien formados, por lo general en masas exfoliables de color rojo oscuro o amarillo anaranjado (Foto 25e), atribuido a la presencia de trazas de manganeso en sustitución de zinc. Es un óxido poco común, exceptuando el yacimiento de Franklin, en Nueva Jersey, donde aparece con frecuencia acompañado de franklinita.



Foto 25. Otros óxidos

- a) Ejemplar de ferrocolumbita, mina Julita, Garcirrey, Salamanca (3,3 x 2 cm).
b) Cristal octaédrico de senarumontita, mina Djebel Haminate, Argelia (8 mm arista).
c) Costra de plattnerita en roca volcanoclástica, Allumiere, Roma, Italia (6 x 5 cm).
d) Cristal cúbico de torianita, Betafo, Madagascar (2,2 x 1,8 cm).
e) Masa de zincita, mina Franklin, Nueva Jersey, USA (6,5 x 3 cm).

2. HIDRÓXIDOS

La **goethita** [FeO(OH)] es un oxi-hidróxido férrico muy abundante. Se presenta en masas terrosas, compactas, estalactíticas, arborescentes y reniformes o botrioidales (Foto 26a,b) de color pardo amarillento, aunque algunos ejemplares exhiben un vistoso aspecto irisado o multicolor. Es un producto de alteración meteórica de la pirita, y por lo tanto constituye un componente esencial del *gossan* o depósito residual ferruginoso que se forma en la zona de oxidación de las masas aflorantes de sulfuros. La mayoría de los yacimientos de sulfuros masivos de la Faja Píritica de Huelva contienen acumulaciones de goethita en su montera de oxidación, especialmente Cerro Colorado (Minas de Riotinto) y Filón Sur (Minas de Tharsis), donde han aparecido ejemplares irisados muy notables. Su nombre es un homenaje al escritor alemán J.W. Goethe (1749-1832).

Foto 26. Goethita

- a) Agregado arborescente de goethita, Minas de Tharsis, Huelva (11 x 7 cm).
- b) Masa botrioidal de goethita irisada, Cerro Colorado, Minas de Riotinto, Huelva (11 x 8 cm).



La **manganita** $[\text{MnO}(\text{OH})]$ es una mena subordinada de manganeso que cristaliza en el sistema monoclinico, aunque sus cristales muestran formas prismáticas pseudorrómbicas, con las caras del prisma profundamente estriadas (Foto 27a). Su localidad tipo es Ilfeld, en las montañas de Harz (Alemania), donde la manganita se encuentra asociada a calcita y barita en filones hidrotermales.

La **romanechita** $[(\text{Ba},\text{H}_2\text{O})_2\text{Mn}_5\text{O}_{10}]$ se caracteriza por su contenido en bario. Es una mena secundaria de manganeso, asociada a pirolusita en ambientes supergénicos. Generalmente se presenta en masas criptocristalinas de color negro. Las masas botrioidales que tradicionalmente se denominan *psilomelana* son una mezcla de óxidos de manganeso cuyo principal componente es la romanechita (Foto 27b).

La **litioforita** $[(\text{Al},\text{Li})\text{MnO}_2(\text{OH})_2]$ se halla en masas dendríticas o botrioidales. Raras veces aparece en cristales laminares o tabulares finos, de contorno hexagonal (Foto 27c).



Foto 27. Oxi-hidróxidos de manganeso

- a) Cristales prismáticos de manganita, Ilfeld, Montañas Harz, Alemania (1,5 cm largo)
- b) Agregado noduloso de romanechita, mina Sta. Catalina, El Granada, Huelva (7 x 6 cm pieza)
- c) Cristales laminares de litioforita, Griqualand, Sudafrica (5 mm diámetro)



CARBONATOS Y NITRATOS

Los minerales de esta clase están constituidos por grupos aniónicos de tipo XO_3 , donde X es C^{4+} y N^{5+} , respectivamente. El átomo central (X) está coordinado con tres oxígenos, con una disposición estructural triangular plana. Los enlaces X-O son covalentes, mientras que los enlaces que unen los grupos aniónicos con los metales son iónicos. Los carbonatos se disuelven en ácidos desprendiendo CO_2 y produciendo efervescencia. En general son incoloros, excepto los que contienen metales de transición, y presentan brillo vítreo y una elevada birrefringencia. Los nitratos son muy solubles en agua y se descomponen en medio ácido con menos facilidad que los carbonatos. Se originan por precipitación química en cuencas continentales con fuerte evaporación.

1. CARBONATOS

Los carbonatos más comunes son anhidros y pertenecen a tres grupos isoestructurales: el grupo de la calcita, el grupo del aragonito y el grupo de la dolomita. Además, existen algunos carbonatos básicos con interés mineralógico como azurita y malaquita, entre otros. En total, se conocen más de 250 especies de carbonatos, de las cuales 20 se encuentran inventariadas en la colección de la UHU.

Los carbonatos del *grupo de la calcita* cristalizan en el sistema trigonal o romboédrico e incluyen a calcita, magnesita, siderita, smithsonita, rodocrosita y esferocobaltita.

La **calcita** ($CaCO_3$) es uno de los minerales más difundidos en la naturaleza. Es un mineral esencial de algunas rocas sedimentarias (calizas, margas, travertinos), metamórficas (mármoles) e ígneas (carbonatitas), y también es la ganga de muchos filones hidrotermales metalíferos. Presenta una gran variedad de hábitos, como resultado de la combinación de diferentes formas cristalinas, aunque los cristales más comunes son romboédricos, escaenoédricos, y prismáticos, a veces terminados en un romboedro o escaenoedro (Foto 28a,b). Las masas de calcita se exfolian con facilidad en fragmentos romboédricos que cuando son incoloros y transparentes (variedad *espato de Islandia*) permiten observar el fenómeno de la doble refracción de la luz, gracias a su elevada birrefringencia (Foto 28c).

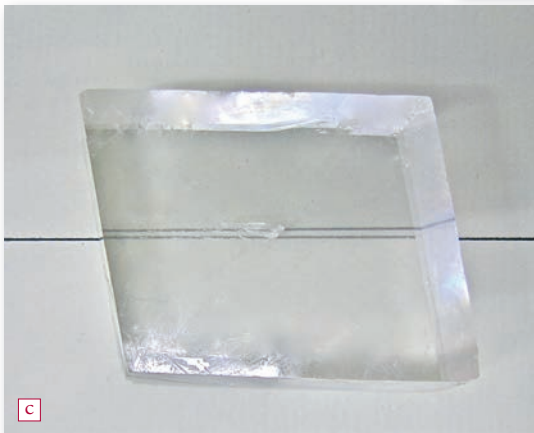


Foto 28. Carbonatos romboédricos (I)

- a) Geoda de cristales prismáticos de calcita terminados en romboedros, localidad desconocida, Marruecos, (4,5 cm diámetro geoda).*
- b) Cristales escalenoédricos de calcita roja por microinclusiones de hematites, mina Moscona, Solís, Asturias (1 cm arista).*
- c) Romboedro de calcita incolora y transparente (variedad espato de Islandia), mostrando doble refracción, Durango, México (5 x 4 cm).*

La **magnesita** (MgCO_3) se presenta generalmente en masas espáticas compactas, como producto de alteración de rocas ígneas básicas y ultrabásicas, y en ciertas rocas sedimentarias y metasomáticas. Los principales yacimientos españoles de magnesita se localizan en Navarra (mina Eugui), donde se extraen masas de magnesita con un bandeo característico (Foto 29a), para la fabricación de productos refractarios.

La **siderita** (FeCO_3) es una mena importante de hierro. En España se ha extraído principalmente de los yacimientos de la cuenca minera de Somorrostro (Vizcaya) y Ojos Negros (Teruel). Los cristales de siderita son de color pardo o castaño y tienden a formar romboedros con caras curvadas y aristas cortantes (Foto 29b), a menudo agrupados en forma de roseta. La *esferosiderita* es una variedad de cristales globulares (Foto 29c).

La **smithsonita** (ZnCO_3) es una mena secundaria de zinc que se origina por alteración supergénica de sulfuros de zinc ligados a rocas carbonatadas. Los cristales son poco comunes; en general, se presenta en masas microcristalinas reniformes, botrioidales o estalactíticas, de coloración variable por la presencia de impurezas. Recibe su nombre en honor del mineralogista inglés J. Smithson (1754-1829), fundador de la *Smithsonian Institution* de Washington. Los ejemplares más bellos y representativos de smithsonita proceden de la renombrada mina Tsumeb, en Namibia (Foto 30a,b).

La **rodocrosita** (MnCO_3) se reconoce por su color rosa y exfoliación romboédrica. En general, se encuentra masivo en filones hidrotermales, aunque puede formar excepcionales cristales romboédricos (Foto 31a) y, con menos frecuencia, escalenoédricos. También es común el hábito estalactítico y botrioidal. Una de sus localidades más clásicas es la mina Capillitas, Catamarca (Argentina), donde típicamente se presenta en masas concrecionadas (Foto 31b) que se usan como objeto de adorno y decoración desde la época precolombina.

La **esferocobaltita** (CoCO_3) se caracteriza por presentarse en agregados esferoidales de color rosa. Raramente se presenta en cristales (Foto 31c). Es un producto de alteración en algunos yacimientos de cobalto.



Foto 29. Carbonatos romboédricos (II)

- a) Magnesita con estructura bandeada, mina Eugui, Navarra (7 x 6 cm).*
- b) Grupo de cristales romboédricos de siderita con aristas curvadas, Pulpi, Almería (6 mm arista).*
- c) Agregados globulares de esferosiderita, Estacada, Oregón, USA (7 mm diámetro).*



Foto 30. Carbonatos romboédricos (III)

- a) Agregados estalactíticos de smithsonita verde, mina Tsumeb, Namibia, (10 x 6 cm pieza).*
- b) Cristales romboédricos de smithsonita incolora, con maclado polisintético, mina Tsumeb, Namibia, (1 cm arista).*





a



b

Foto 31. Carbonatos romboédricos (IV)

- a) Grupo de cristales romboédricos de rodrosita con cuarzo, mina Huallapon, Pasto Bueno, Perú (7 mm arista).
- b) Rodrosita concrecionada, mina Capillitas, Catamarca, Argentina (7,5 x 6 cm).
- c) Drusa de esferocobalita, mina Musonoi, Katanga, Congo (12 x 9 cm).



c

Los carbonatos del *grupo del aragonito* cristalizan en el sistema rómbico e incluyen, además de aragonito, a cerusita, estroncianita y witherita.

El **aragonito** (CaCO_3) tiene la misma composición química que calcita pero su estructura es más inestable y, por tanto, menos abundante en la naturaleza. Se origina en ambientes sedimentarios e hidrotermales de baja temperatura. Los primeros ejemplares descritos de aragonito fueron recogidos en Molina de Aragón (Guadalajara), de donde toma su nombre. Los cristales son comunes, principalmente las formas piramidales alargadas o aciculares (Foto 32a), y los prismas aparentemente hexagonales debido a un maclado cíclico de tres cristales rómbicos (Foto 32b). También es frecuente el hábito coraloide, estalactítico y fibroso-radiado.

La **cerusita** (PbCO_3) es una mena supergénica de plomo con formas cristalinas variadas, aunque predominan los cristales tabulares o prismáticos aplanados, con caras estriadas (Foto 33a). A veces, los cristales se encuentran maclados dando lugar a grupos estrellados o reticulados. Los cristales de cerusita generalmente son incoloros, y se caracterizan por su brillo adamantino y elevado peso específico. Los ejemplares mejores del mundo por la belleza y dimensiones de los cristales proceden de la mina Tsumeb (Namibia).

La **witherita** (BaCO_3) es un carbonato relativamente raro, que se origina por procesos hidrotermales de baja temperatura. Se caracteriza por su forma cristalina bipiramidal, simetría pseudohexagonal por maclado cíclico, y caras profundamente estriadas en dirección perpendicular a la elongación de los cristales (Foto 33b). Los mejores ejemplares proceden de Cumberland (Inglaterra), aunque en la mina Rosiclare (Illinois, Estados Unidos) también se han encontrado cristales excepcionales de witherita.

La **estroncianita** (SrCO_3) suele encontrarse en cristales prismáticos o aciculares, a veces formando agregados radiados o divergentes (Foto 33c), en filones hidrotermales de baja temperatura y en sedimentos calcáreos y arcillosos. El maclado también es frecuente en la estroncianita. Los principales yacimientos españoles se localizan en la provincia de Granada (Montevives y Escúzar).



Foto 32. Carbonatos rómbicos (I)

a) Agregado de cristales aciculares de aragonito, mina El Conjuro, Busquístar, Granada, (2 mm longitud).

b) Grupo de cristales prismáticos de aragonito con morfología pseudohexagonal por maclado, Camporrobles, Valencia (2 cm arista).



Foto 33. Carbonatos rómbicos (II)

a) Cristales prismáticos transparentes de cerusita, mina Tsumeb, Namibia (9 x 6 cm pieza).

b) Cristal bipiramidal de witherita, mina Rosiclare, Illinois, USA (6,5 x 4,8 cm).

c) Agregados radiados de cristales de estroncianita, Winfield, Pennsylvania, USA (6,2 x 4,3 cm pieza).

Los carbonatos del *grupo de la dolomita* más comunes son dolomita y ankerita. Son carbonatos dobles con una estructura romboédrica similar a la de la calcita.

La **dolomita** $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ es el componente mineralógico esencial de las dolomías y mármoles dolomíticos. Los cristales son romboédricos, a menudo con las caras curvadas en forma de silla de montar, y suelen presentar un color blanco lechoso (Foto 34a). Se distingue de la calcita porque se disuelve (produciendo efervescencia) más difícil y lentamente con HCl en frío. La dolomita forma una extensa solución sólida con **ankerita** $[\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2]$, de modo que es común encontrar hierro en sustitución de magnesio. Una variedad negra de dolomita ferrosa se conoce como *teruelita* (Foto 34b).



Foto 34. Dolomita

a) Cristales romboédricos de dolomita blanca, La Carolina, Jaén (4 mm arista).

b) Cristales negros de dolomita (variedad teruelita) diseminados en matriz lutítica, Atarfe, Granada (7 mm arista).

El grupo de los *carbonatos monoclínicos hidroxilados* incluye a malaquita, azurita y auricalcita, entre otros minerales más raros.

Malaquita $[\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2]$ y **azurita** $[\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2]$ son carbonatos básicos de cobre con diferente estequiometría, que se han usado desde tiempos históricos como mena de cobre, pigmento natural y material ornamental. Se encuentran asociados en la zona de oxidación de los yacimientos primarios de cobre, junto con cuprita, cobre nativo y óxidos de hierro. En general, forman costras de color verde (malaquita) o azul marino (azurita), y masas concrecionadas y botrioidales sobre todo en el caso de la malaquita. Ocasionalmente pueden encontrarse cristales prismáticos alargados de malaquita, incluso aciculares. Los cristales de azurita suelen tener hábito tabular o prismático corto, y a veces aparecen pseudomorfizados por malaquita (Foto 35). En su localidad tipo (Chessy-les-Mines, Francia) son frecuentes los agregados esferoidales y las rosetas de cristales lenticulares, así como los rellenos de cavidades o geodas (Foto 36a). Algunas minas de Namibia han proporcionado cristales de azurita y malaquita de gran tamaño y belleza (Foto 36b).

La **auricalcita** $[(\text{Zn},\text{Cu})_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6]$ es un carbonato básico de zinc y cobre, de origen supergénico. Se caracteriza por formar grupos radiados de finos cristales aciculares, de color azul verdoso o celeste (Foto 36c).

Foto 35. Cristales de malaquita pseudomórficos de azurita, Mibladen, Marruecos (1,8 cm arista).



