CAPÍTULO

3

LOS MINERALES DE GALICIA

PARTE II
GEOLOGÍA

CAPÍTULO 3. LOS MINERALES DE GALICIA 110

Stefan Uhlig

1. INTRODUCCIÓN 113
Definiciones 114
La formación de los minerales 119
Clasificaciones de los minerales 123

Rocas metamórficas 241
— Anfibolita 241
— Eclogitas 242
— Granulitas 242
— Calizas 243
— Esquistos y filitas 245
— Gneis 245
— Pizarra 246
— Serpentinitas 261
— Cuarcitas 261
Rocas sedimentarias 262
— Arenas y gravas 262
— Arcillas 264
— Arcillas caoliníferas 264
— Caolín 264
— Turba 268
— Lignitos 268

1. INTRODUCCIÓN

Los minerales son cuerpos homogéneos, compuestos por combinaciones químicas o elementos, que forman la corteza terrestre. La Mineralogía es la ciencia que se ocupa de la descripción y el análisis de los minerales, sus formas, propiedades físicas y químicas, composición, origen, empleo y distribución. Este trabajo sobre los minerales de Galicia se considera como introducción a la descripción y distribución de los minerales que yacen en Galicia formando su suelo y subsuelo.

Es bien sabido que las rocas, cualquiera que sea su origen: ígneo, sedimentario o metamórfico, están consti-

Cuadro 1

Equivalencia entre símbolos y elementos químicos

Símbolo	Elemento	Símbolo	Elemento	Símbolo	Elemento
Ac	Actinio	Ge	Germanio	Pm	Promecio
Ag	Plata	H	Hidrógeno	Po	Polonio
Al	Aluminio	Ha	Hahnio	Pr	Praseodimio
Am	Americio	He	Helio	Pt	Platino
Ar	Argón	Hf	Hafnio	Pu	Plutonio
As	Arsénico	Hg	Mercurio	Ra	Radio
At	Ástato	Ho	Holmio	Rb	Rubidio
Au	Oro	I	Yodo	Re	Renio
B	Boro	In	Indio	Rh	Rodio
Ba	Bario	Ir	Iridio	Rn	Radón
Be	Berilio	K	Potasio	Ru	Rutenio
Bi	Bismuto	Kr	Criptón	S	Azufre
Bk	Berkelio	Ku	Kurchatovio	Sb	Antimonio
Br	Bromo	La	Lantano	Si	Silicio
C	Carbono	Li	Litio	Sc	Escandio
Ca	Calcio	Lu	Lutecio	Se	Selenio
Cd	Cadmio	Lw	Lawrencio	Sm	Samario
Ce	Cerio	Md	Mendelevio	Sn	Estaño
Cf	Californio	Mg	Magnesio	Sr	Estroncio
Cl	Cloro	Mn	Manganeso	Ta	Tántalo
Cm	Curio	Mo	Molibdeno	Tb	Terbio
Co	Cobalto	N	Nitrógeno	Tc	Tecnecio
Cr	Cromo	Na	Sodio	Te	Telurio
Cs	Cesio	Nb	Niobio	Th	Torio
Cu	Cobre	Nd	Neodimio	Ti	Titanio
Dy	Disprosio	Ne	Neón	Tl	Talio
Er	Erbio	Ni	Niquel	Tm	Tulio
Es	Einstenio	No	Nobelio	U	Uranio
Eu	Europio	Np	Neptunio	V	Vanadio
F	Flúor	O	Oxígeno	W	Wolframio
Fe	Hierro	Os	Osmio	Xe	Xenón
Fm	Fermio	P	Fósforo	Y	Itrio
Fr	Francio	Pa	Protactinio	Yb	Iterbio
Ga	Galio	Pb	Plomo	Zn	Cinc
Gd	Gadolinio	Pd	Paladio	Zr	Circonio

◄ *Cristales de cuarzo que provienen del dique de San Xoán de Fecha. Santiago. Facultad de Farmacia. Universidad de Santiago de Compostela.*

Cuadro 2

Proporción de los elementos que constituyen las rocas de nuestro planeta, calculada por Clark en 1924

Elemento	%	Elemento	%
Oxígeno	46'59	Circonio	0'026
Silicio	27'72	Níquel	0'020
Aluminio	8'13	Estroncio	0'019
Hierro	5'01	Vanadio	0'017
Calcio	3'63	Cerio e Itrio	0'015
Sodio	2'85	Cobre	0'010
Potasio	2'60	Uranio	0'008
Magnesio	2'09	Wolframio	0'005
Titanio	0'63	Litio	0'004
Fósforo	0'13	Cinc	0'004
Hidrógeno	0'13	Tántalo	0'003
Manganeso	0'10	Hafnio	0'003
Azufre	0'052	Torio	0'002
Bario	0'050	Plomo	0'002
Cloro	0'048	Cobalto	0'001
Cromo	0'037	Boro	0'001
Carbono	0'032	Berilio	0'001
Flúor	0'030		

tuidas por una mezcla de especies minerales. Para determinar la cantidad o proporción de los elementos que combinados constituyen las rocas de nuestro planeta, y con ellos los minerales que forman las rocas, se han practicado en los laboratorios de todo el mundo, con rocas de todas partes, los análisis respectivos. Ya en el año 1924, Clark calculó la cantidad correspondiente a los elementos que se recogen en el cuadro 2. Tomando cinco mil de estos análisis, su promedio de composición cuantitativa es el que aparece en el cuadro.

Como se puede notar claramente al revisar esta lista, sin discutir la actualidad de los datos, la distribución y la abundancia regional de las rocas, la mayoría de éstas (y de los minerales) deben componerse sobre todo de oxígeno, silicio, aluminio y otros componentes mayores y menores. En efecto, la mayoría de los minerales que forman la corteza terrestre son silicatos compuestos de sílice, aluminio, oxígeno y otros elementos como magnesio, calcio, sodio, potasio y hierro.

DEFINICIONES

De los miles de minerales que existen en el mundo se van a describir y discutir los minerales más importantes de que constan las rocas y los sedimentos del subsuelo gallego, los minerales que pueden entrar en contacto con nosotros habitualmente, y los minerales de

Aspecto microscópico de una biotita marrón y calcitas incoloras en lámina delgada.

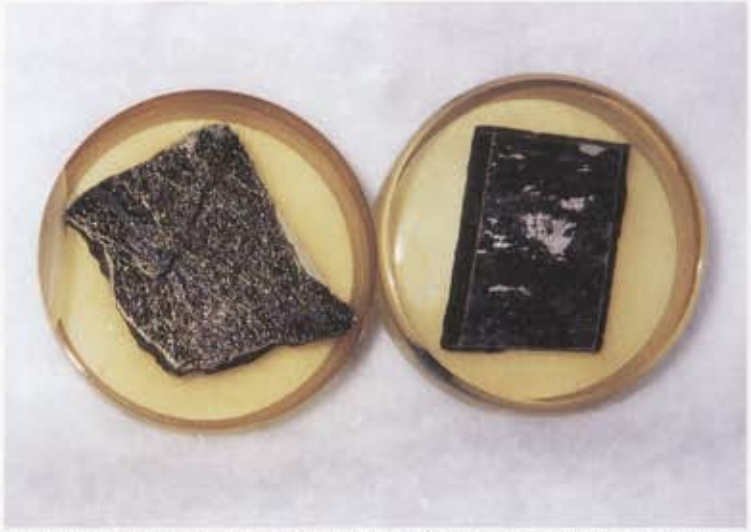
interés económico para Galicia. Normalmente en Galicia los minerales no presentan un aspecto tan espectacular como lo que se conoce de las colecciones y exposiciones de minerales en las joyerías, museos o revistas, con sus preciosas formaciones de cristales provenientes de los paraísos mineralógicos de ultramar. Con algunas excepciones, los minerales se presentan normalmente de forma grosera, brusca a la vista, o escondidos en el mundo microscópico. En este trabajo se intenta presentar los minerales de Galicia como se exhiben en su entorno natural.

Desde las primeras descripciones de yacimientos de minerales en Galicia realizadas por Guillermo Schultz en 1835 han pasado unos 170 años; y de los muchos trabajos de los científicos, investigadores y mineros tenemos un inventario de los minerales de Galicia muy amplio pero disperso. Gran parte del conocimiento de los minerales de Galicia se debe a los numerosos trabajos de Isidro Parga Pondal, que dedicó su vida al estudio y conocimiento de la geología de Galicia.

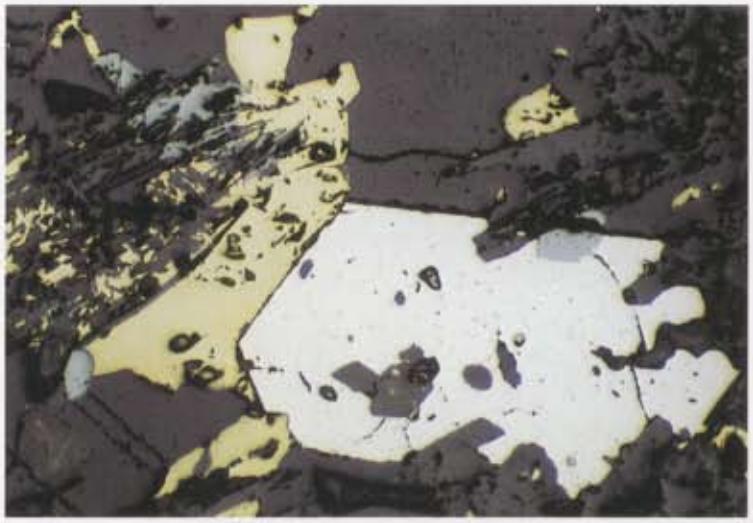
En los últimos dos siglos se han abierto y cerrado muchas canteras, zanjas, minas a cielo abierto y galerias subterráneas, sondeos, carreteras, etc., por parte del hombre en la búsqueda de minerales o para mejorar la comunicación urbana. Si comparamos el subsuelo gallego con un cuerpo vivo, estas labores eran como heridas que se han curado con el tiempo, por la erosión y por la vegetación, que es muy activa en Galicia. Eso hay que recordar cuando uno se mete por las huellas borradas de algunos indicios de los minerales descritos.

Cuando se despierta el interés en los minerales, pronto llega la pregunta ¿qué minerales hay y cómo se pueden identificar? Para la identificación de los minerales existen varios métodos apropiados: desde utilizar equipos analíticos específicos hasta la determinación óptica, con medios ópticos o sin ellos, a simple vista. Para los científicos y los especialistas el reconocimiento de los minerales gracias a sus propiedades ópticas es, sin duda, el método más usado. Los métodos microscópicos más frecuentes para el estudio de los minerales son el método de inmersión de líquidos densos, el estudio de láminas delgadas y el estudio de secciones pulidas.

El estudio de los minerales en forma de granos sueltos en una inmersión de líquidos densos es un método rápido y simple para identificar minerales no opacos. Se utiliza una serie de diferentes líquidos densos comparando la propiedad óptica del mineral, bajo el microsco-



Preparados de láminas pulidas. A la izquierda, mena de calcopirita; a la derecha, esquisto mineralizado de pirita.



Aspecto microscópico de una mena opaca en lámina pulida (calcopirita amarilla y magnetita blanca).

Minerales pesados bajo el microscopio binocular (por ejemplo, granates rosados y rutilos marrones).

Figura 1

Difractograma de una mezcla de minerales

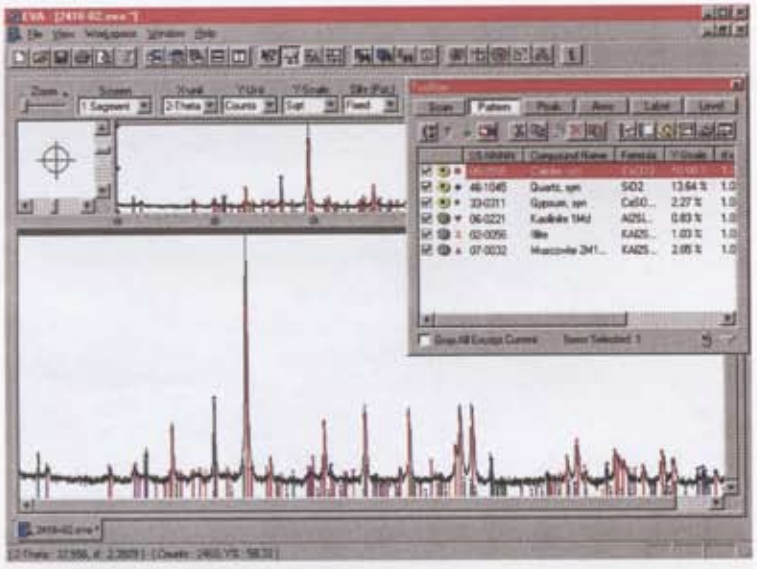
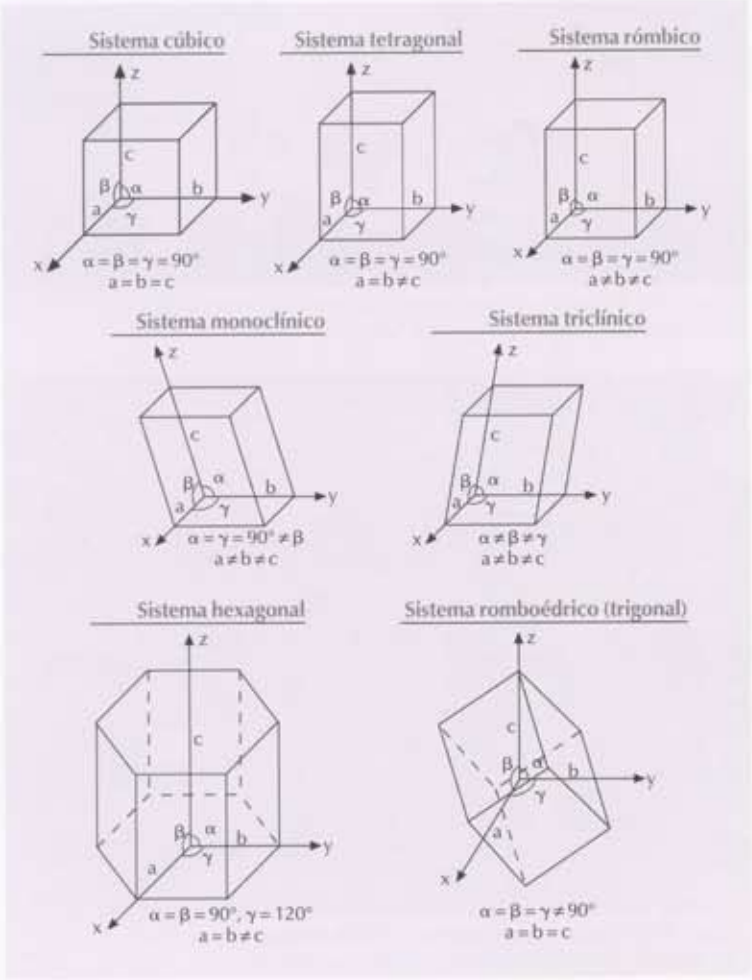


Figura 2

Esquema de los siete sistemas cristalinos

Fuente: Broche, J. *et al.*, 1977



pio, con el fin de delimitar las alternativas posibles. Para el examen de minerales y rocas en lámina delgada, se corta una sección fina de la muestra y se pule hasta llegar a un espesor inferior a 0'1 milímetro. Las características ópticas de los minerales no opacos se estudian en microscopia por transparencia en lámina delgada; las de minerales opacos en luz reflejada en lámina pulida. Un aumento de un factor 100 a 150 es típico en estos métodos.

Otro método microscópico es el examen por un microscopio binocular. Aquí se observan los minerales con un aumento de un factor de 10 a 20. El binocular es más económico que un microscopio, require menos infraestructura de laboratorio y se usa ampliamente en el estudio de residuos insolubles, granos detríticos y fragmentos de rocas.

Entre los equipos analíticos específicos para el examen de los minerales destacan el difractómetro por rayos X y la microsonda (o microscopio electrónico). El método de la difracción por rayos X es un método físico para la determinación cualitativa y cuantitativa de minerales y menas. Hoy en día es el método más instrumentalizado y automatizado.

Pero en el campo, o mejor dicho en la naturaleza donde nos encontramos los minerales, no tenemos a nuestra disposición, normalmente, ni un instrumento analítico ni un microscopio. Por eso es importante poder reconocer e identificar los minerales macroscópicamente, es decir, a simple vista, sin rechazar algunos medios simples, como por ejemplo una lupa, un cuchillo, un trozo de porcelana, etc. Con este trabajo se pretende facilitar las características macroscópicas más importantes de los minerales que se pueden encontrar en Galicia.

Para la descripción e identificación macroscópica de los minerales se utilizan términos definidos y utilizados por los aficionados y especialistas de Cristalografía, Geología, Mineralogía y Petrología. Los más importantes de éstos se explican a continuación. El principio más básico es que todas las propiedades que presentan los minerales dependen de la estructura de su red cristalina —la celdilla—, unidad que se explica con más detalle al analizar la forma de los minerales.

•Color. El color de un mineral depende mucho de su apariencia, si se presenta en forma de cristales perfectos, masa compacta o pulverulenta. Aquí, siempre se refiere al aspecto macroscópico. El color quizás sea la propiedad más intuitiva que se puede observar en los

minerales. Cuando un cuerpo (un mineral, un cristal, polvo, etc.) elimina por absorción un cierto color del espectro de la luz blanca transmitida (por ejemplo, el rojo), nuestros ojos recogen lo que queda —el color complementario (en este caso, el verde)—.

•**Forma.** Un mineral es un agrupamiento tridimensional de pequeños cristalitos. Las caras de un cristalito determinado se relacionan con la estructura atómica fundamental de acuerdo con reglas fijas. La construcción de un cristal se basa en la multiplicación, también tridimensional, de la célula elemental. Todas las formas básicas de las células elementales de todos cristales pueden relacionarse con uno de los siete sistemas cristalinos: cúbico, tetragonal, hexagonal, trigonal (o romboédrico), rómbico, monoclínico y triclínico.

La célula sencilla primitiva del sistema cúbico es, como lo hace suponer el nombre, un cubo con todos los cantos de igual longitud. En el sistema tetragonal el cubo ya no es un cubo, sino un romboedro con un cuadrado de base. Aplastando la base cuadrada del romboedro, hasta llegar a una base de forma de paralelogramo de 120° (y 60°), estamos en el sistema hexagonal (porque con tres de estos paralelogramos se puede formar un hexágono). Cuando la base del romboedro ya no es cuadrada sino un rombo, la célula sencilla primitiva pertenece al sistema rómbico. En el sistema monoclínico el romboedro está inclinado hacia una dirección, siendo la base todavía un rombo. En el sistema triclínico el romboedro está inclinado hacia dos direcciones, y la base ya no es un rombo sino un paralelogramo. Por último, falta el sistema trigonal (o romboédrico): en él la célula sencilla primitiva es un cubo aplastado con todos los cantos de igual longitud pero sin ningún ángulo recto.

En las tablas que describen los minerales, el sistema cristalino se denomina simplemente "forma". Según la disposición de las células elementales, existen unos 230 grupos espaciales, agrupados en 32 clases cristalinas. De estos grupos y clases se ocupa muy detalladamente la

Seudomorfismo de una hematita copiando el hábito cúbico de una pirita.

Figura 3

Estructura cúbica de la halita (o sal de roca)
Fuente: Liber, W., 1969

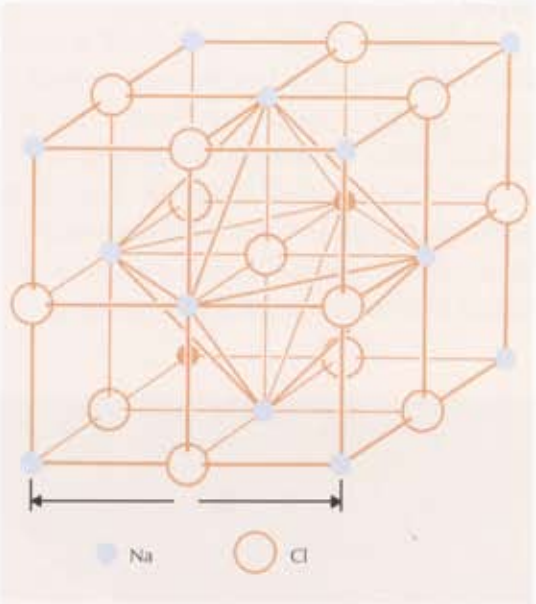
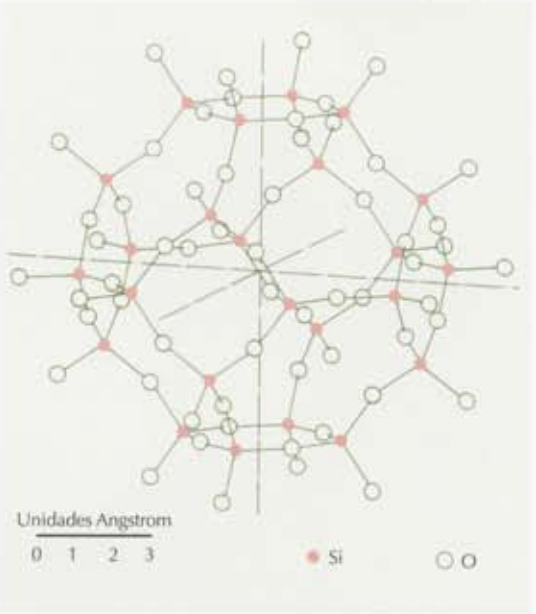


Figura 4

Estructura trigonal (o romboédrica) del cuarzo
Fuente: Galán y Mirite, 1979



Cristalografía, que es el estudio de la estructura y las propiedades de los cristales, en lo que no se va a profundizar aquí.

Pertenecer a una forma específica, o sistema cristalino, caracteriza a un mineral. Sin embargo, el investigador puede seguir una pista equivocada cuando un mineral sustituye paulatinamente a otro mineral por procesos de metamorfismo o alteración, y conserva, no obstante, la forma del cristal originario. Este efecto se llama seudomorfismo. Se dará un ejemplo de seudomorfismo de óxidos de hierro (**hematita**) que han sustituido a un cubito de pirita.

•**Exfoliación.** La exfoliación es la más o menos desarrollada propiedad de los minerales de romperse, o de presentar grietas, según caras planas de posición simétrica definida. Los planos de exfoliación son invariablemente paralelos a posibles caras del cristal o de la célula elemental que se "calcan" hasta la superficie del mineral. Por eso la exfoliación revela el secreto cristalográfico y contribuye a la identificación de un mineral.

•**Dureza.** La dureza de un mineral es la resistencia que ofrece una superficie lisa de un mineral a ser rayada. Para averiguarla, se compara con la que presentan los minerales de la escala de Mohs (en honor del mineralogista Friedrich Mohs —Viena, 1812—, que la desarrolló). Es una escala relativa, pero práctica; o, mejor dicho, practicable en el campo. El mineral rayado es más blando que el otro. En el cuadro 3 se presenta también la dureza "al rectificado" como método más técnico.

•**Peso específico.** Cuerpos de sustancias diferentes pero de igual volumen pueden tener pesos diferentes. La densidad es la cantidad de masa que contiene la unidad de volumen de la sustancia. El peso específico es el peso de la materia. La unidad es el peso en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3). El peso específico o la densidad relativa de los minerales es muy variable. El cobre, hierro, cobalto, plomo, wolframio, estaño, etc., son elementos pesados cuyos minerales tienen un peso específico alto.

•**Raya.** La prueba de la raya es muy sencilla, pero efectiva para identificar un mineral. Se basa en que con

La calcita presenta una exfoliación bien desarrollada con ángulos de 75°. En la imagen, calcita con óxido de hierro e inclusión de pirita.

un mineral coloreado se traza una raya bajo presión, no demasiado leve, sobre una superficie áspera, preferentemente una tabla de porcelana áspera sin vidriar (por ejemplo: la parte inferior de una taza de vino). El color de la raya, o el color que los minerales presentan cuando están en polvo, no necesariamente corresponde al color del mineral como lo vamos a ver.