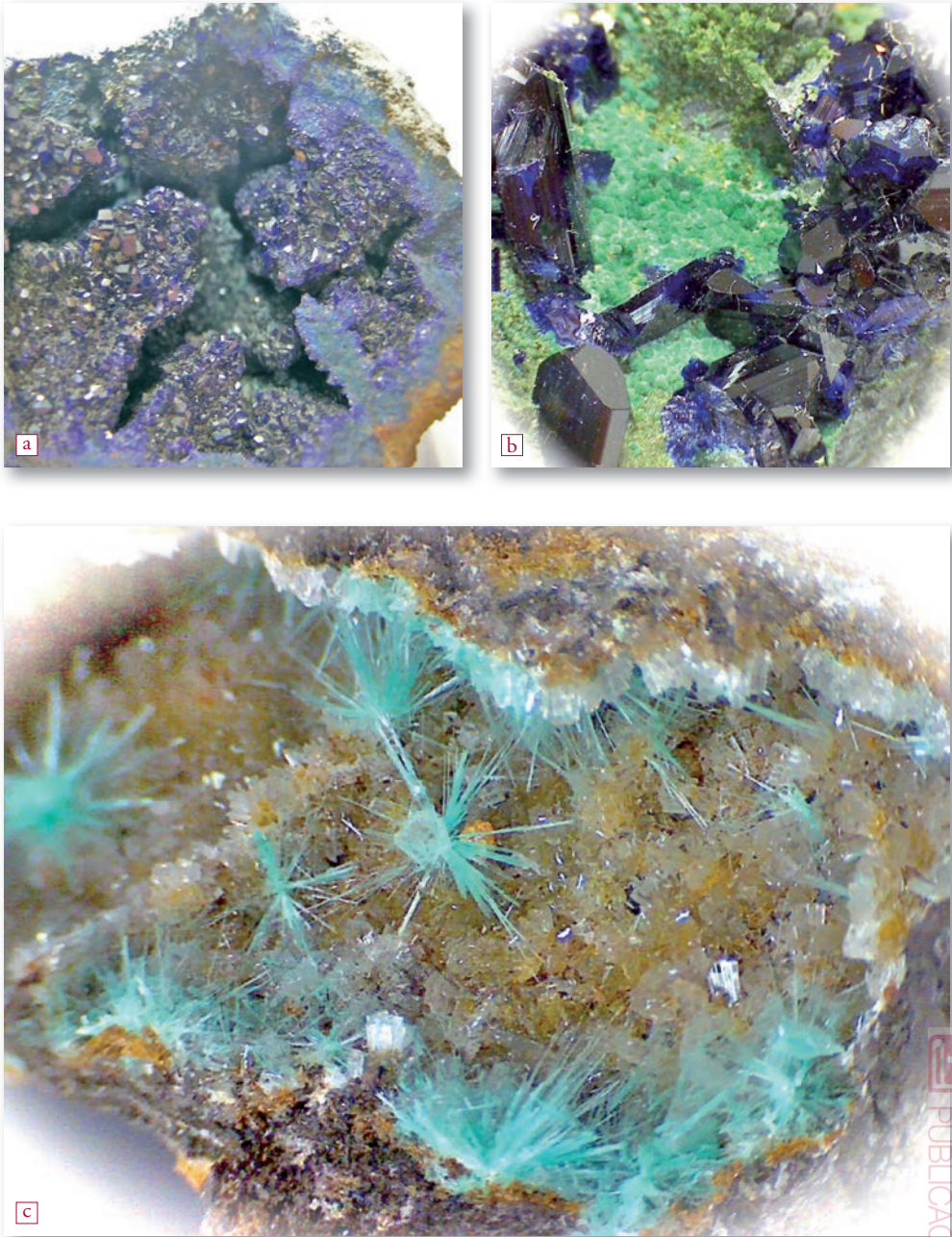


Foto 36. Carbonatos básicos monoclinicos

- a) Geoda tapizada por cristales de azurita, Chessy-les-Mines, Rhône, Francia (5,8 x 4,4 cm pieza).
b) Cristales de azurita, de color azul brillante, en matriz de malaquita, Otavi, Namibia (7 mm arista).
c) Agregados radiales de cristales aciculares de auriferocita en matriz de hemimorfita, Hayden, Arizona, USA, (2 mm largo).

2. NITRATOS

Los nitratos son unos pocos minerales que únicamente se encuentran en regiones áridas y desérticas, en forma de costras y eflorescencias blanquecinas o amarillentas, como el norte de Chile donde se concentran las principales reservas mundiales. Los nitratos se utilizan principalmente para la fabricación de fertilizantes nitrogenados y explosivos.

En la actualidad sólo se conocen 12 especies minerales, de las cuales **nitratina** (NaNO_3) y **nitro** (KNO_3) son las más comunes. Los nitratos son cristalográficamente semejantes a los carbonatos, de modo que nitratina es isoestructural con calcita y nitro con aragonito. Estos minerales tienen escaso valor como piezas de colección debido a su aspecto masivo y difícil conservación por su elevada deliquesencia.

BORATOS

Los boratos están constituidos por grupos aniónicos $(\text{BO}_3)^{3-}$, donde el boro está coordinado con tres oxígenos con una disposición estructural triangular plana. Los boratos son poco abundantes, dada la escasez de boro en la naturaleza, pero tienen una gran diversidad mineralógica (más de 150 especies). Los boratos pueden ser anhidros (boracita, vonsenita, ludwigita, etc.) o hidratados (hidroboracita, colemanita, bórax, etc.). La boracita y los boratos hidratados se originan por precipitación química en cuencas evaporíticas lacustres, junto con yeso, anhidrita y halita, mientras que los boratos de la serie vonsenita-ludwigita se forman por metamorfismo de contacto en depósitos de skarn ricos en boro. La UHU dispone de 9 especies de boratos en su colección.

La **boracita** ($\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$) es un cloroheptaborato anhidro que cristaliza en el sistema rómbico, aunque sus cristales suelen presentar formas pseudocúbicas o pseudotetraédricas. Es un mineral incoloro o blanco, si contiene algo de hierro adquiere una tonalidad verdosa (Foto 37a), con brillo vítreo a adamantino y una dureza similar a la del cuarzo.

Vonsenita [$\text{Fe}_2\text{FeO}_2(\text{BO}_3)_2$] y **ludwigita** [$\text{Mg}_2\text{FeO}_2(\text{BO}_3)_2$] forman una serie isomorfa de monoboratos ferromagnesianos anhidros. Los cristales son alargados o fibrosos, de color negro o verde oscuro, y brillo sedoso (Foto 37b). La vonsenita es abundante en el skarn de magnetita de la mina Monchi (Burguillos del Cerro, Badajoz).

La **colemanita** [$\text{CaB}_3\text{O}_4(\text{OH})_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$] es un triborato cálcico hidratado citado por primera vez en el Valle de la Muerte (California). Recibe su nombre en honor de W.T. Coleman (1824-1893), propietario de la mina donde fue descubierto. Los cristales son prismáticos cortos o pseudorromboédricos (Foto 37c), de color blanco, gris o amarillento.

Otros triboratos hidratados que habitualmente se encuentran en los grandes depósitos de California son **hidroboracita** [$\text{CaMg}(\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$], que generalmente se presenta en agregados radiales de cristales prismáticos alargados o aciculares, incoloros o blancos (Foto 37d), y **kurnakovita** [$\text{MgB}_3\text{O}_3(\text{OH})_5 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$] cuyos cristales triclinicos suelen aparecer recubiertos por una pátina de alteración blanca (Foto 37d).



a



c



b



d



e

Foto 37. Boratos

- a) Cristales pseudotetraédricos de boracita diseminados en anhidrita, Sondershausen, Turingia, Alemania (1 mm arista).
- b) Agregado en forma de piña de cristales de colemanita, Boron, California, USA (5,2 x 4 cm pieza).
- c) Agregado fibroso de vonsenita, Burguillos del Cerro, Badajoz (6,8 x 3,6 cm pieza)
- d) Agregado en forma de abanico de cristales aciculares de hidrobóracita, mina Thompson, Valle de la Muerte, California, USA (2,6 cm longitud cristal).
- e) Cristales de kurnakovita con pátina blanca de alteración, Boron, California, USA (9 mm longitud cristal).

SULFATOS, CROMATOS MOLIBDATOS Y WOLFRAMATOS

Estos minerales están formados por la unión de grupos aniónicos (XO_4)²⁻ con cationes metálicos, donde X en estado hexavalente puede ser S (sulfatos), Cr (cromatos), Mo (molibdatos) o W (wolframatos). Los enlaces X-O son covalentes, mientras que la unión entre los grupos aniónicos y los cationes es de tipo electrostático. En conjunto suman más de 350 especies minerales, aunque la mayoría son sulfatos. La UHU cuenta con 37 especies.

1. SULFATOS

Los sulfatos son minerales de baja simetría, relativamente blandos, con peso específico variable según el catión principal. En general, los sulfatos de cationes alcalinos y alcalino-térreos se forman por procesos sedimentarios. Los sulfatos restantes son un producto de alteración superficial de sulfuros metálicos. Pueden ser anhidros o hidratados.

a) Sulfatos anhidros

La **barita** o baritina ($BaSO_4$) es la fuente principal de bario en la naturaleza, aunque se emplea mayoritariamente como *barro pesado* en sondeos petrolíferos, debido a su elevado peso específico. Es un mineral común en la ganga de algunos filones hidrotermales de sulfuros metálicos. Se presenta en masas espáticas de color blanco lechoso, y en formas cristalinas prismáticas y tabulares del sistema rómbico (Foto 38a). A veces, los cristales tabulares aparecen agregados formando rosetas y crestas.

La **celestina** ($SrSO_4$) es el mineral de estroncio más abundante. Su nombre deriva del color de los primeros ejemplares descritos, pero no siempre muestra una coloración celeste o azul pálido. La celestina posee la misma estructura cristalina que barita y, por lo tanto, sus cristales presentan formas tabulares y prismáticas similares. Los mejores cristales se localizan en cavidades y bolsadas de las rocas sedimentarias, como ocurre en algunos yacimientos de Granada y Jaén (Foto 38b).

La **anglesita** ($PbSO_4$) es isoestructural con barita y celestina, aunque los cristales prismáticos son más complejos y variados (Foto 38c). Se reconoce por su elevado peso específico y brillo adamantino. Se origina por alteración supergénica de galena.



Foto 38. Sulfatos anhidros del grupo de la barita

- a) Agregado de cristales rómbicos de barita, Cerro Colorado, Minas de Riotinto, Huelva (1,1 cm arista).
b) Cristales transparentes de anglesita en matriz de galena, Touissit, Oujda, Marruecos (1,2 cm arista).
c) Cristales prismáticos azulados de celestina, Puente Tablas, Jaén (2 cm arista).

La **anhidrita** (CaSO_4) es un sulfato anhidro común en las formaciones sedimentarias evaporíticas, donde suele estar asociado a yeso, calcita y halita. Generalmente se presenta en masas exfoliables, y en raras ocasiones forma cristales tabulares gruesos. El distrito minero de Naica (Chihuahua, México) es conocido por producir excelentes cristales de anhidrita de color azul hielo (Foto 39a).

La **glauberita** [$(\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2)$] es un sulfato anhidro de sodio y calcio, que se presenta en cristales tabulares monoclinicos, incoloros o de tonalidades claras (Foto 39b). Se forma en medios sedimentarios evaporíticos, junto con **thenardita** (Na_2SO_4) y otras sales. Es abundante en España. Su localidad tipo se encuentra en Villarrubia de Santiago (Toledo).

Foto 39. Otros sulfatos anhidros

- a) Crecimiento paralelo de cristales de anhidrita con recubrimiento de calcita, Naica, Chihuahua, México (6,3 x 4,8 cm pieza).
- b) Cristales monoclinicos transparentes de glauberita, mina Consuelo, San Martín de la Vega, Toledo (1 cm arista).



b) Sulfatos hidratados

El **yeso** ($\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) es uno de los minerales más comunes y, particularmente, es muy abundante en España. Sus depósitos más importantes son sedimentarios de origen evaporítico. El yeso se presenta fácilmente en magníficos cristales tabulares o prismáticos del sistema monoclínico (Foto 40a), a menudo maclados en forma de punta de lanza. También son características las *rosas del desierto* (Foto 40b) o agrupaciones de cristales lenticulares entrecruzados de yeso, con inclusiones de arena. Excepcionalmente los cristales de yeso pueden alcanzar dimensiones colosales, como en la Cueva de los Cristales Gigantes de Naica (México) donde superan 10 m de longitud.



Foto 40. Yeso

a) Cristal prismático transparente de yeso (variedad selenita), Quinto de Ebro, Zaragoza (9 x 2,6 cm).

b) Agregado de cristales de yeso en forma de roseta (variedad rosa del desierto), localidad desconocida de Argelia (13 x 8,5 cm pieza).



Los sulfatos hidratados de Pozo Alfredo (Minas de Riotinto, Huelva)

La UHU dispone de una excelente representación de sulfatos hidratados solubles procedentes del piso 33 del Pozo Alfredo (Minas de Riotinto), entre los cuales merece destacar algunos ejemplares de alunógeno, botriógeno, calcantita, coquimbita, halotriquita, roemerita, romboclasa, szomolnokita y voltaíta. Pozo Alfredo era la explotación por minería subterránea o contramina de la masa San Dionisio. Sus cámaras y galerías estaban recubiertas por magníficas formaciones estalactíticas de sulfatos hidratados, que precipitaron a partir de aguas ácidas ferrocobrizas generadas por la oxidación de los sulfuros (pirita y calcopirita).

La muestra de **botriógeno** $[\text{MgFe}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_x7\text{H}_2\text{O}]$ contiene un conjunto de cristales prismáticos, bien formados, con un vistoso color rojo anaranjado y excelente brillo vítreo (Foto 41), y se disponen en una matriz de copiapita; el **alunógeno** $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}]$ forma masas cristalinas verdosas (Foto 42a); la **romboclasa** $[\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ se presenta en rosetas y agregados estalactíticos de cristales tabulares de tonos rosados (Foto 42b) y también en agregados coraloides; la **coquimbita** $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}]$ se caracteriza por una coloración lila o malva, y también se presenta en masas cristalinas con inclusiones de voltaíta (Foto 42c); la **calcantita** $[\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]$ aparece en agregados estalactíticos y costras de color azul turquesa, con inclusiones negras de voltaíta (Foto 42d); la **roemerita** $[\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_4 \cdot 14\text{H}_2\text{O}]$ forma agregados estalactíticos de cristales pseudocúbicos, de color marrón, sobre los cuales han cristalizado algunas rosetas de alunógeno (Foto 42e); la **voltaíta** $[\text{K}_2\text{Fe}_8\text{Al}(\text{SO}_4)_{12} \cdot 18\text{H}_2\text{O}]$ aparece en cristales negros con formas compuestas del sistema cúbico (Foto 42f); y la **halotriquita** $[\text{FeAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}]$ típicamente se presenta en agregados fibrosos o ramilletes de cristales aciculares muy finos, de color blanco, sobre botriógeno (Foto 42g).

Estos minerales se conservan en recipientes herméticamente cerrados para evitar su alteración por contacto con el aire.

Foto 41. Cristales prismáticos monoclínicos de borriogeno. Pozo Alfredo, Minas de Riotinto (5 mm arriba).