•**Brillo.** El brillo es el aspecto que presenta la superficie de un mineral cuando refleja la luz. Puede ser muy variable y algunos minerales tienen un brillo característico que ayuda a identificarlos. Tipos de brillo son, entre otros, el sedoso, el nacarado, el graso, el metálico, el vítreo y el diamantino.

•**Propiedades especiales.** Otras propiedades características son el magnetismo (por ejemplo: **magnetita**), la radiactividad (por ejemplo: **monacita** y **ortita**) y la conductividad. Los metales nativos, los **sulfuros**, el **grafito** y algunos óxidos son buenos conductores.

•**Afloramiento.** El afloramiento, o aflorar, es un término geológico corriente y significa un lugar en el que asoma a la superficie del terreno una roca, un estrato, un yacimiento o una masa de un mineral.

•**Criadero.** Por criadero mineral se entiende la acumulación o concentración natural, dentro o fuera de la superficie del terreno, de uno o más minerales valiosos, cuya explotación y utilización industrial puede ser factible.

•**Yacimiento.** En general, un yacimiento es un lugar donde se encuentra un mineral. En el sentido estricto, se restringe a una acumulación o concentración de minerales útiles que puede ser explotada económicamente. Un criadero es un yacimiento específico, un filón mineralizado de minerales o menas.

LA FORMACIÓN DE LOS MINERALES

Los minerales se forman por cristalización a partir de un fundido de soluciones y vapores, o por interacción de gases, soluciones, o la combinación de ambos procesos sobre los materiales de la corteza terrestre. Ésta está sometida a cambios constantes, en tiempos geológicos de varios millones de años, por la acción conjunta de los procesos geodinámicos que forman montañas nuevas y que hace desaparecer los océanos. Estos procesos, que se van a describir en detalle, hacen nacer también diversas rocas bien definidas por sus constituyentes minerales.

Cuadro 3

Dureza de los minerales

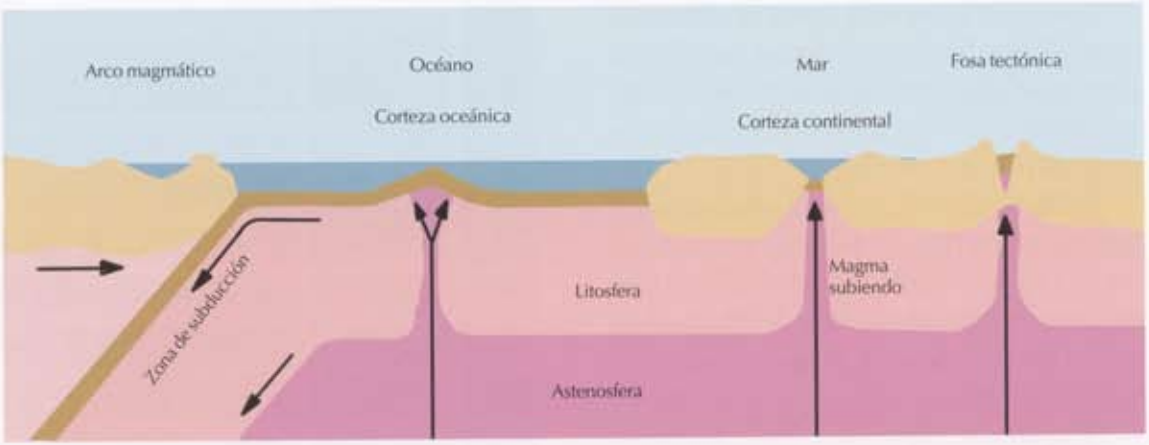
Escala de Mohs	Mineral de referencia	Prueba práctica	Dureza al rectificado según Rosiwal
1	Talco	Se raspa con la uña	0'003
2	Yeso	Se raya con la uña	1'25
3	Calcita	Se raya con una moneda de cobre	4'5
4	Fluorita	Se raya fácilmente con el cuchillo	5
5	Apatito	Se raya con el cuchillo	6'5
6	Ortoclasa	Se raya con la lima	37
7	Cuarzo	Se raya con el vidrio	120
8	Topacio	Se raya con el cuarzo	175
9	Corindón	Se raya con el topacio	1.000
10	Diamante	No se puede rayar	140.000

Existen tres tipos esenciales de rocas de la corteza terrestre: las sedimentarias, las metamórficas y las magmáticas. Estos tres grupos de rocas tienen su característico inventario de minerales y menas metálicas. Las rocas magmáticas, o magmatitas, se originan del magma, que es un flujo rocoso que se encuentra en las zonas más profundas de la corteza y en el manto terrestre. Las rocas eruptivas o volcanitas son rocas magmáticas que llegan a la superficie terrestre por actividad volcánica. En caso de quedarse atascadas en la corteza, solidificándose en una profundidad de varios kilómetros debajo de la superficie, se denominan rocas intrusivas o plutónicas. Las rocas sedimentarias, o sedimentitas, se forman por procesos de sedimentación de los materiales rocosos, orgánicos o químicos, procedentes de las montañas meteorizadas, en llanuras, cuencas, mares y océanos.

Por los procesos geodinámicos, las rocas sedimentarias y magmáticas pueden ser sumergidas en el interior de la corteza, sufriendo transformaciones desde ligeras hasta muy extremas por los cambios de temperatura y de presión entre la superficie y zonas muy profundas de la Tierra. La temperatura se eleva, por término medio, en unos 30 °C y la presión en unas 250-300 atmósferas por cada kilómetro de profundidad. En la parte inferior de la corteza (por ejemplo: en una profundidad de unos 20 kilómetros), las rocas empiezan a refundirse parcialmente a temperaturas por encima de los 600-700 °C, produciendo finalmente un magma que puede originar nue-

Figura 5

Esquema de la tectónica de placas y de la formación de montañas

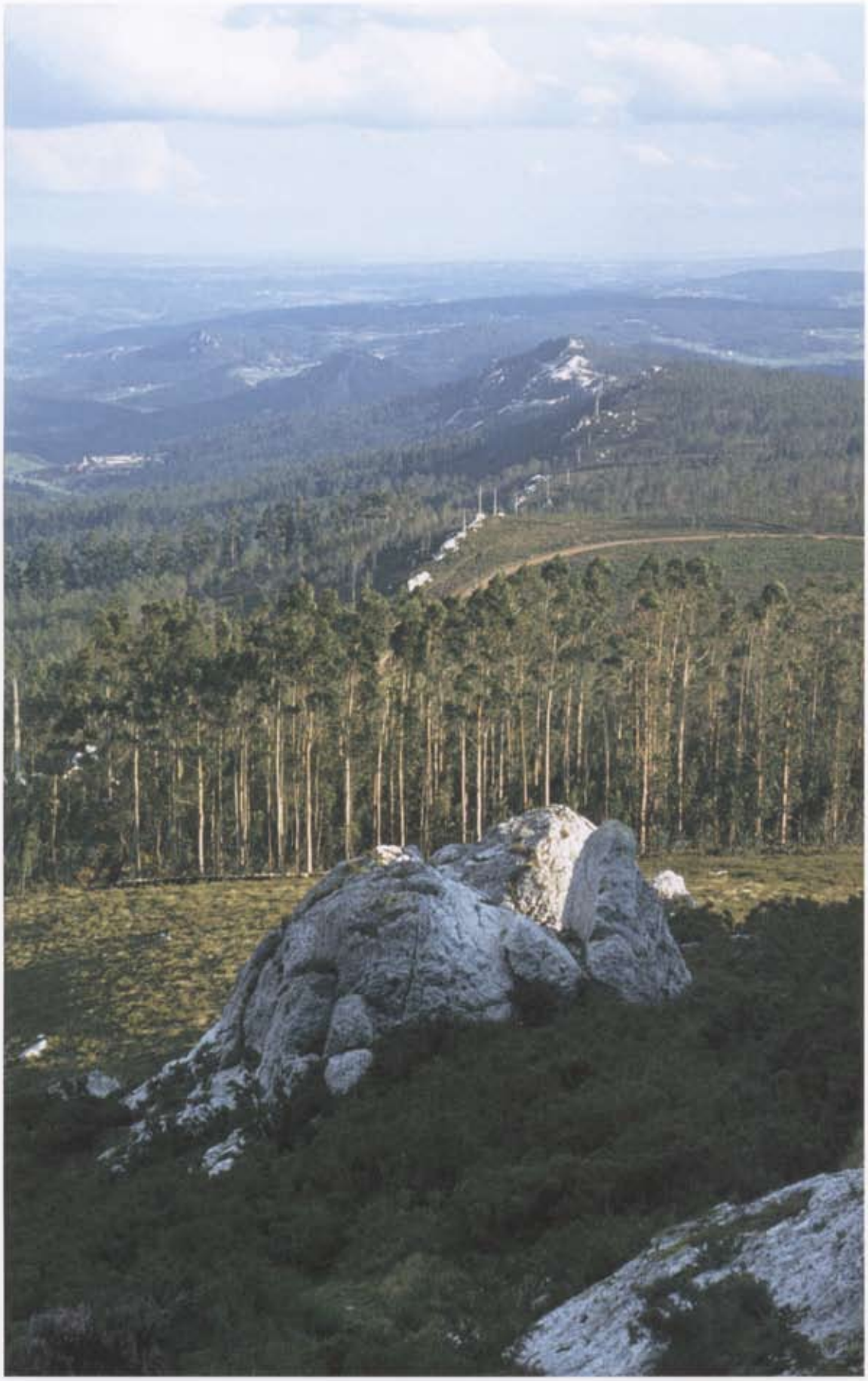


vas rocas magmáticas. Las rocas que se forman, o mejor dicho transforman, por estos procesos y fenómenos de cambio de temperatura y presión se llaman metamórficas o metamorfitas. En la continuación de la formación de montañas, las rocas metamorfizadas pueden también subir de nuevo hacia la superficie de la corteza terrestre, donde se encuentran en la actualidad. Se han estudiado rocas metamórficas que sufrieron varias fases de metamorfismo por repetidos procesos de sumersión y emersión en la corteza.

Por las muy altas temperaturas que existen en la parte inferior de la corteza y el manto terrestre, esta parte de nuestro planeta está compuesta por un flujo rocoso de óxidos de los elementos de silicio, aluminio, magnesio y hierro en su mayoría. Estos flujos rocosos, los magmas, tienen su origen en el manto superior o en la fusión parcial o total de rocas de la corteza. Los magmas consisten en la fase sólida, el líquido magmático y los elementos volátiles. Por los procesos geodinámicos, los magmas pueden ascender a la superficie formando las rocas magmáticas. Cuando los magmas ascienden a través de fracturas de la corteza, se enfrían y empieza su cristalización. El magma no solidifica a una temperatura dada o fija, sino que los minerales cristalizan escalonadamente durante un intervalo entre unos 1.200 y 700 °C. A este fenómeno se le denomina cristalización fraccionada.

Primero cristalizan los minerales de punto de fusión más elevado, dando lugar a la masa principal de la roca ígnea. Separados los minerales de la fase anterior, queda un líquido magmático pobre en elementos ferromagnesianos y enriquecidos en volátiles, a relativamente alta temperatura y con una tensión de vapor considerable que favorece su inyección en grietas y fracturas. Esta fase líquida constituye la etapa pegmatítico-neumatolítica, en la que cristalizan minerales de punto de fusión inferior a los 600-700 °C. Finalmente, cuando el enfriamiento está ya muy avanzado, debajo de los 400 °C, y han cristalizado la mayor parte de los elementos, queda una fase líquida residual que constituye la etapa hidrotermal, que es una solución acuosa con gran cantidad de sílice. Las principales menas de Cu, Pb, Zn, Co, Ag, Au, Hg, Ge, Te, Mo, Bi, etc., junto con minerales industriales como **fluorita**, **baritina**, **cuarzo**, etc., caracterizan los depósitos hidrotermales.