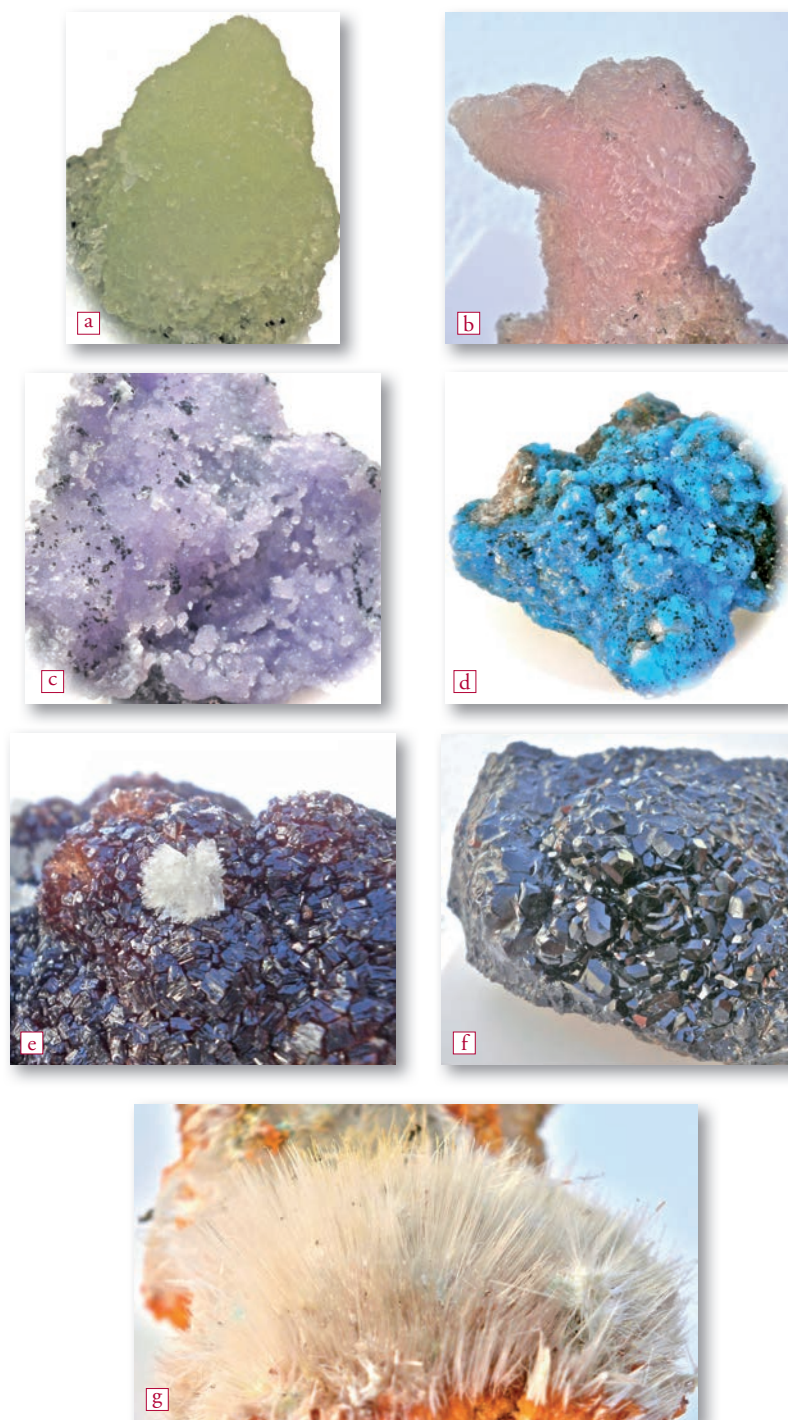


Foto 42. Sulfatos hidratados solubles de Pozo Alfredo, Minas de Riotinto (Huelva)

a) Alunógeno (5 x 4,5 cm); b) Romboclasa (6,5 x 4,5 cm); c) Coquimbita (6,5 x 5,5 cm); d) Calcantita (7 x 7 cm);
e) Roemerita (7 x 6,5 cm); f) Voltaíta (7 x 5,5 cm); g) Halotriquita (4 mm longitud cristal).

c) Otros sulfatos

La **jarosita** $[\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6]$ es un sulfato básico de composición química variable según la entrada de diversos cationes, como sodio (*natrojarosita*), plata (*argentojarosita*) y plomo (*plumbojarosita*) en sustitución de potasio. Generalmente se encuentra en las masas terrosas de los depósitos supergénicos formados por alteración meteórica de sulfuros masivos. No obstante, en algunas localidades pueden hallarse bellos cristales tabulares o pseudocúbicos de color ámbar o marrón oscuro (Foto 43a), como en el barranco del Jaroso (Sierra Almagrera, Almería) donde fue descubierto y tiene su localidad tipo. La jarosita tuvo una gran importancia histórica y económica en los distritos mineros de Riotinto y Tharsis (Huelva), donde fue explotado por los tartesios y romanos para extraer la plata.

La **linarita** $[\text{PbCuSO}_4(\text{OH})_2]$ también fue descubierto por primera vez en España, concretamente en el distrito minero de Linares-La Carolina (Jaén), de donde toma su denominación. Suele encontrarse en la zona de oxidación de algunos yacimientos de plomo, formando costras y masas exfoliadas de intenso color azul (Foto 43b) y, más raramente, en cristales monoclinicos tabulares o prismáticos alargados.

La **antlerita** $[\text{Cu}_3\text{SO}_4(\text{OH})_4]$ es un sulfato básico de cobre bastante raro, excepto en algunas regiones áridas de Chile donde es abundante y se ha explotado como mena de cobre (mina Chuquicamata). Los cristales suelen presentar morfologías tabulares y se reconocen por su típico color verde esmeralda y brillo vítreo (Foto 43c).

La **schuetteira** $[\text{Hg}_3(\text{SO}_4)_2\text{O}_2]$ es un producto de alteración supergénica de cinabrio (HgS), de color amarillo verdoso y aspecto terroso (Foto 43d), que se encuentra formando costras y recubrimientos superficiales en las escombreras de las minas de mercurio, como ocurre en Almadén (Ciudad Real).

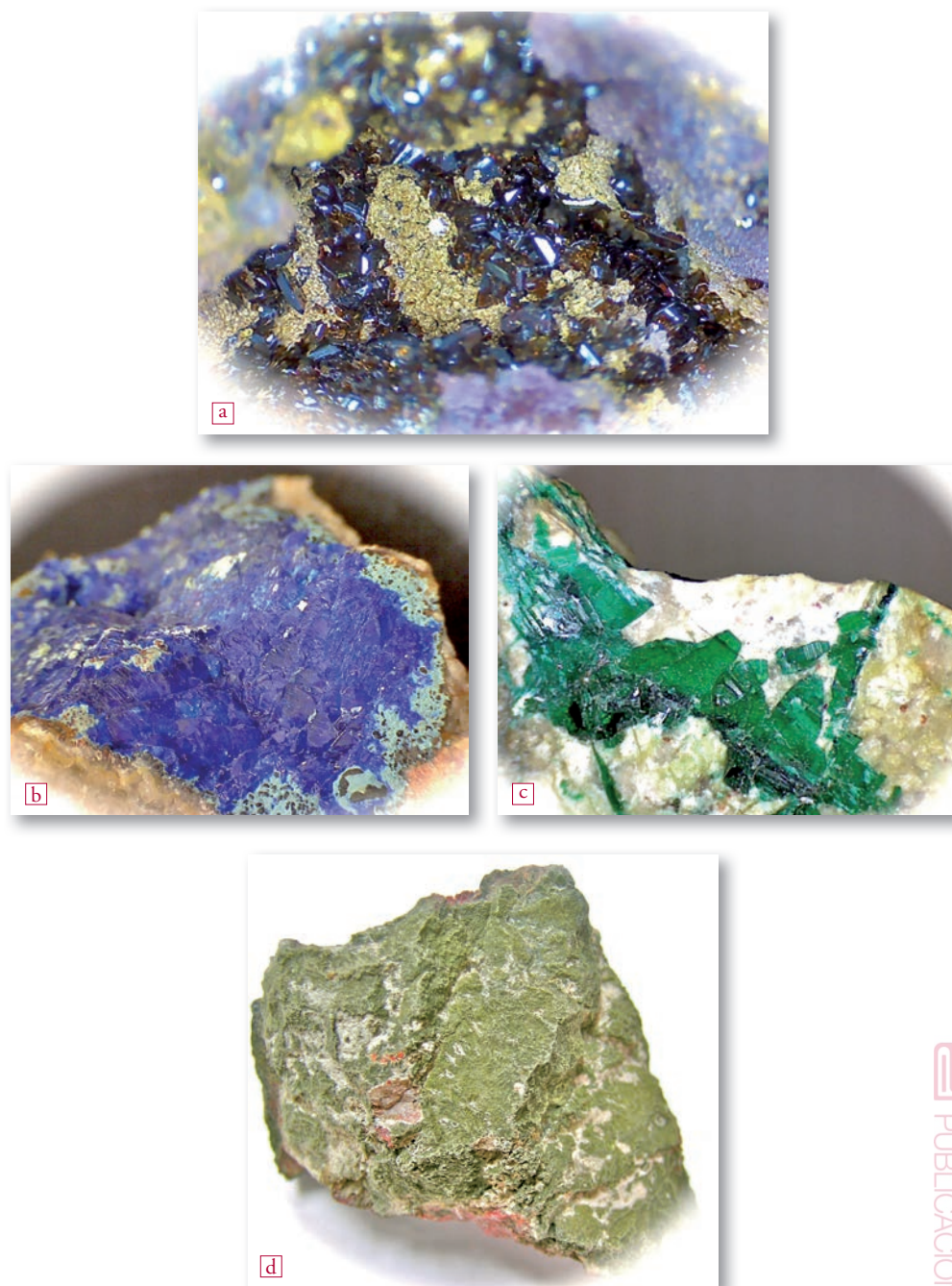


Foto 43. Otros sulfatos

- a) Agregados microcristalinos de jarosita, Barranco del Jaroso, Almería (1 mm cristal).*
b) Masa de linarita, Cerdeña, Italia (4,5 x 4 cm pieza).
c) Cristales de antlerita, mina Chuquicamata, Antofagasta, Chile (7 x 4 cm pieza).
d) Costra de schuetteita, Almadén, Ciudad Real (7,5 x 3,8 cm).

2. MOLIBDATOS Y WOLFRAMATOS

El molibdato más común es la **wulfenita** (PbMoO_4), un mineral muy apreciado por los coleccionistas debido a su forma cristalina, brillo de vítreo a adamantino y color amarillo anaranjado (Foto 44a). Cristaliza en el sistema tetragonal dando lugar a cristales tabulares de contorno cuadrangular, y más raramente con hábito piramidal. Se origina por procesos supergénicos en la zona de oxidación de algunos filones de plomo, en asociación con otros minerales secundarios de plomo como cerusita, piromorfita y vanadinita. Las minas de la Sierra de los Lamentos (Chihuahua, México) son reconocidas por haber proporcionado excelentes ejemplares de este mineral.

Los wolframatos más abundantes son la **wolframita** $[(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4]$ y la **scheelita** (CaWO_4), cuyos yacimientos (pegmatitas graníticas, filones hidrotermales de alta temperatura y depósitos de skarn) constituyen la principal fuente de wolframio.

La wolframita es una serie isomorfa cuyos términos se denominan **ferberita** (FeWO_4) y **hubnerita** (MnWO_4). Los cristales se caracterizan por su hábito tabular, con las caras profundamente estriadas (Foto 44b), y poseen un elevado peso específico. El color varía de negro en la ferberita a pardo en la hubnerita. Las mineralizaciones filonianas de wolframita en relación con cuerpos graníticos son comunes en el oeste de la península Ibérica, y particularmente en la región de Beira Baixa (Portugal) donde se localiza la mina de Panasqueira, una de las explotaciones de wolframio más importantes del mundo.

La **scheelita** es un wolframato cálcico de color blanco amarillento, que generalmente cristaliza en bipirámides del sistema tetragonal (Foto 44c). En España existen notables mineralizaciones de scheelita que fueron explotadas en el pasado para beneficiar el wolframio, como en Barruecopardo (Salamanca) y en la mina La Parrilla (Cáceres).



Foto 44. Molibdatos y wolframatos

- a) Cristales tabulares de wulfenita en matriz de calcita, Sierra de los Lamentos, Chihuahua, México (5 mm arista).
- b) Cristal tabular de ferberita, mina de Panasqueira, Beira Baixa, Portugal (9 x 3,5 cm).
- c) Cristales piramidales de scheelita, Barruecopardo, Salamanca (1 cm arista).

FOSFATOS, ARSENIATOS Y VANADATOS

Están formados por la unión de grupos aniónicos tetraédricos $(XO_4)^{3-}$ con cationes metálicos, donde X es P, As ó V en estado pentavalente. Los enlaces X-O son covalentes, mientras que la unión entre los grupos aniónicos y los cationes es de naturaleza electrostática. Son frecuentes las sustituciones iónicas entre P, As y V en los minerales de esta clase, gracias a la similitud de sus radios iónicos.

Los fosfatos son muy numerosos (unas 500 especies) aunque sólo destaca el apatito por su abundancia relativa, en cuya estructura pueden entrar otros aniones adicionales como F⁻, Cl⁻ y (OH)⁻. Los arseniatos y vanadatos son minerales supergénicos que se forman en la zona de oxidación de algunos filones de minerales metálicos. En la colección de la UHU están representados 43 especies diferentes de esta clase mineralógica.

1. FOSFATOS

El **apatito** $[Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)]$ es el fosfato más abundante. Según el anión adicional dominante recibe el nombre de *hidroxiapatito*, *fluorapatito* y *clorapatito*, respectivamente. Se presenta en cristales prismáticos hexagonales, generalmente terminados en pirámides (Foto 45), como mineral accesorio en muchos tipos de rocas y ambientes geológicos. La *colofana*, variedad masiva y criptocristalina de apatito, es el constituyente esencial de las fosforitas. En la mina La Celia (Jumilla, Murcia) se localiza un yacimiento excepcional de apatito de tonos verdoso-amarillentos, asociado a rocas volcánicas.

La **piromorfita** $[Pb_3(PO_4)_3Cl]$ es uno de los minerales más apreciados por su atractivo color verde, brillo adamantino y morfología cristalina (Foto 46a,b). Los cristales son prismas hexagonales terminados en bases, a veces con forma de tonel. Se presenta en la zona de oxidación de las mineralizaciones de galena, rellenando fracturas y cavidades. Las piromorfitas españolas ocupan un lugar preferente en las mejores colecciones mineralógicas del mundo por su gran valor estético, particularmente algunos ejemplares procedentes de Minas del Horcajo (Ciudad Real) y de los términos de Santa Eufemia y Espiel (Córdoba).



Foto 45. Cristales prismáticos terminados en pirámide de apatito, mina La Celia, Murcia (7 mm arista).



Foto 46. Cristales prismáticos hexagonales de piromorfita.

a) Mina San Andrés, Espiel, Córdoba (3 mm arista).

b) Santa Eufemia, Córdoba (5 mm arista).



La **variscita** ($\text{AlPO}_4 \cdot x2\text{H}_2\text{O}$) se encuentra formando costras, nódulos o masas compactas en las rocas aluminicas, especialmente pizarras, sometidas a la acción de aguas meteóricas saturadas en el ión fosfato. Es un mineral de color verde pálido a verde esmeralda, que ya se usaba en el Neolítico con fines ornamentales para elaborar cuentas de collar. En Encinasola (Huelva) se conocen algunos indicios de variscita, donde el mineral aparece en masas de grano muy fino rellenando fracturas y cavidades (Foto 47a).

La **bolivarita** [$\text{Al}_2(\text{PO}_4)(\text{OH})_3 \cdot x4-5\text{H}_2\text{O}$] es un fosfato amorfo de color verde o amarillo verdoso y brillo vítreo, que aparece en costras o masas compactas criptocristalinas (Foto 47b). Se encontró por primera vez en las grietas de unas rocas graníticas cerca de Pontevedra. Sus descubridores le pusieron el nombre en homenaje al eminente entomólogo español Ignacio Bolívar y Urrutia (1850-1944).

La **wavellita** [$\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot x5\text{H}_2\text{O}$] es un mineral secundario en rocas metamórficas de grado bajo y rocas fosfáticas. En algunas localidades se presenta en agregados esferulíticos o globulares con una estructura interna fibroso-radiada muy vistosa (Foto 47c). Los cristales suelen tener un color verde con tonalidades amarillentas.

La **anapaíta** [$\text{Ca}_2\text{Fe}(\text{PO}_4)_2 \cdot x4\text{H}_2\text{O}$] es un fosfato hidratado de color verde oliva, que se encuentra en los sedimentos lacustres formando costras de cristales tabulares y rellenando cavidades y nódulos (Foto 47d). Los mejores ejemplares españoles de esta especie proceden de Bellver de Cerdanya (Lleida).

La **scholzita** [$\text{CaZn}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot x2\text{H}_2\text{O}$] se reconoce por la morfología prismática alargada o acicular de sus cristales, a menudo agrupados en agregados radiados (Foto 47e). Los cristales son blancos o incoloros, transparentes y poseen un brillo vítreo. Es un mineral secundario en las pegmatitas graníticas fosfatadas.

La **vauxita** [$\text{FeAl}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot x6\text{H}_2\text{O}$] es un raro fosfato que se origina por alteración de apatito en venas hidrotermales, dando lugar a pequeños cristales tabulares de color azul cielo (Foto 47f). Sólo se ha encontrado en cantidades significativas en la mina Siglo XX (Potosí, Bolivia).



Foto 47. Fosfatos hidratados

- a) Variscita masiva, Encinasola, Huelva (4,6 x 2,8 cm).
 b) Masa de bolivarita, provincia de Zamora (4,5 x 2,5 cm).
 c) Agregados fibroso-radiados de wavellita, Avant, Arkansas, USA (6,5 x 5,5 cm pieza).
 d) Geoda de anapaite, Bellver de Cerdanya, Lleida (10 x 9 cm).
 e) Agregados de cristales aciculares de scholzita, Flinders Range, Australia (2 mm cristal).
 f) Drusa de cristales tabulares de vauxita, mina Siglo XX, Potosí, Bolivia (3,5 x 3,2 cm pieza).

Autunita $[\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot x10-12\text{H}_2\text{O}]$ y **torbernita** $[\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot x8-12\text{H}_2\text{O}]$ son fosfatos radiactivos debido a su alto contenido en uranio. Suelen encontrarse asociados en la zona de oxidación de las mineralizaciones hidrotermales o pegmatíticas de uraninita (UO_2). Cristalizan en el sistema tetragonal con hábito tabular fino o laminar, de contorno cuadrado (Foto 47a), y también suelen formar costras escamosas (Foto 48b). La propiedad física más distintiva entre ellos es el color amarillo (autunita) y verde (torbernita).