Por su composición química y su origen, las rocas magmáticas se pueden diferenciar en dos grandes grupos. Las magmatitas básicas son rocas compuestas por minerales ricos en magnesio y hierro y pobres en silicio. Se forman en la corteza inferior y en la parte superior del manto, y son normalmente más oscuras que las magmátitas del segundo grupo. Éstas son las rocas ácidas cuyos minerales son ricos en silicio. Las rocas ácidas se forman preferentemente en la corteza terrestre; se separan del magma más básico por cristalización fraccionada o por los procesos metamórficos refundiendo las rocas sumergidas de zonas superiores de la corteza terrestre. Los granitos o rocas granitoides son típicas rocas magmáticas ácidas. Durante la diferenciación del magma granítico por cristalización fraccionada los elementos incompatibles se concentran en el fundido residual. Las fases pegmatítico-neumatolíticas graníticas son ricas en Si, Al, Ca y alcalinos, formando **feldespatos**, **cuarzo** y **moscovita**, y los elementos incompatibles, como Li, Be, B, F, Rb, Cs, Mo, Zr, Hf, Nb, Sn, Ta, W, Th, U.



O Pico Sacro es parte de un sistema de grietas gigantescas de más de cien kilómetros de longitud que se rellenó de cuarzo. Boqueixón, A Coruña.

Clasificación químico-estructural simplificada según Strunz (1941)

Clase I: Elementos (aleaciones, carburos, nitruros, fosfuros)	
A: Familia de los metales y aleaciones intermetálicas	
1: Grupo del cobre	(cobre y oro nativo)
2: Grupo del mercurio y amalgama	
3: Grupo del estaño y plomo	
4a: Grupo del hierro	
4b: Grupo del níquel	
5a: Grupo del osmio	
5b: Grupo del platino	(platinoides)
B: Familia de los semimetales y metaloides	
1: Grupo del arsénico	
2: Grupo del carbono	(grafito)
3: Grupo del azufre y seleno	
Clase II: Sulfuros (selenuros, telururos, arseniuros, antimoniuros, bismutidos)	
A: Familia de los sulfuros con metal : azufre > 1:1	(calcosina, bornita)
B: Familia de los sulfuros con metal : azufre = 1:1	(blenda, calcopirita)
C: Familia de los sulfuros con metal : azufre < 1:1	(antimonita, pirita)
D: Familia de los sulfuros complejos (sulfosales)	(berthierita, bournonita)
Clase III: Haluros	
A: Familia de los haluros simples	(fluorita)
B: Familia de los haluros dobles	
C: Familia de los oxihaluros	
Clase IV: Óxidos e hidróxidos	
A: Familia de los óxidos M(etal)O y M_2O	(cuprita)
B: Familia de los óxidos M_3O_4	(espinelas)
C: Familia de los óxidos M_2O_3	(ilmenita, corindón)
D: Familia de los óxidos MO_2	(rutilo, columbita)
G: Familia de los arsenitos, selenitos, teluritos y yodatos	(espinelas)
Clase V: Nitratos, carbonatos y boratos	
Va: Nitratos	
Vb: Carbonatos	(calcita, malachita)
Vc: Boratos	
Clase VI: Sulfatos (cromatos, molibdatos y wolframatos)	
A: Familia de los sulfatos anhidros sin aniones ajenos	(baritina)
B: Familia de los sulfatos anhidros con aniones ajenos	
C: Familia de los sulfatos hidratados sin aniones ajenos	(anhidrita)
D: Familia de los sulfatos hidratados con aniones ajenos	
E: Familia de los cromatados	
F: Familia de los molibdatos y wolframatos	(scheelita)
Clase VII: Fosfatos, arseniatos y vanadatos	
A: Familia de los anhidros sin aniones ajenos	(monacita, xenotima)
B: Familia de los anhidros con aniones ajenos	(ambligonita, apatita)
C: Familia de los hidratados sin aniones ajenos	(vivianita, variscita)
D: Familia de los hidratados con aniones ajenos	(evansita)
Clase VIII: Silicatos	
A: Familia de los silicatos aislados (nesosilicatos)	(olivinos, granates)
B: Familia de los silicatos en grupos (aeroorosilicatos)	(epidota, zoisita)
C: Familia de los silicatos en anillos (ciclosilicatos)	(berilo, turmalino)
D: Familia de los silicatos en cadenas (inosilicatos)	(piroxenos, anfiboles)
E: Familia de los silicatos en hojas (filosilicatos)	(serpentina, micas)
F: Familia de los silicatos en andamiaje (tectosilicatos)	(feldespatos, plagioclasas)
Clase IX: Sustancias orgánicas	
A: Familia de las sales de ácidos orgánicos	
B: Familia de los hidrocarburos	
C: Familia de las resinas	

Debajo de los océanos, por ejemplo en el centro del Atlántico, la corteza océanica tiene poco espesor (unos pocos kilómetros) y el magma alcanza incluso el fondo del mar, formando los basaltos. Éstos son de composición básica y tienen un color que va de verde oscuro a negro. Se componen fundamentalmente de **plagioclasa**, **piroxeno** y **olivino**. Los gabros, de grano grueso y de color verdoso oscuro, son el equivalente plutónico del basalto y se sitúan debajo de éste. Las rocas ultrabásicas se forman en zonas más profundas todavía y son más pobres en sílice; por eso, por lo general, aún son más oscuras que las rocas básicas. Los minerales más frecuentes son los olivinos y los piroxenos en partes muy variadas. Existen variedades constituidas por más de un 90% de uno de estos minerales. La peridotita es una roca ultrabásica, de verdosa a negra, compuesta esencialmente de los minerales **olivino** y **piroxeno**. La roca compuesta únicamente de **piroxeno** se denomina piroxenita; y la compuesta sólo de **olivino**, dunita. Estas rocas ultrabásicas son las primeras masas rocosas que se forman por la cristalización fraccionada. En esta fase temprana de la cristalización se separan también los elementos metálicos Ni, Cr, Fe y el S formando yacimientos de sulfuros y óxidos de estos metales. Por los procesos metamórficos y de alteración, los minerales de las rocas básicas y ultrabásicas son sustituidos por otros minerales, como **serpentina**, **clorita** y **anfíboles**. Por eso los equivalentes metamórficos de las basitas y ultrabasitas son las anfibolitas y las serpentinitas.

CLASIFICACIONES DE LOS MINERALES

Para una clasificación de los minerales se pueden aplicar varios tipos de criterios: la composición química, la estructura cristalina, la génesis o la forma y el tipo de yacimiento, la distribución geográfica, la aplicación o utilización, etc. En este trabajo nos concentramos en los minerales que se presentan en Galicia y los describimos según su entorno litológico-geológico.

Aparte del esquema de los siete sistemas cristalinos, es conveniente presentar una vista general de la clasificación químico-estructural tradicional. La clasificación de Strunz (1941), sintetizada en el cuadro 4, trata de combinar el criterio químico con el estructural manteniendo prácticamente las divisiones en clases propuestas por Dana (1837). Una clasificación parecida la utilizó Calderón (1910) en su trabajo sobre "Los minerales de España".

2. LOS MINERALES DE LAS UNIDADES LITOLÓGICAS DE GALICIA

En el apartado anterior se habló de los entornos genéticos que son responsables para la formación de los minerales que constituyen las rocas y los yacimientos (enriquecimiento de minerales). Como Galicia se puede dividir bien en Unidades Litológicas definidas por su historia geológica, parece razonable utilizar las rocas que dominan en estas Unidades como base de clasificación para la descripción de los minerales de Galicia.

Las grandes Unidades Litológicas de Galicia son el Dominio de Rocas Ácidas y Granitoides, el Dominio de Rocas Básicas y Ultrabásicas (y sus equivalentes metamórficos), el Dominio de Rocas Sedimentarias, las Formaciones Metamórficas e Hidrotermales, las Cuencas Terciarias y las Formaciones Cuaternarias y Recientes.

DOMINIO DE ROCAS ÁCIDAS Y GRANITOIDES

Las rocas graníticas o granitoides son las más conocidas y más extendidas en Galicia. Las rocas graníticas que afloran en Galicia se pueden clasificar en dos grandes series, basándose en sus características químico-mineralógicas. Una es la serie de granitoides alcalinos de dos micas; y la otra la de los granitoides calcoalcalinos con **biotita** dominante. Aparte de las micas (**moscovita**, **biotita**), las rocas graníticas se componen fundamentalmente de los minerales **cuarzo** y **feldespato**. Además, se encuentra una gran variedad de minerales accesorios en las rocas graníticas, que a veces llegan a enriquecerse por procesos especiales formando yacimientos económicos hasta dar lugar a una explotación minera.

MINERALES ESENCIALES

CUARZO

El cuarzo (SiO_2) es un importante mineral petrogenético y uno de los minerales más extendidos y frecuentes (con los feldespatos). El contenido de cuarzo en las rocas

graníticas varía entre un 20 y un 40%. En filones y pegmatitas puede llegar a un 100% (como, por ejemplo, el impresionante filón de cuarzo de O Pico Sacro, en el sur de Santiago de Compostela). El cuarzo es incoloro como mineral de roca, de forma trigonal y de gran dureza. Una exfoliación aparece muy pocas veces, a no ser en los bordes de grandes cristales individuales. En los filones de cuarzo se encuentra una cierta variedad de formas aplanadas, radiales y plumosas.

Cuando el cuarzo se presenta en cristales transparentes, muestra su más bello aspecto —como "cristal de roca"—. Pero más frecuente es el cuarzo común, que tiene un color blanco opaco y es llamado "cuarzo lechoso". Trazas de otros elementos e inclusiones de otros minerales y burbujas de fluidos son responsables de la gran variedad de cuarzos coloreados.

La **amatista** es violeta y transparente, el **citrino** (o "falso topacio") es amarillento y el **cuarzo ahumado** varía de un gris de humo a pardo. Otros son el cuarzo sagenítico con finas agujas de **rutilo** (TiO_2, otro mineral típico en rocas magmáticas) y el **cuarzo rosado** que tiene burbujas rosario microscópicas de CO_2 y H_2O. Este último se puede encuentrar, por ejemplo, por las pendientes de A Curota, A Pobra do Caramiñal y Santa Uxía de Ribeira (A Coruña). De color rojo opaco y formando cristales de prismas en combinación con bipirámides, el "jacinto de Compostela" apenas aflora en Galicia a no ser en terrenos arcillosos del Triásico. El "cuarzo falso zafiro" es de color azul.

El cuarzo es uno de los minerales más extendidos. Se puede decir que en cualquier lugar se puede encontrar cuarzo debido a la abundancia de este mineral. Dentro de las rocas ígneas, es un compuesto esencial en los granitos, granodioritas, dioritas cuarcíferas y sus equivalen-

CUARZO

El cuarzo ofrece su más bello aspecto cuando se presenta en cristales transparentes, como "cristal de roca", aunque el más frecuente sea el llamado "cuarzo lechoso", de color blanco opaco.
Hay, además, otras variedades de cuarzos coloreados, como la amatista, que es violeta y transparente

Cuadro 5

Cuarzo

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Incoloro	Trigonal	7	2'65 g/cm³	Ninguna, en forma de polvo blanco

Cristal de roca, bipiramidal, de origen pegmatítico.

Cristales grandes de cuarzo lechoso.