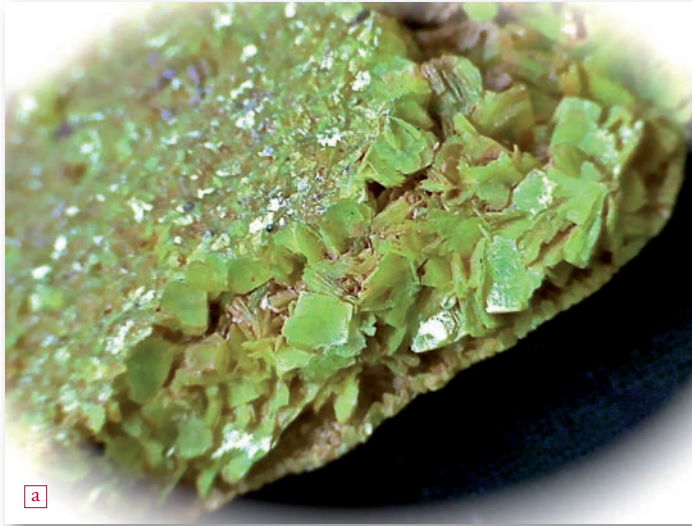


Foto 48. Uranofosfatos hidratados

a) Cristales tabulares de autunita, Autun, Francia (3 mm arista).

b) Agregados escamosos de torbernita, Zabínos, Badajoz (5 x 2,5 cm pieza).

La **brasilianita** $[\text{NaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4]$ es un fosfato de origen pegmatítico. Los cristales se caracterizan por su forma prismática terminada en pirámide, color amarillo verdoso y brillo vítreo (Foto 49a). Los ejemplares transparentes se usan como gema. Fue descubierto en Brasil, de ahí su nombre, y los mejores cristales proceden concretamente de Minas Gerais.

La **cornetita** $[\text{Cu}_3(\text{PO}_4)(\text{OH})_3]$ se forma en la zona de oxidación de los depósitos hidrotermales de cobre. Los cristales tienen hábito tabular o prismático corto, y se reconocen por su color azul turquesa y brillo vítreo (Foto 49b).

La **monacita** $[(\text{Ce},\text{La},\text{Nd},\text{Th})\text{PO}_4]$ es un fosfato de elementos de tierras raras, de tonalidades marrones, amarillentas y rosadas, que aparece como mineral accesorio en diversos tipos de rocas (granitos, pegmatitas, carbonatitas, rocas metamórficas, etc.). Generalmente se presenta masivo o en cristales prismáticos (Foto 49c). Algunos ejemplares tienen propiedades radiactivas por su contenido en torio.



Foto 49. Otros fosfatos

- a) Cristales prismáticos de brasilianita, terminados en pirámide, Minas Gerais, Brasil (2,4 cm arista prisma).*
- b) Drusa de cornetita, mina Kalabi, Katanga, R.D. Congo (4,7 x 4,5 cm pieza).*
- c) Monocristal prismático de monacita, Divina Uba, Brasil (3 x 1,6 cm).*

2. ARSENIATOS

Los arseniatos son más de 250 minerales aunque la mayoría de ellos son muy raros y su localización geológica se limita a la zona de oxidación de mineralizaciones primarias de As, Cu, Pb, Zn, etc. La mina Ojuela (Mapimí, México) es una localidad de referencia mundial para muchos arseniatos, como adamita, legrandita, köttigita, conicalcita, escorodita, y otros que tienen allí su localidad tipo como ojuelita y mapimita. Esta mina se abrió en la época colonial para extraer oro, plata y zinc, y fue abandonada a mediados del siglo XX.

La **adamita** $[Zn_2(AsO_4)(OH)]$ aparece habitualmente en cristales prismáticos, a menudo agrupados en rosetas o agregados radiados de color amarillo pálido, si bien algunos ejemplares de mina Ojuela presentan hábito esferulítico o globular y coloración verdosa (Foto 50a). Recibe su nombre en honor de su descubridor, el mineralogista francés G.J. Adam (1795-1881), quien recogió los primeros ejemplares en la mina Chañarcillo, en el desierto de Atacama (Chile).

La **legrandita** $[Zn_2(AsO_4)(OH)xH_2O]$ es composicionalmente similar a adamita pero está hidratada. Se presenta en prismas alargados terminados en pirámide, a menudo formando agregados radiados, de color amarillo e intenso brillo vítreo (Foto 50b). Este arseniato fue descrito por primera vez en 1932, a partir de unos ejemplares recogidos por el ingeniero de minas belga M. Legrand.

La **köttigita** $[Zn_2(AsO_4)(OH)x8H_2O]$ suele encontrarse en la mina Ojuela asociada a legrandita (Foto 50c). Se caracteriza por la forma prismática aplanada de los cristales, a veces formando grupos radiados de tonos verdosos y azulados. Fue nombrado en honor de O.F. Köttig (1824-1892), el químico alemán que realizó su primer análisis en muestras de su localidad tipo (mina St. Daniel, Sajonia, Alemania).

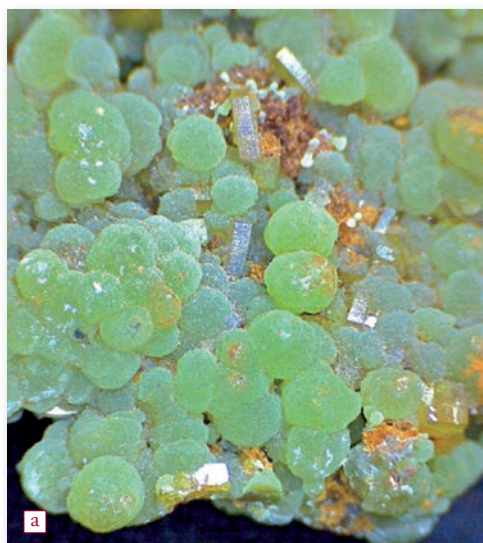


Foto 50. Arseniatos de zinc

a) Agregados globulares de adamita, mina Ojuela, Mapimí, México (2 mm diámetro).

b) Cristales prismáticos de legrandita, terminados en pirámide, mina Ojuela, Mapimí, México (4 mm longitud).

c) Cristales prismáticos de köttigita verde-azulada, mina Ojuela, Mapimí, México (5 mm longitud).

La **olivenita** $[\text{Cu}_2(\text{AsO}_4)(\text{OH})]$ es el arseniato más común en la zona de oxidación de los depósitos hidrotermales de cobre. Es isoestructural con adamita y puede presentar diversos hábitos (prismático, acicular, fibroso, globular, laminar, terroso, masivo). Su nombre hace alusión a su característico color verde oliva (Foto 51a).

La **conicalcita** $[\text{CuCa}(\text{AsO}_4)(\text{OH})]$ también es relativamente común en la zona de oxidación de los filones de cobre. Se presenta típicamente en agregados esferulíticos y en costras e incrustaciones botrioidales de color verde esmeralda (Foto 51b). Este mineral tiene su localidad tipo en Hinojosa del Duque (Córdoba), donde fue descubierto por primera vez en 1849.

La **duftita** $[\text{CuPb}(\text{AsO}_4)(\text{OH})]$ es otro arseniato de color verde con un elevado peso específico por su contenido en plomo. Fue descubierto en 1920 en la mina Tsumeb (Namibia), y recibió su nombre en honor de G.B. Duft, director general de la mina en aquella época. Son característicos de esta famosa localidad las pátinas y recubrimientos pseudomórficos de duftita sobre cristales romboédricos de calcita (Foto 51c).

La **mimetita** $[\text{Pb}_3(\text{AsO}_4)_3\text{Cl}]$ es isoestructural con apatito y piromorfita, con la cual suele confundirse ya que presenta el mismo hábito, propiedades físicas y tipos de yacimientos. De hecho, su nombre hace referencia a su aspecto imitador o mimético. Generalmente se encuentra en la zona de oxidación de yacimientos de plomo ricos en arsénico, formando cristales prismáticos hexagonales, terminados en bases, a veces con forma de barril. Su coloración es variable en tonos amarillos verdosos y anaranjados, y el brillo de resinoso a adamantino.

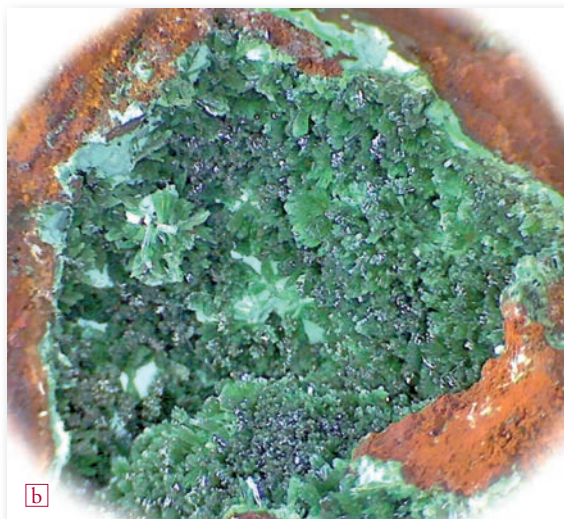
La UHU cuenta con varios ejemplares de mimetita procedentes de la mina Tsumeb, con cristales biterminados muy agudos, de color amarillo pálido y elevada transparencia (Foto 52a), y un ejemplar recientemente hallado en la corta Filón Sur, de Minas de Tharsis (Huelva), que constituye una interesante novedad mineralógica de la especie en esta provincia, por el tamaño y belleza de los cristales (Foto 52b).



a

Foto 51. Arseniatos de cobre

- a) Costra botrioidal de conicalcita en matriz ferruginosa, mina Ojuela, Mapimí, México (9 x 7 x 4,5 cm).
- b) Agregados de cristales prismáticos monoclinicos de olivenita, Laurion, Attica, Grecia (1 mm longitud).
- c) Recubrimiento pseudomórfico de duftita en calcita, mina Tsumeb, Namibia (1,5 cm arista).



b



c

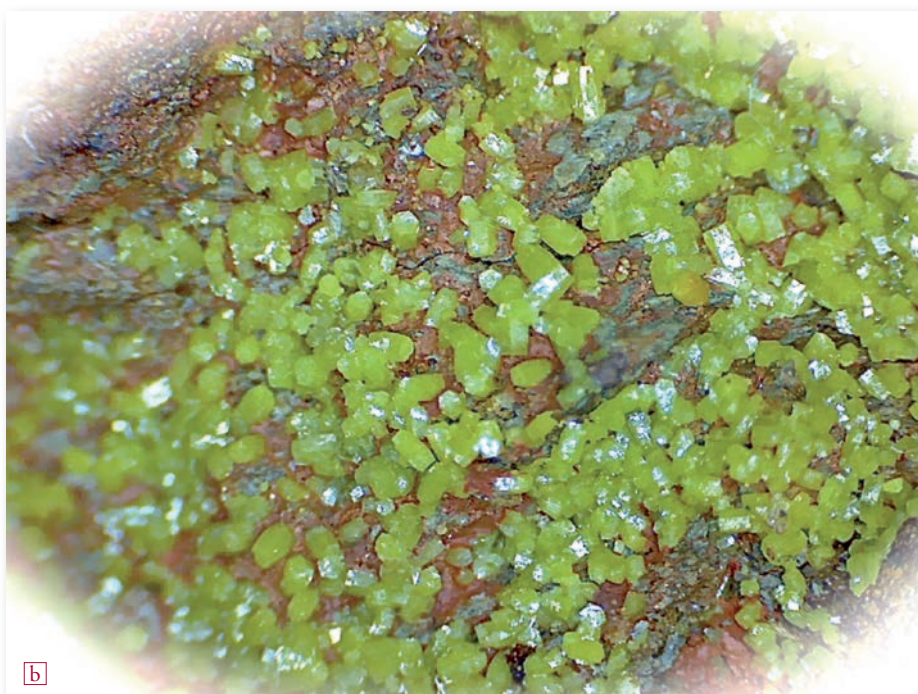


Foto 52. Mimetita

a) Cristales prismáticos alargados de mimetita transparente, mina Tsumeb, Namibia (8 mm longitud).

b) Cristales prismáticos cortos de mimetita en gossan, Filón Sur, Minas de Tharsis, Huelva (1 mm longitud).

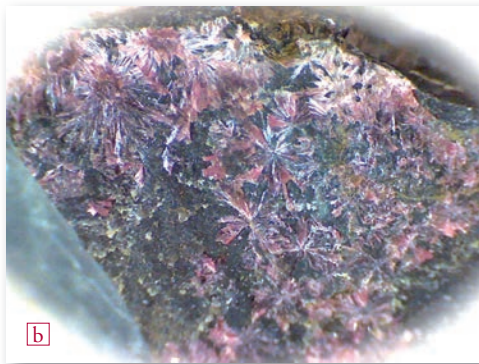
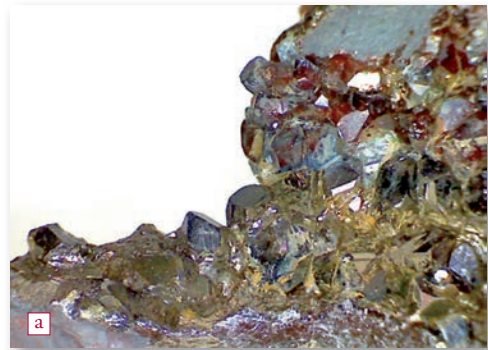
La **escorodita** ($\text{FeAsO}_4 \cdot x2\text{H}_2\text{O}$) es un arseniato relativamente común en los depósitos de gossan, si bien los ejemplares cristalizados son bastante raros (Foto 53a). Su nombre deriva del vocablo griego *skorodon*, que significa ajo, alusivo al olor que desprende cuando se calienta.

La **eritrina** [$\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot x8\text{H}_2\text{O}$] es un producto de alteración supergénica de arseniuros de cobalto, que suele aparecer en costras y rellenos de fisuras. Los cristales son prismáticos, estriados longitudinalmente, y a veces forman rosetas o grupos radiados conocidos como *flores de cobalto* (Foto 53b). La eritrina se caracteriza por su color rojo púrpura (*erythros* ≈ rojo). Los cristales de mayor tamaño se localizan en Bou-Azzer (Marruecos).

La **roselita** [$\text{Ca}_2(\text{Co,Mg})(\text{AsO}_4)_2 \cdot x2\text{H}_2\text{O}$] es otro arseniato típico del distrito de Bou-Azzer, que suele hallarse en drusas de cristales de intenso color rosa (Foto 53c), aunque en este caso el nombre no hace referencia al color sino a su descubridor el mineralogista alemán G. Rose (1798-1873).

Foto 53. Otros arseniatos

- a) Cristales piramidales de escorodita, mina Ojuela, Mapimí, México (2,5 x 1 cm pieza).
- b) Agregados radiados de eritrina, Cerro Minado, Huercal-Overa, Almería (2 mm longitud).
- c) Drusa de roselita, Bou Azzer, Marruecos (1 mm arista).



3. VANADATOS

Son minerales característicos de ambientes oxidantes, que se originan por interacción de soluciones termales ricas en vanadio con mineralizaciones primarias de metales básicos (plomo, zinc, cobre, etc.). Se conocen casi un centenar de especies minerales, aunque son muy raros, y sólo unos pocos tienen interés como mena de vanadio.

La **vanadinita** $[\text{Pb}_5(\text{VO}_4)_3\text{Cl}]$ es el vanadato más importante, y uno de los minerales de colección más apreciados. Es isoestructural de apatito, por lo que se incluye dentro de su grupo junto con piromorfita y mimetita. Los cristales son prismas cortos o tabulares, de contorno hexagonal, y generalmente presentan un espléndido color rojo anaranjado muy brillante (Foto 54), aunque también existen otras variedades de color. Es un mineral secundario de la zona de oxidación de yacimientos de plomo en regiones áridas. Fue descubierto en Zimapán (México) por el mineralogista español A.M. del Río (1764-1849). Actualmente, los mejores ejemplares de vanadinita proceden de Mibladen (Marruecos).

Descloizita $[\text{PbZn}(\text{VO}_4)(\text{OH})]$ y **mottramita** $[\text{PbCu}(\text{VO}_4)(\text{OH})]$ forman una serie isomorfa de soluciones sólidas por intercambio de zinc y cobre. Cristalizan en el sistema rómbico, dando lugar a drusas y agregados estalactíticos de cristales prismáticos o piramidales con brillo resinoso (Foto 55a), y también en masas botrioidales de color pardo oscuro, negro, o verde en el caso de la mottramita. La descloizita fue nombrada en honor de su descubridor, el mineralogista francés A. Des Cloizeaux (1817-1897), mientras que mottramita recibe su nombre de la localidad inglesa (Mottram St. Andrew) donde fue hallada por primera vez en 1876.

La **calderonita** $[\text{Pb}_2\text{Fe}(\text{VO}_4)_2(\text{OH})]$ es un nuevo vanadato descubierto en Santa Marta de los Barros (Badajoz) y aprobado por la Asociación Internacional de Mineralogía en 2003. Aparece en pequeños cristales prismáticos monoclinicos de color rojizo (Foto 55b), en cavidades de la zona oxidación de filones hidrotermales de plomo y zinc. Su nombre es un homenaje al geólogo español Salvador Calderón (1852–1911) en reconocimiento a su contribución a la mineralogía topográfica de España.



Foto 54. Cristales tabulares de vanadinita en matriz de barita, Mibladen, Marruecos (4 x 3,5 cm pieza).

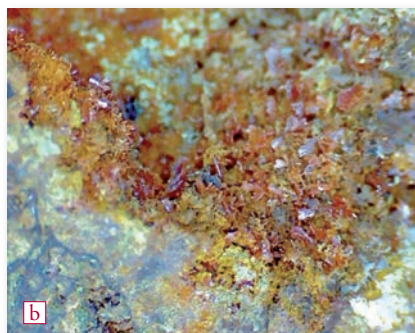


Foto 55. Otros vanadatos

a) Agregado de cristales piramidales de descloizita, Berg Aukas, Namibia (5 mm arista).

b) Agregado de microcristales prismáticos de calderonita, Santa Marta de los Barros, Badajoz (< 1 mm cristal).

SILICATOS

Es la clase mineralógica más importante por la diversidad y abundancia de especies, ya que sus elementos químicos esenciales (silicio y oxígeno) son los más abundantes en la corteza terrestre. Se conocen más de 1200 especies diferentes de silicatos, lo que representa casi el 30% del total de minerales. La unidad estructural básica de estos minerales consta de cuatro oxígenos dispuestos en los vértices de un tetraedro regular coordinados con silicio. Los tetraedros pueden estar aislados (nesosilicatos) o comparten vértices formando parejas (sorosilicatos), anillos (ciclosilicatos), cadenas (inosilicatos), láminas (filosilicatos) y armazones tridimensionales (tectosilicatos). La UHU cuenta en su patrimonio mineralógico con 115 especies diferentes de silicatos, y numerosas variedades de estos minerales.

1. NESOSILICATOS

Los nesosilicatos presentan los tetraedros aislados (sin compartir vértices), pero unidos entre sí a través de cationes intersticiales, mediante enlace iónico. El empaquetamiento estructural es denso, de ahí que estos minerales tengan un peso específico relativamente alto. El hábito generalmente es equidimensional o isométrico, y no presentan direcciones de exfoliación importantes.

Andalucita, cianita y sillimanita (Al_2SiO_5) son nesosilicatos típicos de las rocas metamórficas aluminicas, que poseen la misma composición química pero adoptan diferente tipo de estructura según las condiciones físicas del metamorfismo. La andalucita aparece en cristales rosados de hábito columnar y base cuadrada. Su nombre, otorgado por el naturalista francés J.C. Delamétherie en 1798, se debe a la creencia errónea de que las primeras muestras de este mineral procedían de Andalucía. La variedad *quiasolita* presenta, en las secciones transversales de los cristales, pequeñas inclusiones de partículas carbonosas de color negro, dispuestas simétricamente en forma de cruz (Foto 56a). La cianita se presenta en largos prismas aplanados y estriados, de color azul y brillo vítreo (Foto 56b), en rocas metamórficas sometidas a elevadas presiones, mientras que la sillimanita es el polimorfo de alta temperatura, y se caracteriza por su hábito acicular o fibroso (variedad *fibrolita*).

El **olivino** [$(\text{Fe},\text{Mg})_2\text{SiO}_4$] constituye una serie isomorfa de solución sólida completa cuyos términos se denominan **forsterita** (Mg_2SiO_4) y **fayalita** (Fe_2SiO_4). Son minerales ortomagmáticos, se originan durante la primera fase de cristalización magmática dando lugar a masas granulares y cristales prismáticos cortos, de color verde oliva y brillo vítreo (Foto 57a). La variedad transparente, conocida como *peridoto*, posee interés gemológico. El olivino se encuentra típicamente en rocas ígneas básicas y ultrabásicas (gabros, basaltos y peridotitas),

aunque se altera fácilmente en condiciones meteóricas o hidrotermales, transformándose en serpentina. En España se encuentran excelentes ejemplares de olivino en las lavas basálticas de Canarias y del campo volcánico de Olot (Girona).

El término olivino se usa también para nombrar a un grupo de minerales que incluye, además de forsterita y fayalita, a la **tefroíta** (Mn_2SiO_4) entre otras especies más raras. La tefroíta se presenta en cristales prismáticos estriados longitudinalmente (Foto 57b), en rocas de metamorfismo de contacto ricas en manganeso. Su localidad tipo se encuentra en el distrito minero de Franklin, Nueva Jersey (Estados Unidos).

Los **granates** forman otro grupo importante de nesosilicatos de fórmula general $A_3B_2(SiO_4)_3$, donde A es un elemento divalente (Ca, Fe, Mn) y B es un elemento trivalente (Al, Fe, Cr). El grupo está constituido por una serie de granates aluminicos (**piropo**, **almandino** y **espesartina**), de tonalidades rojas, y otra serie de granates cálcicos (**uvarovita**, **grosularia** y **andradita**) que adoptan diferentes coloraciones. La uvarovita es verde esmeralda (Foto 58a), la andradita negra se denomina *melanita* (Foto 58b), la andradita verde *demantoida* (Foto 58c), y la grosularia naranja *hessonita* (Foto 58d).

Los granates son minerales comunes en las rocas metamórficas, sobre todo en los esquistos, y generalmente se presentan bien cristalizados en formas rombododecaédricas y trapezoédricas del sistema cúbico. También son características las formas combinadas y los cristales con aristas truncadas. El skarn de Minas de Cala (Huelva) alberga la concentración de granates más importante de España. Son de color rojo oscuro o pardo rojizo, baja transparencia, y composición intermedia entre grosularia y andradita (Foto 58e).



a

Foto 56. Nesosilicatos aluminicos

a) Cristal prismático de andalucita (variedad quiasolita) con inclusiones carbonosas en forma de cruz, Goyán, Pontevedra (2,2 x 1,6 cm).

b) Cristal prismático de cianita en micaesquisto, Alpe Sponda, Ticino, Suiza (3 cm cristal).



b



a



b

Foto 57. Grupo del olivino

a) Masa granular de olivino, Canet d'Adri, Girona (8 x 6 cm).

b) Cristales prismáticos de tefroita, mina Franklin, Nueva Jersey, USA (1,5 mm cristal).

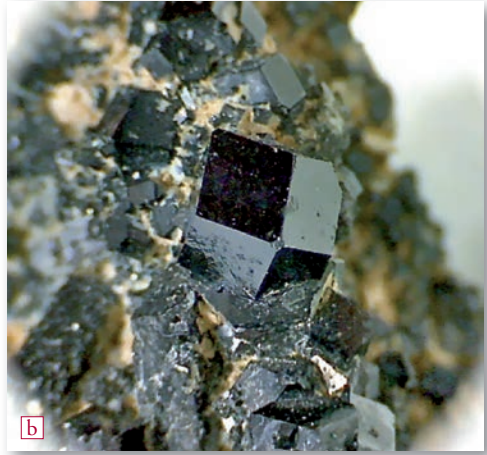


Foto 58. Grupo del granate

- a) Cristales rombododecaédricos de uvarovita, Jackson, California, USA (1,5 mm arista).
- b) Cristales rombododecaédricos de andradita negra (variedad melanita), New Idria, California, USA (3 mm arista).
- c) Cristales rombododecaédricos de andradita verde (variedad demantoides), Montes Urales, Rusia (2,5 mm arista).
- d) Grupo de cristales rombododecaédricos con las caras estriadas de grosularia (variedad hessonita), Asbestos, Quebec, Canadá (4 mm arista).
- e) Agregado de cristales trapezoédricos de grosularia-andradita, Minas de Cala, Huelva (4 mm arista).

La **estauroлита** $[(\text{Fe},\text{Mg})_2\text{Al}_9(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{22}(\text{OH})_2]$ es otro nesosilicato de origen típicamente metamórfico. Se presenta en cristales prismáticos del sistema rómbico, a menudo con marcas cruciformes (Foto 59a) debido a la interpenetración de dos prismas cruzados en ángulo recto (cruz latina) u oblicuo (cruz de San Andrés). Etimológicamente su nombre deriva del vocablo griego *stauros*, que significa cruz. Los cristales son de color castaño o marrón y suelen presentar un brillo mate por alteración superficial.

El **zircón** (ZrSiO_4) es el único mineral importante de zirconio. En su estructura suelen alojarse otros elementos como hafnio, torio y uranio. Cristaliza en el sistema tetragonal y su forma cristalina más habitual es la combinación de un prisma de base cuadrada con una bipirámide (Foto 59b). Los cristales son de tonalidades pardas y poseen brillo adamantino. Es un mineral accesorio muy corriente en rocas ígneas y metamórficas, y se concentra en depósitos sedimentarios detríticos de tipo placer, gracias a su elevada dureza y densidad.

El **topacio** $[\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{OH},\text{F})_2]$ es un nesosilicato de aluminio con aniones adicionales, que ocasionalmente se encuentra en algunas cavidades de los granitos y diques pegmatíticos. Los cristales son prismáticos de base rómbica con distintas terminaciones (Foto 59c). Las caras del prisma aparecen con frecuencia estriadas debido a su exfoliación perfecta. A pesar de su fragilidad, el topacio es una gema muy cotizada. El topacio normalmente es incoloro, aunque puede presentar atractivos colores (amarillo, azul, violeta) debido a impurezas químicas u otros defectos cristalinos. Los mejores ejemplares de topacio proceden de Minas Gerais (Brasil) y los Urales (Rusia).

La **titanita** (CaTiSiO_5) se caracteriza por exhibir cristales tabulares muy angulosos, en forma de cuña (Foto 59d), con brillo resinoso a adamantino, y color variable con predominio de tonos pardos y acaramelados. Es un mineral accesorio en muchas rocas ígneas y metamórficas.

Otros nesosilicatos más raros son la **willemita** (Zn_2SiO_4), que normalmente aparece en masas de color variable y brillo vítreo (Foto 59e) en la zona de alteración de los yacimientos de zinc, y la **datolita** $[\text{CaBSiO}_4(\text{OH})]$ cuyos cristales monoclinicos de color verde pálido (Foto 59f) suelen encontrarse en cavidades de las lavas basálticas.



Foto 59. Otros nesosilicatos

- a) Cristales prismáticos de estaurolita con maclado cruciforme, Lorient, Francia (3,5 x 1,5 cm cristal mayor).*
b) Grupo de cristales bipiramidales de zircón, Helen Hunt Falls, Colorado, USA (5 mm arista).
c) Cristal prismático de topacio incoloro, Thomas Range, Utah, USA (3 cm longitud).
d) Monocristal tabular de titanita, Pino Solo, Baja California, México (3 x 1,8 cm).
e) Masa botrioidal de willemita, de color aguamarina, mina Tsumeb, Namibia (7,6 x 4,2 cm pieza).
f) Cristales de datolita con inclusiones de damburita, San Luis Potosí, México (6 x 4,5 cm).

2. SOROSILICATOS

Los sorosilicatos se caracterizan por la presencia de grupos tetraédricos dobles, independientes, formados por dos tetraedros que comparten un oxígeno en el vértice común. La proporción Si:O resultante de esta disposición es 2:7. Los minerales más comunes de esta subclase pertenecen al grupo de la epidota.

La **epidota** $[\text{Ca}_2(\text{Fe,Al})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})]$ es el sorosilicato más abundante. Es un mineral típico de metamorfismo regional de grado bajo-medio, y también se origina por procesos de alteración hidrotermal, como producto de alteración de piroxenos y anfíboles. En este caso, la epidota suele rellenar fracturas y cavidades de las rocas, dando lugar a excelentes cristales prismáticos monoclinicos, de color verde oscuro o amarillo verdoso, con brillo vítreo y pronunciadas estrías longitudinales (Foto 60a).

La **piemontita** $[\text{Ca}_2(\text{Al,Mn,Fe})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})]$ es isoestructural con epidota, pero contiene manganeso en sustitución de hierro y aluminio. Los cristales son prismáticos alargados o aciculares, de inconfundible color marrón rojizo (Foto 60b). Se encuentra en rocas metamórficas y metasomáticas ricas en manganeso. Su nombre se debe a la región italiana de Piemonte, aunque fue descubierta en la región vecina del Valle de Aosta, donde tiene su localidad tipo.

La **zoisita** $[\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})]$ es el único miembro del grupo de la epidota que cristaliza en el sistema rómbico. Su polimorfo monoclinico se denomina **clinozoisita**. La zoisita presenta dos variedades de interés gemológico: la *tanzanita*, de color azul índigo o púrpura debido a impurezas de vanadio; y la *thulita* (Foto 60c), de color rosa por la presencia de manganeso en sustitución de calcio. La zoisita se encuentra en rocas metamórficas de alta presión.

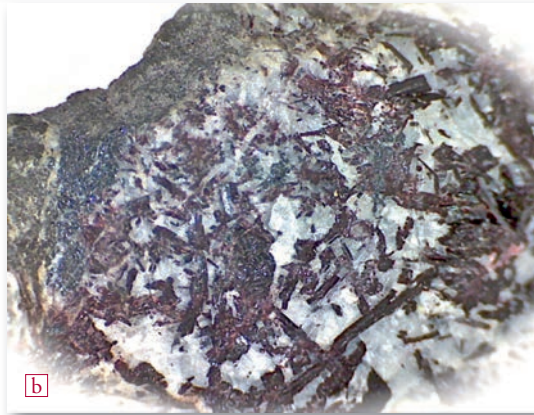


Foto 60. Grupo de la epidota

- a) Cristales prismáticos alargados de epidota, Baja California, México (7 mm arista).
b) Cristales prismáticos alargados de piemontita, Saint-Marcel, Valle de Aosta, Italia (1,8 cm cristal mayor).
c) Masa granular de thulita (variedad de zoisita), Lom, Upland, Noruega (7 x 5 cm).

La **hemimorfita** $[Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot xH_2O]$ es un sorosilicato de origen secundario, que suele encontrarse en la zona de oxidación de los yacimientos de zinc. En general, se presenta en drusas de cristales tabulares delgados, estriados, que se caracterizan por un desarrollo cristalográfico hemimórfico (de aquí su denominación), es decir terminan en diferentes formas cristalinas. Los cristales son incoloros, con brillo vítreo y, a menudo, constituyen grupos radiados o crecimientos en forma de abanico (Foto 61). No obstante, también se presenta en masas estalactíticas, botrioidales o terrosas de colores variados. Probablemente, los cristales más bellos de hemimorfita se han encontrado en las localidades de Ojuela y Santa Eulalia (México).

La **axinita** $[Ca_2(Fe,Mg,Mn)Al_2(BO_3)Si_4O_{12}(OH)]$ es un borosorosilicato de color marrón pálido y brillo vítreo (Foto 62). Su nombre proviene de *ax*, un vocablo griego que significa hacha, en alusión a la morfología tabular de sus cristales, con aristas afiladas y cortantes. Se encuentra en aureolas de metamorfismo de contacto y en venas hidrotermales.

La **vesubianita** $[Ca_{10}Mg_2Al_4(Si_2O_7)_2(SiO_4)_5(OH)_4]$ cristaliza en el sistema tetragonal y presenta un hábito prismático alargado o columnar (Foto 63a), de sección cuadrada, con las caras del prisma estriadas longitudinalmente. Su color más habitual es verde oscuro o marrón. Fue descubierto por primera vez en las lavas del Vesubio (Italia), aunque sus mineralizaciones más comunes son de tipo skarn.

La **ilvaíta** $[CaFe_3(SiO_4)_2(OH)]$ es otro sorosilicato típico de algunos depósitos de skarn. Los cristales son prismáticos, generalmente bien terminados, y poseen un color negro y un brillo submetálico (Foto 63b). Su nombre proviene de *Ilva*, el nombre latino de la isla de Elba (Italia), donde se descubrió en 1811.

La **kinoíta** $[Ca_2Cu_2Si_3O_{10} \cdot 2H_2O]$ es un raro sorosilicato que se encuentra en algunas minas de cobre de Arizona, en forma de pequeños cristales tabulares o agregados esferulíticos de intenso color azul (Foto 63c). Recibe su nombre en honor del padre Kino (1645-1711), misionero jesuita y explorador del suroeste de Estados Unidos.



Foto 61. Agregado de cristales incoloros de hemimorfita con excelentes terminaciones, mina Ojuela, Mapimí, México (11,5 x 7 cm pieza; 1,2 cm cristal mayor).