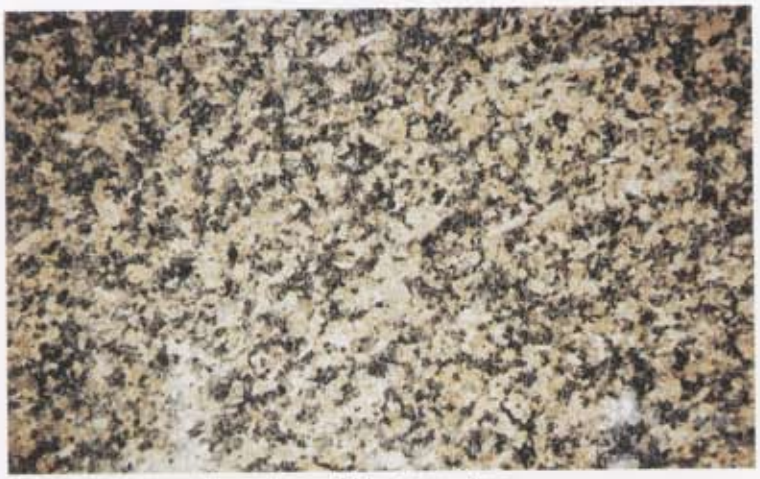
Amatista.

tes extrusivos. Es muy abundante en filones y pegmatitas. Los filones de cuarzo pueden formar parte de sistemas tectónicos de cientos de kilómetros de longitud que se formaron rellenando zonas de fisuras profundas en la corteza terrestre. Estas fisuras se rellenaron con cuarzo procedente de fluidos metamórficos (o hidrotermales) ricos en sílice.

El cuarzo se encuentra también en rocas metamórficas como gneis, esquistos y cuarcitas, así como en areniscas, arcosas y pizarras. También es un mineral detrítico y muy abundante, por ejemplo, en las bonitas playas blancas de Galicia. Sobre todo las variedades criptocristalinas, pueden formar determinados residuos, costras y capas insolubles.

Las variedades coloreadas del cuarzo se aprecian como piedra de adorno. En la industria el cuarzo puro se utilizó tradicionalmente para la óptica y aparatos de precisión. El cuarzo es un mineral industrial imprescindible como materia prima para la fabricación de cerámica, vidrio, fibra de vidrio, refractarios, abrasivos y aleaciones metálicas (ferrosilicio y silicio metal), elementos electrónicos y ópticos y en forma de áridos en la construcción. El silicato de sodio se usa en jabones para darles dureza y durabilidad. Arenas y grava de cuarzo se emplean para la filtración en el abastecimiento de aguas industriales y comunitarias. En la industria semiconductora se extraen artificialmente cristales de SiO_2 muy puros, que se utilizan como base para los *chips*, los procesadores que se encuentran en cada PC. En los últimos años se está incorporando a la producción de esmaltes y otras aplicaciones cerámicas sílice procedente de las cenizas volantes de las plantas de ferrosilicio, que suministra la compañía Ferroatlántica (A Coruña).

Parte de un granito pulido con grandes cristales de feldespato, utilizado como piedra de adorno.



Granito ornamental rosado con feldespatos rojizos.

Debido a su entorno geológico, los yacimientos de cuarzo en Galicia son muy numerosos y de cierta importancia para el mercado europeo. Para su explotación industrial se pueden diferenciar los yacimientos filonianos de los depósitos de gravas y arenas. Las grandes explotaciones mineras en Galicia se encuentran, en la provincia de A Coruña, en O Barqueiro (Mañón), O Pico Sacro (Vedra) y Santa Lucía (Carballo). El cuarzo de los filones de Abeleiras, en Mazaricos, se utilizó para carburos metálicos. El gran filón de Estaca de Bares, de varios kilómetros de corrida y potencia de unos 25 metros, se empleó en la fabricación de hierros silíceos y subproductos como áridos. En la provincia de Lugo se extrae el cuarzo de depósitos de gravas recientes por la zona de Begonte. Y en la provincia de Pontevedra existe una explotación de cuarzo en la región de A Estrada-Silleda.

FELDESPATOS

Los feldespatos son una gran familia de silicatos ricos en calcio, sodio y potasio que constituyen la mayoría de las rocas magmáticas y metamórficas. Los feldespatos calizos y sódicos forman una serie de mezcla isomorfa —las plagioclasas—. Los feldespatos potásicos y sódicos se mezclan a elevadas temperaturas y constituyen la serie de los feldespatos alcalinos o feldespatos verdaderos *(sensu stricto)*.

FELDESPATOS ALCALINOS

Los feldespatos alcalinos $(K, Na)AlSi_3O_8$, combinados con términos de la serie de las **plagioclasas** (Ca y Na), son los minerales ígneos más abundantes, siendo com-

ponentes esenciales de todas las rocas ígneas con excepción de las peridotitas y de algunas variedades raras con feldespatoides. Los feldespatoides son minerales blancos o incoloros que se forman en el magma en vez de feldespatos cuando la presencia de ácidos silícicos es excesivamente escasa (por ejemplo: la **nefelina**). Los feldespatos pueden cristalizar de forma monoclínica o triclínica, son incoloros y a veces límpidos (sobre todo la sanidina). Debido a la alteración, aparecen con un tono turbio, grisáceo.

La produción mundial de feldespatos (feldespatos alcalinos y plagioclasas) se eleva a unos ocho millones de toneladas por año. Un 85-90% de los feldespatos producidos se emplean para la fabricación de cerámica, esmaltes y vidrios, donde sirven principalmente como fuente de los alcalinos y del aluminio. Como el granito sirve en toda Galicia como típico material de construcción, se pueden estudiar fácilmente los feldespatos en cualquier lugar, ya sea suelo, fachada o muro de un edificio o plaza, antigua o moderna.

En Galicia los filones pegmatíticos ricos en feldespatos alcalinos son numerosos, aunque los únicos que han sido objeto de cierto aprovechamiento industrial se sitúan en las provincias de Lugo (Quintá, Vilalba, Miñotos, Muras y Viveiro) y Pontevedra (Vilagarcía de Arousa, Tui, Meis y O Porriño). En general, la escasa potencia y la pequeña longitud de corrida han hecho que se abandonaran muchas de las explotaciones mineras de feldespato.

ORTOCLASA

La ortoclasa $(K, Na)AlSi_3O_8$ es un componente principal de todas las rocas ígneas ácidas como granitos, granodioritas, sienitas, etc., y, en menor extensión, de pegmatitas graníticas con cuarzo y mica. La modificación polimorfa de alta temperatura es la **sanidina**, formando cristales tabulares. Se encuentra exclusivamente en rocas volcánicas. Ambos minerales a menudo contienen sodio.

Cuadro 6

Feldespatos alcalinos

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Incoloro, variedades coloreadas	Monoclínica o triclínica	6-6'5	2'5 g/cm³	Blanca

La ortoclasa es también un componente importante en gneis micáceos, cuarcitas, esquistos, granulitas y rocas de metamorfismo de contacto. En las rocas sedimentarias se encuentra sobre todo en areniscas y arcosas.

La ortoclasa aparece en masas espáticas con buena exfoliación o en cristales aislados, siendo muy frecuente la formación de maclas. Las maclas de Carlsbad son las más frecuentes. Siendo incoloro, el colorido del mineral puede ser amarillento o rojizo. Los famosos granitos de "Rosa Porriño" y "Rosa Dante" (Pontevedra) deben su color rosado al feldespato rojizo, como también el "Rosavel" de Ourense.

Cuadro 7

Feldespatos

Los feldespatos son los minerales ígneos más abundantes. En Galicia los feldespatos alcalinos son los más numerosos y pueden dar origen a una cierta explotación industrial

F. alcalinos	Fórmula química	Forma	Características
Sanidina	$(K, Na)AlSi_3O_8$	Monoclínica	Modificación de alta temperatura
Ortoclasa	$(K, Na)AlSi_3O_8$	Monoclínica	Menos del 40% de Na
Microclina	$(K, Na)AlSi_3O_8$	Triclínica	Menos del 40% de Na
Adularia	$(Na, K)AlSi_3O_8$	Triclínica	Menos del 40% de K
Sanidina	$KAlSi_3O_8$	Triclínica	Na en cantidad muy pequeña
Plagioclasas	**Fórmula química**	**Forma**	**Características**
Albita	$NaAlSi_3O_8$	Triclínica	90-100% de albita (Na)
Oligoclasa		Triclínica	70-90% de albita (Na)
Andesina		Triclínica	50-70% de albita (Na)
Labradorita		Triclínica	30-50% de albita (Na)
Bytownita		Triclínica	10-30% de albita (Na)
Anortita	$CaAl_2Si_2O_8$	Triclínica	0-10% de albita (Na)

MICROCLINA

La microclina es la modificación de baja temperatura (de la ortoclasa) y se encuentra, como ésta, en granitos, pero es más frecuente en pegmatitas graníticas. No se encuentra en las rocas ígneas extrusivas. Su forma de presentarse es muy semejante a la de la ortoclasa. Pero, al contrario de ésta, es triclínica. El sodio (Na) es normalmente menos abundante que en la ortoclasa. En la **anortoclasa**, que se llama también microclina sódica, el sodio se encuentra normalmente en exceso considerable sobre el potasio (K). La **adularia**, el feldespato de potasio, es un feldespato hidrotermal de baja temperatura que se puede encontrar en yacimientos filonianos y se busca como piedra de adorno. La **amazonita** es una variedad verde de la microclina que se aprecia mucho como piedra ornamental.

Microclina pegmatítica con moscovita.

Yacimientos destacados de cristales de microclina se encuentran en Padrenda (Ourense). Por la zona de Montefaro-Meirás (A Coruña) la mineralización de **arsenopirita** se presenta en los rellenos hidrotermales de cuarzo y adularia, que ocupan las fracturas y grietas de la roca encajante.

PLAGIOCLASAS

Como antes se ha dicho, son mezclas isomorfas de feldespato sódico (**albita**, $NaAlSi_3O_8$) y feldespato calizo (**anortita**, $CaAl_2Si_2O_8$). Son triclínicas con dos modificaciones estructurales: de alta temperatura (albita y las mezclas, menos la anortita) y de baja temperatura (anortita). Las plagioclasas de alta temperatura se presentan principalmente como grandes cristales en las rocas extrusivas. La albita se encuentra en rocas ígneas, principalmente en pegmatitas graníticas; la **ortoclasa** en granitos, monzonitas, granodioritas y en sus equivalentes extrusivos; la **andesina** en tonalitas y dioritas, en gneis con hornblenda o biotita. La **labradorita** es un mineral esencial en rocas básicas como gabro y basalto. La **bytownita** es un término poco frecuente de la serie de las plagioclasas.

Las plagioclasas presentan un brillo de vítreo a nacarado. La **labradorita** se caracteriza por tornasolados de colores azulados y rojos fuertes. La **periclina** es una variedad de la albita de color blanco opaco con cristales maclados. Las plagioclasas se emplean para la cerámica muy fina, la **labradorita** como piedra ornamental. Los crecimientos íntimos con la plagioclasa sódica, llamados pertitas, están compuestos de cristales aislados encajantes de feldespato alcalino y láminas delgadas y burbujas de plagioclasa en su interior.

La plagioclasa de baja temperatura (la **anortita**) se presenta en rocas ígneas plutónicas y sus equivalentes metamórficos. Es muy frecuente en rocas muy básicas, como gabros olivínicos, noritas, andesitas y basaltos.

En Galicia las plagioclasas son muy abundantes porque, junto con los **feldespatos** y el **cuarzo**, son componentes esenciales de las rocas plutónicas y metamórficas. En los granitos predominan, excepto el cuarzo, los feldespatos alcalinos; y en las granodioritas, las plagioclasas cálcicas. Estas últimas sobresalen, acompañando a **piroxenos**, **anfiboles** y **olivinos**, también en las metabasi-

Cuadro 8

Plagioclasas

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Incoloro, blanco o grisáceo	Monoclínica o triclínica	6-6'5	2'61-2'77 g/cm³	Incolora

tas y las rocas ultrabásicas del Complejo de Cabo Ortegal y Ordes.

A unos 22 kilómetros al sur de Viveiro (Lugo) se encuentra el yacimiento de feldespatos Penalonga del Grupo Minero Silán. Los filones de pegmatitas y aplitas están compuestos por **albita**, **microclina** y **cuarzo**. Compuestos menores son la **anortita**, la **mica** y la **turmalina**. Las reservas ascienden a unos pocos millones de toneladas de feldespato.