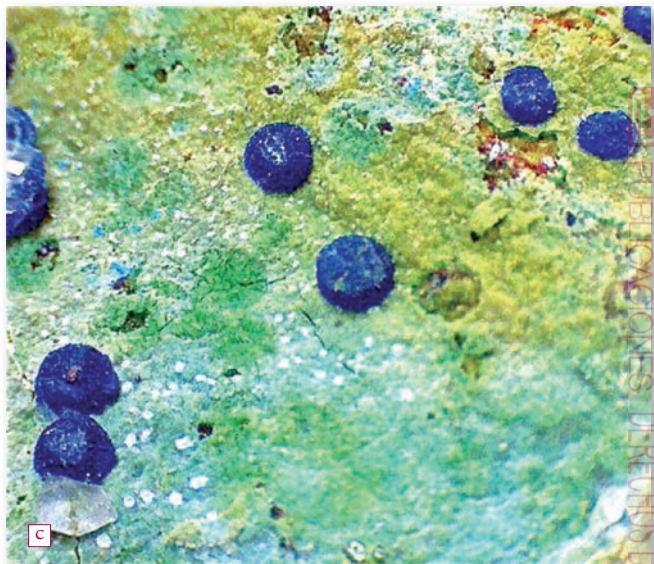


Foto 62. Cristales tabulares de axinita con fibras de actinolita, New Melones Dam, California, USA (10 x 3,5 cm pieza; 1 cm arista cristal).



Foto 63. Otros sorosilicatos

- a) Cristal prismático de vesuvianita, Malone, Ontario, Canadá (2,8 cm longitud).
- b) Cristal prismático biterminado de ilvaíta, mina Laxe, Idaho, USA (2,7 cm cristal).
- c) Agregados esferulíticos de kinoíta sobre gilalita (verde), mina Christmas, Arizona, USA (1 mm diámetro).



3. CICLOSILICATOS

Los ciclosilicatos están constituidos por grupos tetraédricos enlazados entre sí formando configuraciones cíclicas cerradas (anillos triangulares, cuadrangulares y hexagonales), con una relación de coordinación Si:O igual a 1:3. Los ciclosilicatos hexagonales son los más abundantes.

Turmalina es una denominación genérica que designa a un grupo compuesto por 18 especies de borociclosilicatos de composición química compleja y variable, que cristalizan en el sistema trigonal dando lugar a formas prismáticas alargadas, hemimórficas, de sección transversal triangular. La turmalina más común con gran diferencia es el **chorlo** $[\text{NaFe}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4]$, reconocible por su color negro (Foto 64a). Otras especies son coloreadas, como la variedad *rubelita* de la **elbaíta** $[\text{Na}(\text{LiAl})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4]$, de color rosa debido a su contenido en litio (Foto 64b). Las turmalinas se localizan principalmente en pegmatitas graníticas, donde los cristales pueden alcanzar dimensiones notables, como ocurre en los estados brasileños de Minas Gerais y Bahía.



Foto 64. Turmalina

- a) Monocristal prismático de chorlo (turmalina negra) con excelente terminación, Erongo, Namibia (4 x 2,5 cm).
- b) Monocristal prismático de elbaíta rosa (variedad rubelita), Minas Gerais, Brasil, (2 cm longitud).

El **berilo** ($\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$) suele encontrarse asociado a las turmalinas en los yacimientos pegmatíticos e hidrotermales. Los cristales más típicos son prismas hexagonales con las caras estriadas y terminados en bases (Foto 65a). El berilo químicamente puro es incoloro, no obstante es frecuente la presencia de elementos cromóforos como cromo, hierro o vanadio en sustitución de aluminio, lo cual se traduce en variedades cromáticas tales como: *esmeralda* (verde hierba), *aguamarina* (azul verdoso), *morganita* (rosa), entre otras.

El berilo es la principal fuente de berilio en la naturaleza, si bien sus variedades transparentes y coloreadas se utilizan como piedras preciosas en joyería. En efecto, la esmeralda es una de las gemas más valiosas y apreciadas, especialmente los cristales procedentes de los distritos colombianos de Muzo y Chivor (Foto 65b). El berilo común es relativamente abundante en España, por ejemplo en las pegmatitas de Sierra Albarrana (Córdoba) y Pereña (Salamanca), y ocasionalmente se han encontrado algunas esmeraldas en A Franqueira, en la provincia de Pontevedra (Foto 65c).



Foto 65. Berilo

- a) Cristal hexagonal de berilo, Sierra Albarrana, Córdoba (4 cm arista).
b) Cristales prismáticos de esmeralda, con pirita y calcita, Chivor, Colombia (1,3 cm arista).
c) Grupo de prismas hexagonales de esmeralda, A Franqueira, A Cañiza, Pontevedra (1,4 cm arista).

La **cordierita** ($\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$) cristaliza en prismas del sistema rómbico, a menudo con secciones hexagonales por maclado cíclico, si bien los cristales son raros y generalmente se encuentran alterados. Presenta diferentes tonalidades de azul según la orientación del cristal (pleocroísmo). Se encuentra en rocas metamórficas derivadas de sedimentos arcillosos y en algunos granitos. Fue descrito por primera vez por el barón Von Schlotheim como *lazulita española* en ejemplares procedentes del Hoyazo de Níjar (Almería), si bien su identificación se debe al geólogo francés P.L. Cordière (1777-1861).

La **benitoíta** ($\text{BaTiSi}_3\text{O}_9$) es un raro ciclosilicato hallado por primera vez en 1907, en el condado de San Benito (California, Estados Unidos). Los cristales son bipiramidales de contorno triangular, muy aplanados, y presentan un espléndido color azul zafiro (Foto 67).

La **dioptrita** [$\text{CuSiO}_2(\text{OH})_2$] es uno de los minerales más atractivos por su color verde esmeralda e intenso brillo vítreo (Foto 68). Los cristales son prismas trigonales cortos terminados por romboedros. Se encuentra en la zona de oxidación de los depósitos primarios de cobre. Los mejores ejemplares proceden de la mina Tsumeb (Namibia).

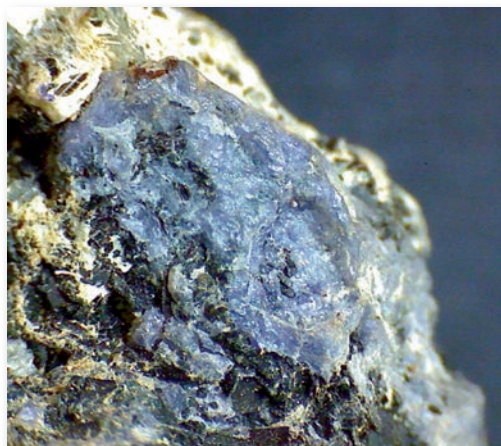


Foto 66. Cristal de cordierita en matriz de roca volcánica, El Hoyazo, Níjar, Almería (1,5 x 1 cm).

Foto 67. Cristal de benitoíta en matriz de natrolita, Condado de San Benito, California, USA (5 x 3 mm cristal).





Agregado cristalino de diopstasa, mina Tsumeb, Namibia (14 x 6,5 cm pieza; 4 mm arista cristal).

4. INOSILICATOS

Los inosilicatos pueden ser de cadena simple (*grupo de los piroxenos y grupo de los piroxenoides*) o cadena doble (*grupo de los anfíboles*). Los piroxenos suelen presentarse en prismas gruesos y cortos, de sección cuadrada, y presentan dos direcciones de exfoliación que se cortan en ángulo casi recto, mientras que los anfíboles tienden a formar cristales prismáticos alargados, aciculares o fibrosos, de contorno rómbico o hexagonal, los ángulos de exfoliación son próximos a 60° y 120°, y se caracterizan por la presencia de grupos aniónicos adicionales (grupo hidroxilo).

Los inosilicatos del *grupo de los piroxenos* cristalizan en el sistema monoclinico (*subgrupo de los clinopiroxenos*) o rómbico (*subgrupo de los ortopiroxenos*). Los piroxenos más comunes son augita, diópsido, aegirina y espodumena.

La **augita** [(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al)₂O₆] es un mineral abundante en las rocas ígneas básicas y ultrabásicas (basaltos, gabros, peridotitas, etc.). Los cristales generalmente son prismas cortos de color negro (Foto 69a). Los mejores ejemplares españoles de augita proceden de las islas Canarias y de la zona volcánica de Olot (Girona).

El **diópsido** (CaMgSi₂O₆) forma una serie isomorfa con **hedenbergita** (CaMgSi₂O₆) con solución sólida completa entre hierro y magnesio. Se encuentran en algunas rocas metamórficas y en depósitos de skarn. El diópsido es más común y suele presentar un hábito prismático corto, color verde y brillo vítreo (Foto 69b).

La **aegirina** (NaFeSi₂O₆) se encuentra típicamente en rocas ígneas alcalinas (sienitas nefelínicas) formando agregados de cristales prismáticos alargados o aciculares, con terminaciones en pirámides agudas, y coloración verde oscura o parda (Foto 69c).

La **espodumena** (LiAlSi₂O₆) aparece en cristales prismáticos aplastados con las caras es-triadas, casi exclusivamente en pegmatitas ricas en litio. La *kunzita* es una variedad de color rosado o lila (Foto 69d) que se utiliza como gema, cuyo nombre rinde homenaje al mineralogista y gemólogo americano G.F. Kunz (1856-1932).

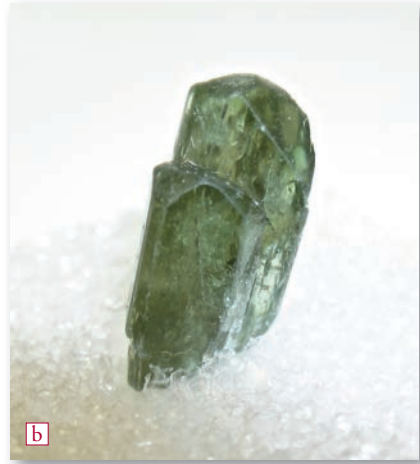


Foto 69. Grupo de los piroxenos

- a) Cristales de augita diseminados en lava del Vesubio, Nápoles, Italia (1 cm arista).
- b) Crecimiento paralelo de cristales prismáticos de diópsido, Rajastán, India (1,4 x 0,8 cm).
- c) Cristales aciculares de aegirina en matriz, Mont Saint-Hilaire, Quebec, Canadá (5 mm longitud).
- d) Monocristal prismático terminado de espodumena rosada (variedad kunzita), Nuristán, Afganistán (5 cm largo).

Los *piroxenoides* son inosilicatos de cadena simple que comparten con los piroxenos la misma relación estequiométrica entre silicio y oxígeno, pero las cadenas estructurales son menos simétricas por lo que cristalizan en el sistema triclinico. Las especies más comunes son rodonita y wollastonita. Otros piroxenoides de interés son pectolita y serandita.

La **rodonita** (MnSiO_3) se presenta en masas granulares de color rosa y, más raramente en cristales tabulares o prismáticos del mismo color y brillo vítreo (Foto 70a). Su origen es metamórfico, hidrotermal o puede estar relacionado con procesos exhalativo-sedimentarios, como es el caso de las mineralizaciones masivas de rodonita de la Faja Pirítica Ibérica, y en particular de la provincia de Huelva.

La **wollastonita** (CaSiO_3) es un mineral típico de los depósitos de skarn donde se forma por metamorfismo de contacto de calizas impuras, junto con diópsido y granates. Se presenta en agregados de cristales prismáticos o columnares entrelazados, y en masas fibrosas radiadas de color blanco brillante (Foto 70b). Recibe su nombre en honor del químico inglés W.H. Wollaston (1766-1828). Los yacimientos de wollastonita más importantes de España se localizan en las proximidades de Aroche (Huelva), Aldea del Obispo (Salamanca) y Mérida (Badajoz).

La **pectolita** [$\text{NaCa}_2\text{Si}_3\text{O}_8(\text{OH})$] tiene un hábito cristalino similar al de la wollastonita. Los cristales son prismáticos alargados, incoloros y transparentes (Foto 70c), y frecuentemente se agrupan en agregados fibrosos radiados de color blanco. Es una fase accesoria en algunas rocas ígneas alcalinas (sienitas nefelínicas), y también se origina por alteración hidrotermal en las cavidades de las lavas basálticas.

La **serandita** [$\text{Na}(\text{Mn,Ca})_2\text{Si}_3\text{O}_8(\text{OH})$] forma una serie isomorfa con pectolita, por sustitución de calcio por manganeso. Los cristales son prismáticos de color rosa salmón (Foto 70d). Se encuentra en pegmatitas y otras rocas de los complejos ígneos alcalinos, como en el monte Saint-Hilaire, cerca de Montreal (Canadá), de donde proceden los mejores ejemplares del mundo.

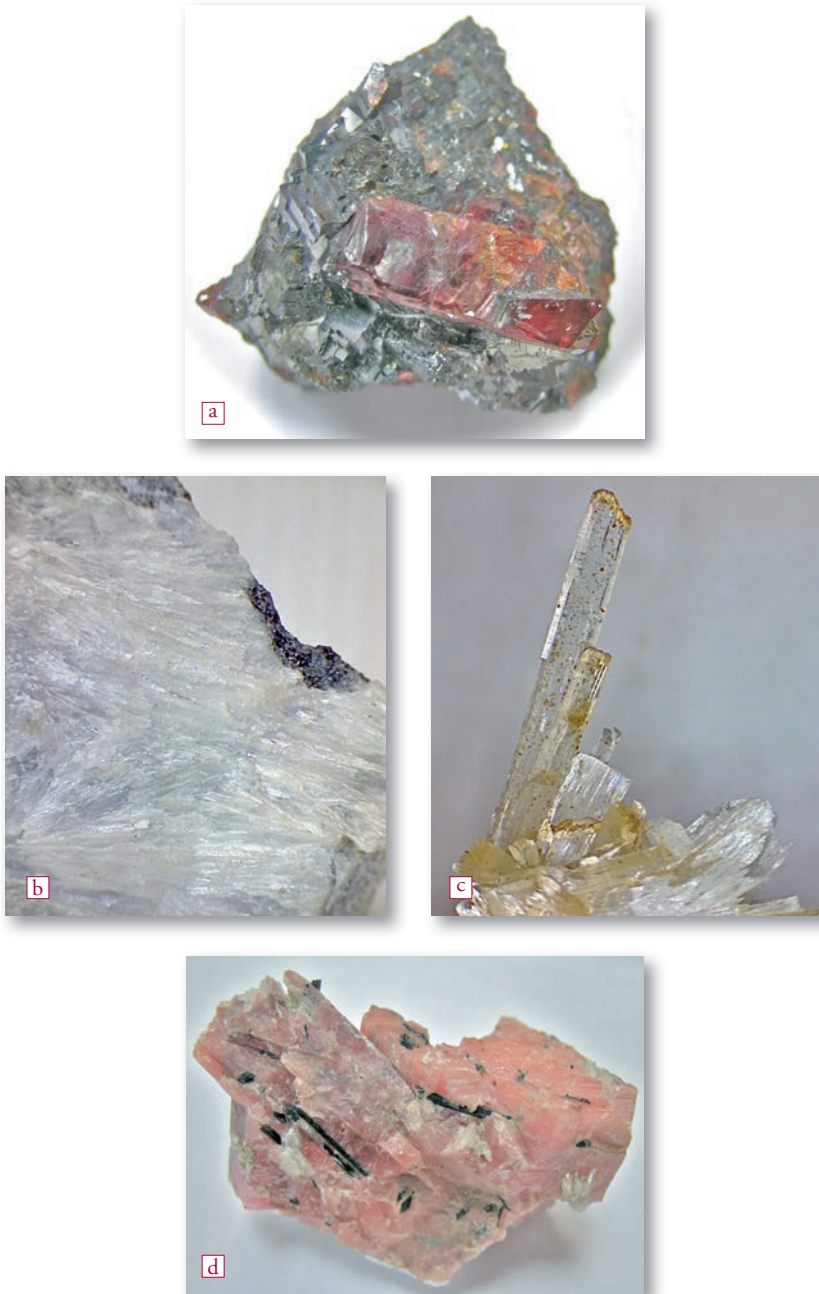


Foto 70. Grupo de los piroxenoides

a) Cristal prismático de rodonita en matriz de galena, Broken Hill, Nueva Gales del Sur, Australia (3 cm arista).

b) Agregados radiados de wollastonita, Mérida, Badajoz (2,3 cm longitud).

c) Cristales prismáticos de pectolita, Asbestos, Quebec, Canadá (1,7 cm longitud).

d) Cristales rosados de serandita con inclusiones aciculares de aegirina, Mont Saint-Hilaire, Quebec, Canadá (5,8 x 3 cm pieza).