MICAS

Las micas son ortosilicatos de aluminio con cantidades variables de potasio, magnesio, hierro o litio, y forman parte de casi todas las rocas. Existe una serie entre la **moscovita** y las altamente variables **lepidolitas,** al igual que entre la **flogopita** y la **biotita**. Las micas se caracterizan por una exfoliación basal perfecta, por lo cual se pueden separar fácilmente en láminas o escamas. La biotita negra y la moscovita blanca o transparente, y sus modificaciones, son las micas más abundantes. Cuando un mineral, con estructura de mica, tiene deficiencia en potasio y su tamaño es del orden de micras, se denomina **illita**.

BIOTITA

La biotita, o mica negra, es la mica férrico-magnésica de color oscuro. Muy característico es su fuerte pleocroísmo: el fenómeno de absorber la luz de forma distinta según la dirección en que se mire, por lo cual se observan colores (o tonos) distintos rotando el mineral.

Se puede encontrar algo de Na, Ca, Ba, Rb y Cs en sustitución de K. Mn sustituye al Fe^{2+}. Algo de Li puede sustituir al Al. La **zinnwaldita** es una mica con Fe^{2+} y Li. Las biotitas marrón-rojas deben su color principalmente al Ti y al Fe^{3+}. Las biotitas marrón-verdosas y marrones están coloreadas por el Fe^{3+} y un poco de Ti; las biotitas verde-azules, por Fe^{2+}.

Cuadro 9

Micas

Micas	Fórmula química	Color
Moscovita	$K_2Al_4(Si_6Al_2)O_{20}(OH)_4$	Blanco
Lepidolita	$K_2(Li, Al)_{2.5-3}(Si_{6-7}Al_{2-1})O_{20-21}(OH)_{20-21}(F,OH)_{3-4}$	Rosa
Flogopita	$K_2(Mg, Fe^{2+})_6(Si_6Al_2)O_{20}(OH)_4$	Incoloro
Biotita	$K_2(Fe^{2+}, Mg)_{6-4}(Fe^{2+}, Al, Ti)_{0-2}(Si_{6-5}Al_{2-3})O_{20-22}(OH, F)_{4-2}$	Negro

La biotita se encuentra en todos los tipos de rocas ígneas intrusivas, desde básicas a ácidas. La relación Fe:Mg aumenta progresivamente al aumentar el contenido en SiO_2 de la roca encajante. Es muy frecuente y abundante en los granitos y en las pegmatitas graníticas. Puede ser sustituida por **moscovita** de meteorización en algunos granitos. La biotita está muy extendida en los muy distintos esquistos y gneis, juntamente con **cuarzo**, **feldespato**, **granate**, **sillimanita** y **sericita**. Se altera a **clorita** o **vermiculita**. La biotita se emplea como aislador térmico, pero esta aplicación es de menor importancia en comparación con la moscovita y la flogopita.

Al igual que los granitos y los gneis, la biotita también es muy abundante en Galicia. En cualquier lugar se pueden encontrar estas laminillas negras. Se han encontrado buenos ejemplares en los granitos de Viveiro (Lugo), y en los gneis de Vigo y Redondela (Pontevedra). Excelentes ejemplares de **zinnwaldita** se han descrito en la antigua mina La Estradense, en Forcarei (Pontevedra).

FLOGOPITA

Esta mica tiene un tono que va de incoloro a pardo, y se diferencia de la moscovita en el pleocroísmo, que la moscovita apenas tiene. La biotita tiene un pleocroísmo mucho más fuerte. En las cloritas predominan normalmente los tonos verdosos. Con frecuencia se pueden observar cristales de hábito prismático hexagonal. La propiedad más característica es su exfoliación y elasticidad.

La flogopita es un típico mineral de origen neumatolítico. Se encuentra frecuentemente en rocas ígneas ultrabásicas, como peridotitas, y en sus equivalentes serpentinizados. Se observa también en calizas y dolomías metamórficas, y en pizarras metamorfizadas, por alteración de la **vermiculita**.

Concentrado de menas con bojitas de biotita negras (además, arsenopirita con estriaciones, piritas doradas y scheelitas de color melado).

Cuadro 10

Biotita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Negro, pardo oscuro, marrón, verdoso o rojizo	Monoclínica, con menor frecuencia triclínica	2'5-3	2'8-3'2 g/cm³	Blanca

Se aplica, como la moscovita, como aislante y material refractario. Las escamas de flogopita son térmicamente estables hasta los 900-1.000 °C; la moscovita, (sólo) hasta unos 500 °C. La flogopita se emplea también en las bujías de los motores cuando es muy flexible y de gran resistencia térmica.

En los gneis de Santiago de Compostela aparecen finas escamas de flogopita. En forma de filoncitos tardíos, la flogopita se observa en algunas serpentinitas de la zona de Cabo Ortegal, Sobrado-Melide y Campo de Marzo, y asociada a varios mármoles, por ejemplo en Campaza y Paradela (Lugo).

MOSCOVITA

La moscovita es la mica "blanca" o, mejor dicho, incolora. Algunas variedades férricas son pleocroicas con tonos de rojo oscuro y marrón rojizo pálido. En general, se presenta en láminas o escamas de contorno hexagonal, pero también en agregados hojosos de finas escamas, en formas globulares o estrellas y en masas compactas. La **sericita** es una moscovita de escamas finas y brillo sedoso. La moscovita cromífera, la fuchsita, va de incolora a verde y puede incorporar hasta un 4'8% de Cr_2O_3.

La moscovita se presenta en granitos, generalmente con biotita y microclina (granitos de dos micas). En algunos granitos se ha podido formar por alteración meteórica de la **biotita**. Es muy frecuente en las pegmatitas graníticas. Pero la moscovita también es frecuente en las pizarras, las filitas, los esquistos, las cuarcitas y diversos gneis. La moscovita detrítica se encuentra ampliamente distribuida en los sedimentos arenosos que se formaron por alteración de las rocas mencionadas. La moscovita secundaria de grano fino o **sericita** sustituye a diversos minerales, especialmente **plagioclasa**, feldespato potá-

FLOGOPITA

Esta mica tiene un tono que va de incoloro a pardo. Su propiedad más característica es su exfoliación y elasticidad.
Es utilizada como aislante y material refractario

Flogopita parda.

Cuadro 11

Flogopita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Pardo, rojo pardusco y verdoso, amarillento	Monoclínica, variedades seudorrómbicas	2-2'5	2'8 g/cm³	Blanca

MOSCOVITA

Esta es la mica "blanca" (en realidad, es incolora, aunque algunas variedades férricas pueden ser rojizas).
Tradicionalmente la moscovita fue empleada, en hojas, como aislante, como material refractario o para decorar porcelana y cristal. Actualmente se usa, molida, en la fabricación de papel, pinturas...

Moscovita pegmatítica.

Cuadro 12

Moscovita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Blanco o transparente	Monoclínica	2-2'5	2'8 g/cm³	Incolora o blanca

sico, **cordierita**, **cianita**, **andalucita**, **topacio**, **turmalina**, **corindón** y otros más.

El empleo de la moscovita es muy amplio. Las escamas de moscovita son térmicamente estables hasta los 500 °C; por eso se utilizó tradicionalmente, en la calidad de hojas, como aislante para aparatos eléctricos, como material refractario (escamas finas) y para la decoración de porcelana y cristal en forma de escamas gruesas. Sin embargo, hoy en día, la moscovita, en la calidad de moscovita molida, se consume más en la fabricación de papel, mortero, lubricantes, adhesivos, desinfectantes, pinturas, plásticos, etc., donde perfecciona las propiedades de los materiales con respecto a la abrasión (o resistencia a la abrasión), de no ser inflamable, o la resistencia química. En los explosivos sirve como absorbente.

Grandes láminas de moscovita se encuentran en muchas pegmatitas de Galicia, como, por ejemplo, en Presqueira (Ourense), Meis, A Xesteira, Vilagarcía de Arousa, Ponteareas, Salvaterra (Pontevedra), O Valadouro y Muras (Lugo). La moscovita de escama fina es muy abundante en Galicia y en muchas explotaciones mineras salió como subproducto de la preparación de las menas, sin aprovecharse a menudo.

LEPIDOLITA

La lepidolita es la mica lítica (o litionita) y aparece en forma de hojitas o de escamas en algunos granitos especializados y pegmatitas graníticas complejas, con **albita** y minerales asociados, como **berilo**, **turmalino**, **topacio** y **espodumena**. El contenido en litio (Li_2O) puede variar

Cuadro 13

Lepidolita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Rosa, lila, gris o blanco	Monoclínica	2'5-4	2'8-3 g/cm³	Blanca

entre el 3 y el 7%. El porcentaje de flúor varía entre los mismos valores. La lepidolita, como la **espodumena**, es un importante mineral para la extracción del litio y sus sales. El litio se utiliza como aditivo de lubricantes, para pilas, aleaciones usadas en el espacio, vidrios especiales y medicamentos.

Los únicos yacimientos de litio en Galicia se encuentran en la zona de Vilatuxe, cerca de Lalín (Pontevedra). Aquí la mena de interés minera era la espodumena, que aflora en filones pegmatíticos. La lepidolita se presenta sólo como mineral accesorio.

SERICITA

La sericita es una **moscovita** con brillo sedoso de agregados de grano fino afieltrados a deshilachados que sustituye a otros minerales: especialmente plagioclasa, feldespato potásico, nefelina, cordierita, cianita, andalucita, sillimanita, topacio y corindón, y también turmalina, berilo, espodumena y escapolita.

La sustitución de **feldespatos** por sericita puede ser altamente selectiva, siendo la plagioclasa cálcica sustituida normalmente antes que la plagioclasa sódica, y la plagioclasa antes que el feldespato potásico. La sericita se produce también por meteorización, pero casi toda la sericitización parece ser el resultado de un proceso hidrotermal. La sericitización de la roca encajante es una transformación metasomática frecuente y extensa que acompaña siempre a la formación de yacimientos de minerales hidrotermales, sobre todo los de las rocas plutónicas ácidas, que son muy abundantes en toda Galicia.

VERMICULITA

La vermiculita procede de la alteración hidrotermal o meteórica de las micas por absorción de agua, pérdida de sodio o potasio y oxidación del hierro

Vermiculita de origen hidrotermal.

Cuadro 14

Vermiculita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Marrón	Monoclínica	3'5	2'5 g/cm³	Incolora

VERMICULITA

La vermiculita $(Mg, Fe^{2+})(Si, Al, Fe^{3+})_4O_{10}(OH)_2 \times 4H_2O$ procede de la alteración hidrotermal o meteórica de las **micas** antes descrita por absorción de agua, pérdida de álcalis (Na, K) y oxidación del hierro. Con el calor (100-300 °C) se deshidrata y se curvan los cristales por perder el agua absorbida. La vermiculita presenta una exfoliación basal perfecta. Cuando forma pequeños cristalitos, éstos muestran un aspecto hexagonal.

Como la vermiculita es un mineral hidrotermal asociado con rocas ultrabásicas alteradas, que se forma por lo general por acción de intrusiones pegmatíticas sobre estas rocas, se puede encontrar con mucha frecuencia en Galicia en los Complejos Básicos y Ultrabásicos de Cabo Ortegal, Ordes y Santiago (A Coruña).

MINERALES ACCESORIOS

Los minerales accesorios son componentes de una roca que a menudo significan menos del uno por ciento (muchas veces incluso por debajo de un 0'1%) de su composición. Sin embargo, por procesos de enriquecimiento se pueden formar criaderos de minerales que son rentables para su explotación minera. Los minerales accesorios de las rocas graníticas se pueden formar muy pronto con los minerales esenciales, como el cuarzo o los feldespatos, o muy tarde como últimos productos de la diferenciación magmática.

ALLANITA

La allanita (u **ortita**) puede aparecer como mineral accesorio en granitos y pegmatitas. Se describe con más detalle en el apartado de las rocas metamórficas. Se observa en los gneis radiactivos de la Serra do Galiñeiro y de O Porriño (Pontevedra), junto a **circón** y **xenotima**.

AMBLIGONITA

La ambligonita es un fluofosfato lítico y se describe más adelante con los otros minerales de litio.

APATITO

El apatito $Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$ es el fosfato de calcio. Se presenta en cristales prismáticos, cortos o tabulares. El fluorapatito tiene la fórmula química $Ca_5(PO_4)_3F$. El flúor puede estar parcialmente sustituido por Cl (clorapatito) o por OH (hidroxilapatito). Bastantes variedades del fluorapatito, como la **colofana** y la **flancolita**, son débilmente radiactivas por los contenidos en uranio. Las escasas variedades con Th pueden ser también radiactivas.

El apatito es un mineral accesorio muy corriente en todos los tipos de rocas ígneas, desde el gabro al granito y la pegmatita. En las rocas básicas es más corriente encontrar clorapatito, mientras que en las rocas graníticas es más frecuente el fluorapatito. Aparece también en gneis y esquistos, mármoles originados por metamorfismo de contacto. El apatito es muy abundante en residuos sedimentarios pesados. En grandes yacimientos se explota como materia prima de fosfatos que se utilizan como fertilizantes.

En Galicia el apatito se encuentra casi en cualquier granito, pero sus agujas son tan pequeñas que sólo se puede estudiar por el microscopio en las láminas delgadas o en un concentrado de minerales pesados. En las rocas porfiroblásticas que forman el estrecho cinturón del "Ollo de Sapo", que se extiende desde O Barqueiro (Lugo) hacia el sudeste de Galicia (Ourense-Zamora), el apatito es el mineral accesorio más abundante. Localmente aparecen cristales idiomorfos de hasta 1'5 milímetros de talla. El apatito se encuentra en pequeñas cantidades, siempre en cristales idiomorfos muy pequeños, repartidos en las pegmatitas de litio de Vilatuxe (Pontevedra).

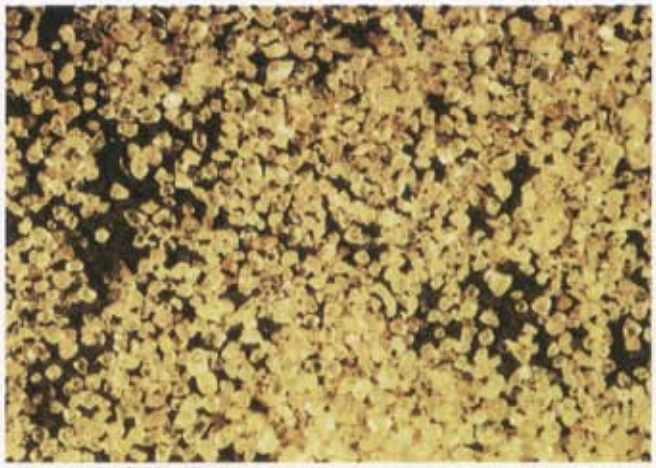
EOSFORITA

La eosforita $(Fe, Mn)Al\ [(O, OH)_2 \mid PO_4] \times H_2O$ es otro fosfato. Se discute si la forma es monoclínica o seudorrómbica. Normalmente se presenta en cristales de hábito prismático y en masas amorfas.

La eosforita yace en depósitos hidrotermales de tipo pegmatítico. En Galicia se ha encontrado en los montes de Cabo Fisterra y Porto do Son (A Coruña).

APATITO

El apatito o fosfato de calcio es un mineral accesorio muy corriente en todos los tipos de rocas ígneas.
En grandes yacimientos se explota como materia prima de fosfatos que se utilizan como fertilizantes



Concentrado de apatito.

Cuadro 15

Apatito

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Incoloro, amarillo, verde oliva, pardo, verde azulado	Hexagonal	5	3'2 g/cm³	Blanca

CIRCÓN

El económicamente más importante mineral de circonio es el circón. El circón, que corresponde a la fórmula $Zr(SiO_4)$, es el silicato de circonio con cantidades variables de dióxido de hafnio. Algunas variedades contienen Fe^{3+}, PO_4, **tierras raras**, Th (que es radiactivo) y U. En general, es incoloro o tiene un color que va de pardo a rojo pardusco, aunque puede presentar tonali-

Cuadro 16

Eosforita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Rosa, gris, azul, verde, amarillo	Monoclínica?	5	3'1 g/cm³	Blanca

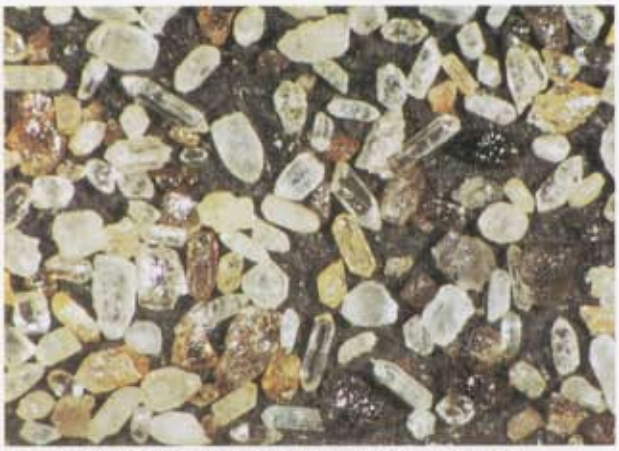
dades muy variadas de amarillo, gris o verde. En cristales grandes presenta un brillo diamantino y puede ser transparente u opaco.

El circón es uno de los primeros minerales que cristaliza en un magma ácido (rico en SiO_2) y, por eso, un mineral accesorio muy abundante en granitos y sienitas, y también en las pegmatitas graníticas. En granodioritas y dioritas es algo menos frecuente. Se encuentra también en areniscas y rocas metamórficas, en pizarras y gneis. Es un importante mineral pesado. Todos los yacimientos comerciales son residuos pesados de arena, procedentes de la meteorización de las rocas mencionadas y casi siempre acompañados de **ilmenita** y **rutilo**. En rocas ígneas y metamórficas el circón se presenta en cristales pequeños o microscópicos de hábito prismático corto de sección cuadrada, terminados por lo general en pirámides. El circón detrítico es redondeado.

El circonio tiene un muy alto punto de fusión, de unos 1.850 °C; el del circón está por encima de los 2.430 °C.

CIRCÓN

El circón es el mineral de circonio más importante. La mayor parte del que se explota se usa para la fabricación de productos refractarios (ladrillos y cerámicas), aunque también como compuesto químico y electrónico



Concentrado de circón (algunos muestran el típico hábito bipiramidal).

Cuadro 17

Circón

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De incoloro a amarillento, verdoso	Tetragonal	7'5	3'9-4'8 g/cm³	Blanca

Gracias a esta propiedad característica, el circonio eleva la temperatura de fusión de un material cerámico o de una arena de moldeo. Una parte menor del circón se refina para obtener circonio metálico, que se utiliza para los aceros resistentes a la corrosión que se emplean en reactores nucleares y en instalaciones de la industria química. La mayoria del circón explotado se aplica para la fabricación de productos refractarios, especialmente para los ladrillos de baddeleyita y en la industria cerámica para cerámicas de óxido de circonio refractarias. Las arenas de moldeo llegan a absorber el mayor porcentaje del circonio producido, seguido por aplicaciones de refractarios no arcillosos y otros productos cerámicos. Por sus particularidades eléctricas, mecánicas y químicas, el circonio se utiliza también como compuesto químico y electrónico. La producción mundial de circón excedió un millón de toneladas en 1997. Cuando el circón es fino y transparente, se usa como piedra ornamental o gema. El circón rico en hafnio o tierras raras también se aprovecha por la extracción de estos elementos.

No es nada raro encontrar el circón en las arenas de las rías gallegas, desde Carballo a O Grove, y en las localidades de Redondela (Pontevedra) y Noia (A Coruña). Pero el tamaño del circón en las capas de minerales pesadas apenas sobrepasa un milímetro. Diseminados en los gneis que afloran en el Monte do Galiñeiro (sudoeste de O Porriño, Pontevedra) se encontraron zircones relativamente grandes, de unos 3 milímetros de largo. Muy pequeños cristales de la **cyrtolita**, la variedad radiactiva, se encontraron en el Coto Vivaldi, en el extremo nordeste de la provincia de Ourense.

ESFENA (VÉASE TITANITA)

NEFELINA

La nefelina ($NaAlSiO_4$) se presenta en pequeños granos o cristalitos de hábito prismático hexagonal aplastado. La nefelina es normalmente un típico mineral en rocas eruptivas ricas en álcalis y pobres en sílice. Normalmente no se encuentra en presencia de cuarzo. Variedades gnéisicas con feldespatoides también pueden tener nefelina.

En Galicia la nefelina se ha observado en un filón basáltico (o lamprófido) situado entre Lázaro y As Cruces (Pontevedra) y en algunas sienitas cerca de A Coruña.

RIEBECKITA (VÉASE TAMBIÉN ANFÍBOLES)

La riebeckita $Na_2Fe^{II}_3Fe^{III}_2[(OH, F)|Si_8O_{11}]_2$ es un mineral alargado, fibroso, del grupo de los anfíboles alcalinos. Este anfíbol se encuentra en plutonitas (granitos, sienitas) y en rocas metamórficas (metamorfismo de baja intensidad). En Galicia se puede observar en granitos y sienitas de la provincia de Pontevedra.

TITANITA

La titanita (sinónimo: **esfena**) es un nesosilicato monoclínico de titanio ($CaTiSiO_5$). Muy frecuentes son contenidos considerables de otros elementos, como Na, **tierras raras**, Fe, Al, Nb, Cr, V, Mn, Mg, Sr, Sn y Th. Característico es su brillo vítreo. El hábito de la titanita es tabular, aplastado, prismático o romboidal. El término "esfena" deriva del término griego *sfen* = 'cuña', alusivo a la forma de presentarse. Grandes cristales se emplean como piedra de adorno, pero normalmente son más frecuentes los cristales microscópicos.

La titanita es un mineral accesorio de gran distribución en rocas ígneas intrusivas, especialmente en sienitas (roca profunda parecida al granito), y extrusivas, en rocas metamórficas y en sedimentos. Se puede encontrar como subproducto de la alteración de la biotita a clorita o de la alteración de augita titanada a hornblenda. En láminas delgadas de las rocas cristalinas de Galicia, la titanita se puede observar casi siempre, sobre todo en rocas plutónicas con tendencia sienítica o como mineral secundario de alteración.

TOPACIO

El topacio $Al_2SiO_4(F, OH)_2$ es un mineral rómbico incoloro, amarillento, verdoso o azulado con típico brillo vítreo. Una propiedad muy característica es que puede perder el color al ser expuesto al sol. Se presenta en cristales prismáticos y agregados columnares de tipo bacilar. Es un mineral muy apreciado en joyería.

Se encuentra con frecuencia en pegmatitas, en yacimientos neumatolíticos e/o hidrotermales de alta temperatura. En formaciones de greisen aparece junto a cuarzo, moscovita, apatita, circón, turmalina, fluorita y, localmente, con casiterita, wolframita, scheelita y berilio. En aluviones se puede observar junto con casiterita y columbita. Pero normalmente no es muy abundante como mineral pesado, por alteración de la sericita o caolinita.

Cuadro 18

Nefelina

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Incoloro, blanco	Hexagonal	5'5-6	2'6 g/cm³	Blanca

Cuadro 19

Titanita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De amarillo a marrón verdoso o rojizo	Monoclínica	5-5'5	3'4-3'6 g/cm³	Blanca

Cuadro 20

Topacio

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Amarillo, transparente o blanco	Rómbica	8	3'5-3'6 g/cm³	Incolora

En Galicia hay indicios de topacio en filones pegmatíticos por la zona de Beariz, en San Pedro de Rochas y en la Serra do Xurés (Lobios), aquí asociado a los filones de wolframio y estaño de la antigua mina As Sombras, en la provincia de Ourense, y en la Serra dos Ancares, por San Fiz de Donís, en la provincia de Lugo. En la provincia de Pontevedra afloran indicios de topacio en los filones pegmatíticos litíferos por la zona de Lalín (Vilatuxe y Goiás). También se han encontrado cristales microscópicos en pequeñas cantidades en una zona de la Ría de Vigo que se denomina "zona de arenas gemíferas".