De forma análoga con los piroxenos, los inosilicatos del *grupo de los anfíboles* cristalizan en el sistema monoclinico (*subgrupo de los clinoanfíboles*) o rómbico (*subgrupo de los ortoanfíboles*). Los anfíboles monoclinicos son mucho más comunes y, particularmente los clinoanfíboles cálcicos, entre los cuales se encuentran tremolita, actinolita, hornblenda y richterita.

Tremolita $[\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]$ y **actinolita** $[\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]$ forman parte de una serie isomorfa con solución sólida completa entre el término magnésico (tremolita) y el ferroso (ferroactinolita). Son minerales típicos de las rocas metamórficas y metasomáticas. Los cristales tienen formas prismáticas alargadas, y frecuentemente forman agregados fibrosos y columnares radiados, con brillo sedoso. El color es blanco en la tremolita (Foto 71a) y verde claro en la actinolita (Foto 71b).

La **parvo-manganotremolita** $[(\text{Ca},\text{Mn})_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]$ es raro anfíbol cálcico que contiene hasta 7% de manganeso, lo que se traduce en una coloración rosada muy característica (Foto 71c). Fue reconocido como especie mineral en 2004 por la Asociación Internacional de Mineralogía, y hasta el momento sólo se ha encontrado en la mina Arnold (Nueva York, Estados Unidos).

La **hornblenda** $[\text{Ca}_2\text{Mg}_4(\text{Al},\text{Fe})(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH})_2]$ constituye otra serie isomorfa cuyos extremos composicionales se denominan *magnesio-hornblenda* y *ferro-hornblenda*. Se trata de un componente mineralógico esencial en muchos tipos de rocas ígneas (dioritas, granodioritas, etc.) y metamórficas (anfíbolitas). Los cristales son prismáticos alargados (Foto 71d), poseen brillo vítreo y color verde oscuro, lo que permite diferenciarlo de otros anfíboles.

La **richterita** $[\text{Na}_2\text{CaMg}_3\text{Fe}_2(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH})_2]$ se presenta en cristales prismáticos monoclinicos, de color marrón oscuro (Foto 71e), en algunas calizas afectadas por metamorfismo de contacto así como en rocas ígneas alcalinas y carbonatitas. Recibe su nombre en honor del mineralogista alemán T. Richter (1824-1898).

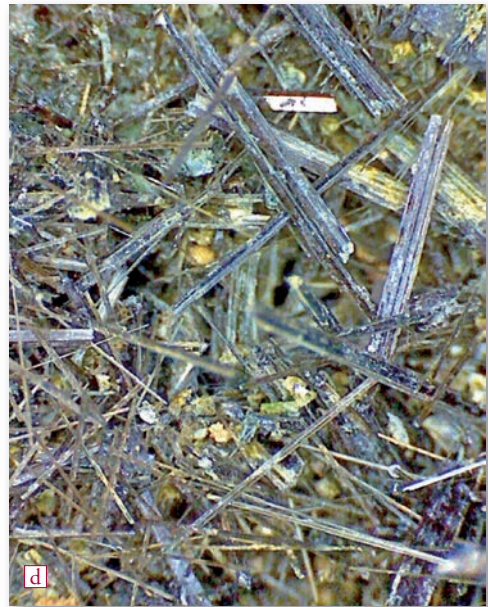


Foto 71. Grupo de los anfíboles

- a) Agregados fibroso-radiados de tremolita, Nerja, Málaga (1,6 cm longitud).
- b) Agregados fibroso-radiados de actinolita, Santa Ana la Real, Huelva (1,5 cm longitud).
- c) Grupo de cristales prismáticos de parvo-manganotremolita, mina Arnold, Nueva York, USA (7 mm arista).
- d) Cristales prismáticos y aciculares de hornblenda, cantera Juanona, Antequera, Málaga (1,1 cm largo).
- e) Monocristal de richterita, Bancroft, Canadá (5,5 x 4 cm).

Algunos inosilicatos tienen estructuras transicionales hacia los filosilicatos, como astrofilita, neptunita y prehnita.

La **astrofilita** $[(K,Na)_3(Fe,Mn)_7Ti_2Si_8O_{26}(OH)_4]$ se caracteriza por sus cristales laminares alargados, de color bronce o dorado, que típicamente forman crecimientos radiados o estrellados (Foto 72a), como indica su nombre (*astron* \approx estrella; *phyllo* \approx hoja). Se encuentra en algunos granitos alcalinos y sienitas nefelínicas. Los mejores ejemplares proceden de la península de Kola (Rusia).

La **neptunita** $[KNa_2Li(Fe,Mn)_2Ti_2Si_8O_{24}]$ es otro raro inosilicato de titanio que cristaliza en prismas negros de sección cuadrada, generalmente bien terminados (Foto 72b). Suele acompañar a benitoíta en los esquistos azules de la cabecera del río San Benito (California, Estados Unidos).

La **prehnita** $[Ca_2Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_2]$ es un mineral secundario que rellena cavidades y fisuras de las rocas volcánicas y subvolcánicas básicas, junto con zeolitas. Normalmente se presenta en agregados globulares de cristales tabulares, de atractivo color verde y brillo vítreo. La cantera Oficarsa, situada en las proximidades de Jaén, ha proporcionado en los últimos años excelentes ejemplares de prehnita (Foto 73).



Foto 72. Otros inosilicatos

a) Agregados estrellados de astrofilita, península de Kola, Rusia (3,5 cm longitud).

b) Grupo de cristales prismáticos de neptunita, Benitoite Gem, California, USA (5,5 x 3,5 cm pieza).



Foto 73. Agregados globulares de prehnita, Carchelejo, Jaén (6,5 x 4,8 cm pieza).

5. FILOSILICATOS

Los filosilicatos presentan estructuras laminares formadas por capas tetraédricas, donde los tetraedros comparten tres vértices entre sí, y capas octaédricas donde se alojan los cationes (principalmente Al, Mg y Fe). Tienen un hábito hojoso o escamoso, y una dirección de exfoliación dominante (exfoliación basal). En general, son minerales blandos y con bajo peso específico. Algunos grupos de filosilicatos están formados por minerales petrogenéticos importantes, como las micas, las cloritas y las serpentinas. Así mismo, pertenecen a esta subclase los minerales de la arcilla (esmectitas, caolinita, sepiolita, etc.), cuyos cristales sólo pueden observarse con un microscopio electrónico.

Las *micas* más abundantes son la **biotita** o mica negra $[K(Mg,Fe)_3(AlSi_3)O_{10}(OH,F)_2]$ y la **moscovita** o mica blanca $[KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH,F)_2]$. Son componentes mineralógicos esenciales en muchos tipos de rocas ígneas (granitos, pegmatitas, etc.) y metamórficas (gneises, micaesquistos, etc.). Se presentan en agregados escamosos u hojosos (Foto 74a,b), y con menos frecuencia en cristales aislados, de apariencia hexagonal o rómbica, con una exfoliación basal perfecta que produce láminas elásticas y flexibles con un intenso brillo de vítreo a perlado.

La **flogopita** $[KMg_3(AlSi_3)O_{10}(OH,F)_2]$ forma una serie isomorfa con biotita por sustitución de magnesio por hierro. Es de color marrón verdoso o pardo amarillento (Foto 74c) y, generalmente, se forma por metamorfismo regional o de contacto de dolomías y calizas impuras, aunque también es común en algunas rocas ultrabásicas.

La **lepidolita** $[K(Li,Al)_3(AlSi_3)O_{10}(OH,F)_2]$ es una mica de litio que aparece en algunas pegmatitas graníticas, junto a turmalina, reconocible por su hábito laminar de contorno hexagonal y su característico color rosa o lila (Foto 74d).

La **zinnwaldita** $[K(Li,Fe,Al)_3(AlSi_3)O_{10}(OH,F)_2]$ es otra mica rara de litio, que aparece en agregados laminares de color gris a marrón claro (Foto 74e) en algunas pegmatitas y filones de cuarzo. Se descubrió en Zinnwald (actualmente Cínovec), una localidad fronteriza entre Alemania y la República Checa.



a



b



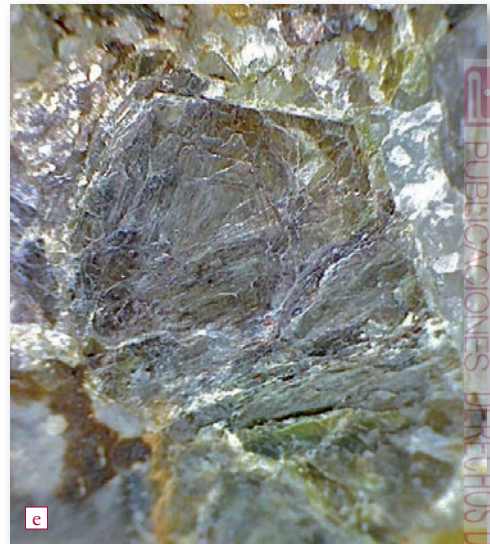
c



d

Foto 74. Grupo de las micas

- a) Agregado hojoso de biotita, Campofrío, Huelva (9 x 6,5 cm).
- b) Agregado laminar de moscovita, Sierra Albarrana, Córdoba (5 cm arista).
- c) Cristal laminar pseudohexagonal de flogopita, Ontario, Canadá (7 cm arista).
- d) Agregado laminar de lepidolita, Mesa Grande, California, USA (2,5 cm arista).
- e) Cristal laminar de zinwaldita, Zinnwald, Alemania (2,6 cm arista).



e

Vermiculita $[(\text{Mg,Fe,Al})_3(\text{Al,Si}_4)\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot x4(\text{H}_2\text{O})]$ es el nombre genérico de un grupo de filosilicatos parecidos a las micas, que tienen la capacidad de dilatarse cuando se calientan bruscamente, debido al escape del agua alojada en los espacios interlaminares. Son un producto de la meteorización química o alteración hidrotermal de las micas ferromagnesianas (biotita y flogopita), y sus principales yacimientos están asociados a rocas ígneas básicas y ultrabásicas. En Santa Olalla del Cala (Huelva) existe una interesante mineralización de vermiculita, con paquetes de láminas de tonos marrones, dorados y verdosos, y dimensiones que superan 10 cm (Foto 75).

Foto 75. Agregado hojoso de vermiculita, Santa Olalla del Cala, Huelva (13 x 11 x 3 cm).



Las *cloritas* $[(\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$ tienen un hábito similar a las micas y se reconocen por su típico color verde con varias tonalidades (Foto 76). Son filosilicatos comunes en las rocas metamórficas de grado bajo (esquistos verdes), y también se forman por alteración de minerales ferromagnesianos (biotita, anfíboles, piroxenos) preexistentes en rocas ígneas máficas.



Foto 76. Cristales laminares pseudohexagonales de clorita, Marbella, Málaga (1,2 cm arista).

Las *serpentin*as más comunes son tres polimorfos de $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ que reciben el nombre de *antigorita*, *crisotilo* y *lizardita*. Estos minerales son muy comunes en las rocas ígneas básicas y ultrabásicas alteradas (serpentinitas), donde se forman por reemplazamiento de olivino rico en magnesio (forsterita).

El *crisotilo* es una serpentina fibrosa debido a un enrollamiento de las láminas estructurales. Las fibras son flexibles, sedosas, y pueden separarse por medios mecánicos, lo que determina su hábito asbestiforme (Foto 77a). Se encuentra en yacimientos filonianos de fibra cruzada o deslizada, es decir las fibras se disponen perpendiculares o paralelas a las paredes de los filones, respectivamente. En cambio, la *antigorita* y la *lizardita* se presentan en masas de grano fino (Foto 77b). Algunos minerales del grupo de la serpentina contienen níquel y se encuentran mezclados formando masas botrioidales de color verde que se denominan *garnierita* (Foto 77c).

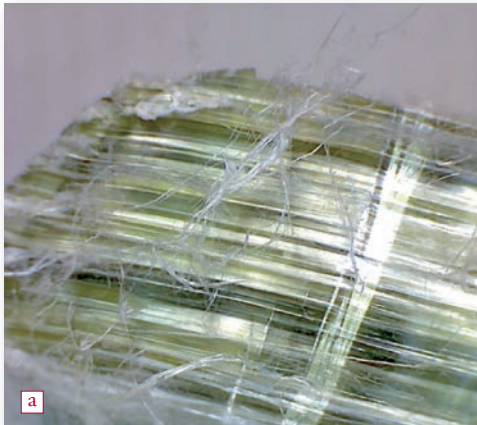


Foto 77. Grupo de las serpentinas

- a) Agregado asbestiforme de crisotilo con marcado brillo sedoso, Thetford, Quebec, Canadá (4 x 2 cm pieza).
- b) Masa botrioidal de lizardita, Bobbio, Piacenza, Italia (6 x 4,5 cm pieza).
- c) Masa botrioidal de garnierita, Numea, Nueva Caledonia, Francia (9 x 7 cm pieza).



Otros filosilicatos más raros, pero que tienen interés como minerales de colección son: apofilita, chapmanita, okenita y crisocola.

La **apofilita** $[(K,Na)Ca_4(Si_4O_{10})_2(F,OH)x8H_2O]$ se presenta en excelentes cristales compuestos por prismas y bipirámides tetragonales, y a veces también con formas pseudocúbicas. Normalmente es incoloro o blanquecino y posee brillo vítreo, si bien en algunas localidades muestra tonalidades pálidas de color rosa, amarillo o verde (Foto 78a). Es un mineral secundario, que normalmente se encuentra rellenando cavidades y vacuolas de las lavas basálticas. Los mejores cristales de apofilita proceden de Poona (India).

La **okenita** $[Ca_{10}Si_{18}O_{46}x18H_2O]$ es otro mineral típico del distrito de Poona (India), que suele encontrarse asociado con apofilita y zeolitas en las vacuolas basálticas, aunque se descubrió por primera vez en la isla de Disko (Groenlandia). Se presenta en agregados globulosos de color blanco formados por cristales fibrosos o aciculares en disposición radial, que le confieren un aspecto inconfundible (Foto 78b).

La **petalita** $(LiAlSi_4O_{10})$ es un mineral de litio que aparece en masas espáticas incoloras o de color rosa pálido (Foto 78c). Su nombre procede de un vocablo griego (*petalon*) alusivo a su exfoliación hojosa. Se encuentra en las pegmatitas graníticas, acompañado de turmalinas y otros minerales de litio como espodumena y lepidolita.

La **crisocola** $[(Cu,Al)_2H_2Si_2O_5(OH)_4 x nH_2O]$ tiene una estructura en capas muy defectuosa o prácticamente amorfa. Se presenta en masas compactas criptocristalinas con fractura concoidea, de color verde o azul con diversas tonalidades (Foto 78d). También se encuentra en nódulos y masas botrioidales o reniformes. Es un mineral supergénico que se origina en la zona de oxidación de los depósitos de cobre, junto con malaquita, azurita y cuprita. Los ejemplares más puros de crisocola, una vez pulidos, se usan como piedra ornamental por su aspecto parecido a la turquesa.

Foto 78. Otros filossilicatos

- a) Cristales prismáticos y pseudocúbicos de apofilita verdosa sobre natrolita, Poona, India (4,3 cm arista cristal mayor).
- b) Agregados globulosos de fibras de okenita, Poona, India (2 cm diámetro).
- c) Masa exfoliada de petalita rosa, mina Rubicon, Erongo, Namibia (5,3 x 3 cm).
- d) Masa compacta de crisocola, mina Twin Buttes, Arizona, USA (14 x 7 cm).



6. TECTOSILICATOS

Los tectosilicatos presentan un armazón tridimensional de tetraedros enlazados, de modo que todos los vértices están compartidos, resultando una relación de coordinación Si:O igual a 1:2 (grupo de la sílice). En muchos tectosilicatos el silicio está parcialmente sustituido por aluminio, lo que permite la entrada de cationes para compensar el exceso de carga negativa, como ocurre en los feldespatos, feldespatoides y zeolitas.

El *grupo de la sílice* (SiO_2) está constituido por el cuarzo y otros polimorfos mucho más raros como tridimita y cristobalita, entre otros. Este grupo se incluye en la subclase de los tectosilicatos atendiendo a criterios estructurales, de acuerdo con la clasificación tradicional de Dana, aunque también puede clasificarse con los óxidos, como establece el esquema de Nickel-Strunz.

El **cuarzo** es uno de los minerales más abundantes de la corteza terrestre y un componente fundamental de algunas rocas metamórficas (cuarcitas), sedimentarias (areniscas) y magmáticas (granitos). No obstante, los cristales mejor formados y de mayores dimensiones se encuentran en las drusas y geodas de los filones hidrotermales y de las pegmatitas graníticas.

Existen muchas variedades de cuarzo según el tamaño y la coloración de los cristales. Las variedades cristalinas suelen mostrar cristales bien formados de grandes dimensiones, con formas prismáticas terminadas en una combinación de romboedros que aparentan una bipirámide hexagonal. Las caras del prisma aparecen estriadas perpendicularmente respecto a la dirección de alargamiento. Las variedades cristalinas (Foto 79) más comunes son: *cuarzo hialino* o *crystal de roca* (incoloro), *amatista* (violeta), *citriño* (amarillo), *hematoide* (rojo), *lechoso* (blanco), *abumado* (pardo o negro), *rosa*, *azul*, etc. Las variedades criptocristalinas reciben el nombre genérico de *calcedonia* (Foto 80), y pueden ser bandeadas como *ágata*, *ónice*, etc., o granulares como *jaspe* (rojo o marrón), *crisoprasa* (verde manzana), *cornalina* (anaranjada), etc. Algunas de estas variedades se usan como gemas o piedras decorativas por sus vistosos colores, transparencia y elevada dureza.



Foto 79. Variedades cristalinas de cuarzo

- a) Cristal bipyramidal de cuarzo hialino (cristal de roca), San Luis Potosí, México (1,5 cm).
- b) Cuarzo rosa masivo, Oliva de Plasencia, Cáceres (9 x 8,5 cm).
- c) Cristales prismáticos biterminados de cuarzo ahumado (morión), Montejúcar, Granada (1,1 cm largo).
- d) Cristal prismático biterminado de cuarzo hematoidal (jacinto de compostela), Chelva, Valencia (1,8 cm largo).
- e) Drusa de cuarzo amatista, Brasil (11 x 5,5 cm).





Foto 80. Variedades criptocristalinas de cuarzo

a) Calcedonia rosada, McDermitt, Nevada, USA (5,5 x 4 cm).

b) Calcedonia verde (crisoprasa), Carboneras, Almería (7,5 x 5 cm).

c) Jaspe rojo manganesífero, Calañas, Huelva (6,6 x 6 cm).

Tridimita y **crystalita** son los polimorfos de alta temperatura de la sílice (SiO_2). Se encuentran en las cavidades de las rocas volcánicas silíceas. La tridimita se presenta en pequeños cristales laminares o tabulares de contorno hexagonal (Foto 81a), y la cristobalita suele presentar crecimientos dendríticos y esferulíticos en ciertos vidrios volcánicos, como la obsidiana (Foto 81b).

El **ópalo** ($\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$) es una fase amorfa o de muy baja cristalinidad compuesta por un apilamiento compacto de esférulas silíceas hidratadas. Se presenta en masas compactas, a veces reniformes, con fractura concoidea y brillo vítreo (Foto 82). Algunas variedades con calidad gema (*ópalo noble*) presentan juego de colores debido a ciertos efectos ópticos. Se origina en ambientes sedimentarios y por alteración de rocas volcánicas ricas en sílice.

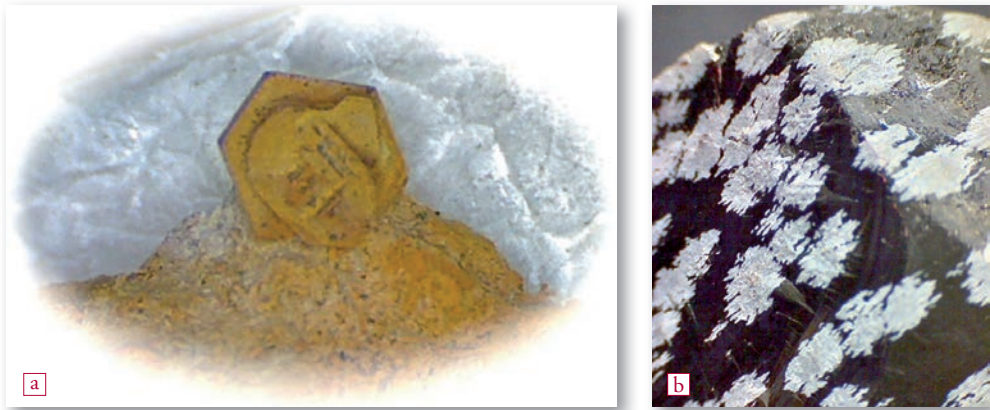


Foto 81. Otros polimorfos de la sílice (SiO_2)

a) Cristal laminar pseudohexagonal de tridimita, Zovon, Padua, Italia (3 mm arista).

b) Inclusiones de cristobalita en obsidiana, localidad desconocida, Estados Unidos (5,5 x 4,8 cm pieza).



Foto 82. Ópalo común, Cabo de Gata, Almería (5,1 x 4,3 cm).

Los *feldespatos* son minerales esenciales en la mayoría de las rocas ígneas y metamórficas, y también son abundantes en los sedimentos y rocas sedimentarias. Tradicionalmente se dividen en dos subgrupos: *feldespatos potásicos* (ortoclasa, microclina y sanidina) y *feldespatos calcosódicos o plagioclasas*.

La **ortoclasa**, más conocida como ortosa, y la **microclina** tienen la misma composición química (KAlSi_3O_8), pero cristalizan en el sistema monoclinico y triclinico, respectivamente. Ambos feldespatos son constituyentes esenciales de granitos, sienitas, gneises, arcosas, etc., si bien los mejores cristales aparecen en las geodas y cavidades de los filones y bolsadas pegmatíticas. Los cristales tienen hábito prismático corto o tabular (Foto 83a), y frecuentemente aparecen maclados (Foto 83b). El color más habitual es blanco o rosa carne. La *adularia* es una variedad incolora y transparente o translúcida de ortoclasa (Fig. 83c), con brillo nacarado, que se encuentra en algunas venas hidrotermales de baja temperatura.

La **sanidina** $[(\text{K},\text{Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ es un feldespato potásico característico de las rocas volcánicas ácidas, como riolitas y traquitas. Cristaliza a altas temperaturas, lo que permite alojar en su estructura algo de sodio en lugar de potasio. Los cristales son monoclinicos y generalmente presentan un hábito tabular (Foto 83d). Se halla en las rocas volcánicas del Cabo de Gata (Almería).

Las *plagioclasas* forman una serie isomorfa cuya composición varía desde la **albita** ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) hasta la **anortita** ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), por solución sólida acoplada de sodio por calcio y silicio por aluminio. La albita se presenta en agregados de cristales tabulares de color blanco (Foto 84), a menudo maclados. Los cristales mejor formados y de mayores dimensiones se encuentran en las pegmatitas graníticas. Los términos más cálcicos de la serie son comunes en las rocas ígneas básicas (basaltos, dioritas, gabros, etc.).



Foto 83. Feldespatos potásicos

- a) Agregado cristalino de microclina, Macizo del Montnegre, Barcelona (8,5 x 6 cm pieza).*
b) Cristal maclado de ortoclase, Zarzalejo, Madrid (2,8 x 1,5 cm).
c) Cristales transparentes de adularia sobre mármol, Carrara, Toscana, Italia (8 mm arista).
d) Agregado cristalino de sanidina, Sierra Almagrera, Almería (8 x 6 cm, pieza).



Foto 84. Agregado de cristales tabulares de albina, Subbachthal, Austria (10 x 7 cm pieza).

Los *feldespatoides* son semejantes a los feldespatos desde el punto de vista químico cualitativo, pero contienen menor proporción de sílice y sus estructuras cristalinas poseen más elementos de simetría. Los feldespatoides más importantes son leucita, nefelina, lazurita y sodalita.

La *leucita* (KAlSi_2O_6) cristaliza en trapezoides de color blanco mate (Foto 85a). Se origina a partir de la cristalización de magmas alcalinos deficientes en sílice, tanto en rocas plutónicas como volcánicas. Los cristales mejores y más abundantes se encuentran en las lavas del Vesubio (Italia).

La *lazurita* ($\text{Na}_3\text{CaAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{S}$) se caracteriza por su típico color azul ultramar (Foto 85b). Se presenta en masas veteadas, con calcita y pirita, que se utilizan como piedra decorativa desde la antigüedad (*lapislázuli*). El lapislázuli de mejor calidad procede del valle del río Kokcha, en Afganistán. Se origina por metamorfismo de contacto entre granitos alcalinos o sienitas y rocas carbonatadas.



Foto 85. Feldespatoides

a) Cristales trapezoédricos de leucita en roca volcánica, Roccamonfina, Campania, Italia (12 x 8 cm pieza; 2 cm cristal).

b) Lazurita masiva de color azul intenso, Kokcha valley, Badakhshan, Afganistán (6,1 x 4,5 cm).

Las *zeolitas* constituyen una importante familia de tectosilicatos, cuyo armazón estructural presenta canales y cavidades de dimensiones moleculares, donde se aloja una cantidad variable de agua. El agua zeolítica puede moverse libremente en el sistema microporoso, participando en reacciones de hidratación-deshidratación e intercambio iónico, que son la base de numerosas aplicaciones industriales. Se conocen más de 50 especies de zeolitas naturales. La mayoría son minerales secundarios que se forman por alteración de rocas volcánicas, aunque también se originan durante la diagénesis profunda y el metamorfismo incipiente. Las zeolitas pueden clasificarse por su hábito en fibrosas y tabulares (Foto 86).

La *natrolita* ($\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\cdot x2\text{H}_2\text{O}$) es una zeolita fibrosa de composición sódica (del latín *natrium*, significa sodio) que se encuentra rellenando las cavidades de los basaltos. La *phillipsita* $[(\text{Na},\text{K},\text{Ca})_{1-2}(\text{Si},\text{Al})_8\text{O}_{16}\cdot x6\text{H}_2\text{O}]$ suele presentarse en agregados esféricos de cristales radiados; recibe su nombre en honor del mineralogista inglés W. Phillips (1775-1828), fundador de la *Geological Society of London*. La *heulandita* ($\text{CaAl}_2\text{Si}_7\text{O}_{18}\cdot x6\text{H}_2\text{O}$) cristaliza en prismas monoclónicos o formas tabulares pseudorrómbicas, de coloración variable y brillo perlado. La *gmelinita* $[(\text{Na}_2,\text{Ca})\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}\cdot x6\text{H}_2\text{O}]$ es una de las zeolitas más raras; sus cristales son tabulares con forma hexagonal, y la coloración más típica es amarillo pálido. La *analcima* ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6\cdot x\text{H}_2\text{O}$) se reconoce por la forma trapezoédrica de sus cristales, por lo general incoloros o blancos y con brillo vítreo.

Finalmente, la *estilbita* ($\text{NaCa}_2\text{Al}_5\text{Si}_{13}\text{O}_{36}\cdot x14\text{H}_2\text{O}$) cristaliza en el sistema monoclónico y generalmente se presenta formando agregados de cristales tabulares, a menudo maclados. Este mineral se descubrió en el siglo XVIII, sin embargo no fue identificado en España hasta 1981, cuando R. Brumos y A. Barrero publicaron una nota en el Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía comunicando su hallazgo en una cantera abandonada próxima a Almonaster la Real (Huelva). La UHU posee un ejemplar de dicha cantera (Foto 87), donado por D. Antonio Barrero, su descubridor y coautor de la mencionada publicación. Se trata de una drusa con agregados radiados y grupos de cristales en forma de haz o gavilla, de color crema y brillo perlado, que alcanzan hasta 1 cm de longitud, acompañados por cristales de melanita (granate negro).



Foto 86. Zeolitas

- a) Drusa de cristales prismáticos alargados de natrolita, Erzgebirge, Sajonia, Alemania (8 x 7,5 cm pieza).
- b) Agregados en forma de gavilla de cristales de estilbita, Jalgaon, Maharashtra, India (5,5 cm cristal).
- c) Agregados de cristales trapezoédricos de analcima, Bosa, Cerdeña, Italia (3 mm cristal).
- d) Agregados radiales de phillipsita, Samsun, Turquía (1 mm cristal).
- e) Cristales tabulares de heulandita cálcica, Val di Fassa, Trentino-Alto Adige, Italia (5 mm cristal).
- f) Cristales hexagonales de gmelinita, de color crema, con natrolita, Skouriotissa, Chipre (3 mm arista).



Foto 87. Estibita de Almonaster la Real, Huelva (17 x 5 cm pieza).

ÍNDICE ALFABÉTICO DE MINERALES

A

acantita, 35
actinolita, 122
adamita, 95
aegirina, 118
albita, 136
alunógeno, 81
analcima, 140
anapaíta, 91
anatasa, 49
andalucita, 103
andradita, 104
anglesita, 77
anhidrita, 79
ankerita, 71
anortita, 136
antigorita, 129
antimonio, 22
antlerita, 84
apatito, 89
apofilita, 130
aragonito, 68
arsenopirita, 35
astrofilita, 124
atacamita, 43
augita, 118
auricalcita, 72
autunita, 93
axinita, 111
azufre, 24
azurita, 72

B

barita, 77
benitoíta, 116
berilo, 115
biotita, 126
bismuto, 22
boleíta, 43
bolivarita, 91
boracita, 75
botriógeno, 81
bournonita, 38
brasilianita, 94
brookita, 49

C

calcantita, 81
calcita, 63
calcopirita, 29
calcosina, 30
calderonita, 101
carnalita, 41
casiterita, 56
celestina, 77
cerusita, 68
chiolita, 47
chorlo, 114
cianita, 103
cinabrio, 31
clorargirita, 43
clorita, 128
cobaltina, 33

cobre, 21

colemanita, 75
columbita, 59
conicalcita, 97
coquimbita, 81
cordierita, 116
corindón, 55
cornetita, 94
coronadita, 58
covellina, 30
criolita, 47
criolitionita, 47
crisoberilo, 56
crisocola, 130
crisotilo, 129
cristobalita, 135
cromita, 53
cuarzo, 132
cuprita, 57

D

datolita, 107
descloizita, 101
diópsido, 118
dioptrita, 116
dolomita, 71
dufita, 97

E

elbaíta, 114
epidota, 109

eritrina, 100
escorodita, 100
esfalerita, 31
esferocobaltita, 65
espinela, 53
espodumena, 118
estaurolita, 107
estibina, 37
estilbita, 140
estroncianita, 68

F

ferberita, 86
flogopita, 126
fluorita, 45
franklinita, 53

G

galena, 31
glauberita, 79
gmelinita, 140
goethita, 61
grafito, 24
greenockita, 31
grosularia, 104

H

halita, 41
halotriquitita, 81
hematites, 52
hemimorfita, 111
heulandita, 140
hidroboracita, 75

hornblenda, 122
hutchinsonita, 38

I

ilmenita, 51
ilvaíta, 111

J

jamesonita, 38
jarosita, 84

K

kinoíta, 111
köttigita, 95
kurnakovita, 75

L

lazurita, 139
legrandita, 95
lepidolita, 126
leucita, 139
linarita, 84
litioforita, 62
lizardita, 129
löllingita, 35
ludwigita, 75

M

magnesita, 65
magnetita, 53
malaquita, 72
manganita, 62
manganotremolita, 122

marcasita, 27
microclina, 136
mimetita, 97
millerita, 33
molibdenita, 35
monacita, 94
moscovita, 126
mottramita, 101

N

natrolita, 140
neptunita, 124
niquelina, 33

O

okenita, 130
olivenita, 97
olivino, 103
ópalo, 135
oro, 21
oropimente, 37
ortoclasa, 136

P

pectolita, 120
pentlandita, 33
petalita, 130
phillipsita, 140
piemontita, 109
pirargirita, 38
pirita, 27
pirolusita, 58
piromorfita, 89

pirrotina, 27

plattnerita, 59

prehnita, 124

proustita, 38

pseudobrookita, 51

R

rejalgar, 37

richterita, 122

rodocrosita, 65

rodonita, 120

roemerita, 81

romanechita, 62

romboclasa, 81

roselita, 100

rutilo, 49

S

sanidina, 136

scheelita, 86

scholzita, 91

schuettetita, 84

senarmontita, 59

serandita, 120

siderita, 65

silvina, 41

skutterudita, 33

smithsonita, 65

szomolnokita, 81

T

tantalita, 59

tefroitita, 104

tennantita, 38

tenorita, 57

tetraedrita, 38

thenardita, 79

thomsenolita, 47

titanita, 107

topacio, 107

torbernita, 93

torianita, 59

tremolita, 122

tridimita, 135

U

uvarovita, 104

V

vanadinita, 101

variscita, 91

vauxita, 91

vermiculita, 128

vesubianita, 111

villiaumita, 45

voltaíta, 81

vonsenita, 75

W

wavellita, 91

willemita, 107

witherita, 68

wolframita, 86

wollastonita, 120

wulfenita, 86

Y

yeso, 80

Z

zincita, 59

zinwaldita, 126

zircón, 107

zoisita, 109

“Patrimonio Mineralógico de la Universidad de Huelva”
se acabó de editar el 3 de Marzo de 2012,
festividad de la Universidad de Huelva,
estando al cuidado de la edición
el Servicio de Publicaciones
de la Universidad de
Huelva