TURMALINA

La turmalina es un silicato importante que contiene boro. Su composición química varía mucho, siendo la fórmula general $XY_3B_3Al_3(AlSi_5O_{18})_3(O, OH, F)_4$, donde X = Na, Ca e Y = Al, Fe, Li, Mg, Ti, Cr, etc. El color varía con la composición, por lo cual las distintas variedades

TURMALINA

Este importante silicato (que se encuentra con frecuencia en granitos y en yacimientos hidrotermales de alta temperatura) se emplea, según su forma y colores, en decoración y joyería

Chorlo negro.

Cuadro 21

Turmalina

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Muy variado	Trigonal	7-7'5	3-3'2 g/cm³	Blanca

tienen nombres propios según los colores: la **acroíta** es incolora (blanca), el **chorlo** negro (rico en Fe), la **dravita** marrón (rica en Mg), la **indigolita** azul, la **rubelita** roja (rica en Mn) y la **verdelita** verde (rica en Cr).

Normalmente la turmalina se presenta en cristales prismáticos de sección triangular redondeada. Una propiedad muy característica son las estriaciones en las caras prismáticas. En algunas ocasiones es finamente acicular. También se encuentra en agregados informes o radiados. Según su forma y sus colores, se emplea en decoración y en joyería.

La turmalina se encuentra con mucha frecuencia en granitos, especialmente en los filones pegmatíticos (asociados a los otros minerales pegmatíticos: principalmente micas, berilo, cuarzo y ortosa), y en yacimientos hidrotermales de alta temperatura. Como mineral de contacto, se forma en las aureolas de las masas rocosas de tipo metamórfico, en pizarras, calizas y gneis.

En Galicia la turmalina (normalmente un **chorlo**) es un mineral muy abundante, con el **cuarzo** o sola, y se puede observar en los granitos, gneis y pegmatitas de los alrededores de Avión, Boiro, Beariz, Cabana, O Carballiño, Doade, Faro de Chantada, Figueirido, Goián, Meallo, Melavia, Palio, A Pena Redonda, Presqueira, A Ramallosa, Tomiño y Vilatuxe. Como en muchos otros filones pegmatíticos mineralizados de **casiterita**, se observa también como accesorio en los yacimiento de estaño de Gomesende y Novelle (Ourense). Especialmente la **indigolita** se ha citado por la zona de Laxe (A Coruña).

Cuadro 22

Monacita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De amarillo a castaño rojizo	Monoclínica	5-5'5	4'6-5'4 g/cm³	Muy clara, casi blanca

TIERRAS RARAS

Las tierras raras están constituidas por el grupo de los lantánidos, que son los elementos Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, La y los actínidos Th, Sc e Y. Los minerales que constituyen las principales menas de las tierras raras son la **monacita**, la **xenotima** y la **bastneasita**. El uso industrial de las tierras raras se basa en una gran diversidad de propiedades químicas y físicas, que las hacen imprescindibles para los nuevos materiales de vidrio, cerámica y metales para aplicaciones en las tecnologías avanzadas, como, por ejemplo, en la industria semiconductora. Uno de los técnicamente muy importantes supraconductores de alta temperatura tiene como base Y, Ba, Cu y O (YBCO). El Ce (cerio) se aplica en convertidores catalíticos, Pr (praseodimio) en imanes permanentes, Nd (neodimio) en condensadores de cerámica y vidrios para láser, Sm (samario) en captadores de neutrones, Eu (europio) y Gd (gadolinio) en las memorias de PC y en los tubos de TV y rayos X, Dy (disprosio) en memorias ópticas y láseres..., para sólo dar algunas de las numerosas aplicaciones.

MONACITA

La monacita (Ce, La, Y, Th)PO_4 es un fosfato de **tierras raras** con un contenido de Th (torio) de hasta el 12% y es frecuentemente radiactivo. Es la mena más importante del cerio, con el 20-30% de Ce_2O_3 y del Th. La monacita de color gris demuestra un alto contenido de Eu (europio).

La monacita es un mineral accesorio en rocas magmáticas ácidas (granitos, granodioritas, aplitas y pegmatitas) y en rocas metamórficas donde se pueden observar muy pequeños cristales (unos milímetros de largo), algo aplastados o alargados. En lámina delgada, donde se puede observar, presenta inclusiones de circón y rutilo. Puede ser un mineral detrítico importante en placeres de playa o fluviales y en algunas areniscas. De importancia económica son únicamente las arenas de monacita o como subproducto en la explotación de placeres de minerales pesados de titanio o de circonio.

En las playas de Vigo (Pontevedra) y Laxe (A Coruña) la monacita se concentró en capas acompañando otros minerales pesados. La monacita amarilla es muy común en los depósitos costeros de Fisterra, en la costa norte de la Ría de Arousa y en la Ría de Vigo, en el entorno costero norte y sur de la ciudad de Vigo. En algunas playas de la zona de Vigo las arenas contienen hasta un 1'25% de monacita; las de la playa Insuela (cerca de Palmeira, en la Ría de Arousa), hasta un 30%. Como tamaño del mineral, predomina la fracción inferior a un milímetro, incluso inferior a medio milímetro. En el área norte de la Ría de Arousa los concentrados de minerales pesados tienen un 0'2-0'3% de Ce y un 0'1- 0'2% de La (lantano) en las playas y aluviones de A Merced, Insuela y Belloch, ríos Coroño y Lérez, minas Xeniña y Piñeiro.

En la provincia de A Coruña, yacimientos de minerales pesados con altos contenidos en minerales de tierras raras se citan en los aluviones de Rus-Zas, en las playas de Balarés, Arteixo, Razo, Lago, Lorbé, A Barquiña, O Testal, Portosín, Castiñeiras y Castro, y en las viejas explotaciones mineras (de Sn y W) de Susana, Santa Comba, San Finx (aunque el topónimo más correcto sería San Fins, hemos optado por conservar siempre San Finx a lo largo del volumen porque así se cita tradicionalmente en la bibliografía geológico-minera) y Monte Neme. En la zona sur de Noia se han encontrado contenidos anómalos de Ce e Y dentro de los gneis graníticos y blastomiloníticos.

Los gneis radiactivos de la Serra do Galiñeiro (Pontevedra) son de los pocos enriquecimientos primarios conocidos en Galicia. Ahí, se señalizaron concentraciones de hasta un 11% de minerales de **tierras raras** con contenidos altos en Y_2O_3 (hasta un 4%). Otros indicios de yacimientos de minerales pesados con altos contenidos en tierras raras en la provincia de Pontevedra se encuentran por las viejas explotaciones mineras de Boliche y Fontao, por las playas de Cela, la Ría de Cela, ríos de Zamáns, Miñor y Altes con sus aluviones correspondientes. En la provincia de Ourense, minerales de tierras raras se concentraron en los aluviones de As Veigas (sudoeste de Xinzo de Limia) y de los ríos Salas, Támega y Feces de Cima, y en las viejas minas de Laza, Penouta, Casaio y Vilar de Cervos.

Cuadro 23

Xenotima

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De pardo a amarillo	Tetragonal	4-5	4'4-5'1 g/cm³	Muy clara

XENOTIMA

La xenotima YPO_4, el fosfato de itrio, es la principal fuente de Y, con hasta un 46% de itrio. Es un mineral magmático y pegmatítico. Se encuentra en rocas metamórficas de tipo gnéisico o de origen secundario en placeres con otros minerales pesados. Frecuentemente acompaña a la monacita en placeres.

El itrio (Y) se utiliza en diferentes materiales, que se aplican para la fabricación de pantallas de televisor de colores, láser, radar, lente para cámaras fotográficas y ladrillos refractarios. La xenotima se ha localizado, en menor proporción que otros minerales pesados típicos, como la **monacita**, en las arenas de la Ría de Vigo (Pontevedra). Por la zona de Sobrado (A Coruña) aflora un granito gris con anomalía de xenotima.

MINERALES METALÍFEROS Y MENAS

BERILO

El berilo $Be_3Al_2(SiO_3)_6$ es un silicato de berilio y de aluminio. Contiene un 14% de BeO. Puede contener algo de Li, Na, K, Cs y Fe. La **aguamarina** es verde mar o azul claro, la **esmeralda** verde oscura, la **morganita** rosa, el **berilo dorado** y el **heliodoro** amarillo. Muy característica es su forma columnar con prismas de seis caras. Las caras cristalinas muestran normalmente estriaciones.

Principalmente, el berilo se forma en pegmatitas graníticas y, con menor frecuencia, en algunas de sus rocas encajantes (por metamorfismo de contacto). Ciertos filo-

nes de Sn y W de alta temperatura, formaciones de greisen y *skarns*, lo contienen, muchas veces asociado con **topacio**. El berilo se altera a **caolinita**.

El berilo es muy importante para la obtención de berilio. Por su muy baja absorción, el berilio se emplea para las ventanas de tubos de rayos X y de detectores. El berilio se utiliza también para resortes de relojes, herramientas antichispas (su punto de fusión es de unos 2.570 °C) y diferentes aleaciones.

En Galicia el berilo común es muy abundante en las pegmatitas de la provincia de Pontevedra (zona de A Ramallosa, Poio, Valga, Viascón, etc.) donde los cristales alcanzan considerables tamaños. Se encontró cerca de Santiago de Compostela, en el Monte Pedroso, y por la zona de Monterrei (Ourense). Como en muchos otros filones pegmatíticos mineralizados de **casiterita**, se observa como accesorio en el yacimiento de estaño de Gomesende (Ourense) y en las pegmatitas de litio de Vilatuxe (Pontevedra).

BERILO

El berilo es muy importante para la obtención del berilio, con el que se fabrican las ventanas de tubos de rayos X y de detectores, así como resortes de relojes, por ejemplo

Berilo pegmatítico.

Cuadro 24

Berilo

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Amarillento, verde, rosa	Hexagonal	7'5-8	2'7 g/cm³	Blanca

BISMUTINA

La bismutina Bi_2S_3 es la mena principal de bismuto con formas aciculares o tabulares. Se disuelve en ácido nítrico en caliente. El bismuto se utiliza en catalizadores para la preparación del caucho, aleaciones especiales (como, por ejemplo, para fusibles eléctricos), medicamentos, y en la fabricación de vidrio y de cerámica. Uno de los técnicamente muy importantes supraconductores de alta temperatura tiene como base $Bi_2Sr_2CaCu_2O_y$ (BSCCO). Supraconductores se utilizan en sistemas de transferencia de energía y en las tecnologías de imanes, de circulación, de información y comunicación.

La bismutina es un mineral accesorio de altas temperaturas. Se forma con otros minerales, como la casiterita, en yacimientos neumatolíticos o hidrotermales de altas temperaturas, y en yacimientos metasomáticos. En Galicia la bismutina acompaña a las mineralizaciónes de estaño por las zonas de Santa Comba, Monte Neme, Barilongo (A Coruña) y O Carballiño (Ourense). En las mineralizaciones de **arsenopirita** de la zona de Montefaro-Meirás (A Coruña) se observan diminutas inclusiones de bismutina.

Cuadro 25

Bismutina

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Gris plomo o de acero claro, blanco de estaño	Rómbico	2	6'7 g/cm³	Gris

Cuadro 26

Bismuto nativo

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Blanco rojizo o amarillento	Trigonal	2-2'5	9'8 g/cm³	Blanco de plata

BISMUTO NATIVO

El bismuto nativo se presenta en forma granular o laminar, pero también en fibras y agujas. Su (rara) forma de aparición en los yacimientos es parecida a la de la bismutina: hidrotermal de alta temperatura o pegmatítica. En Galicia el bismuto nativo se observó en el yacimiento de estaño y wolframio As Sombras, por la zona de Lobios (Ourense), y en su prolongación portuguesa Dos Carris.

CASITERITA

La casiterita (SnO_2) es el más importante mineral de estaño. Teóricamente contiene el 78'77% de estaño y el 21'23% de oxígeno. Trazas de Fe, Nb y Ta pueden sustituir al Sn. También se pueden observar impurezas de óxidos de hierro, aluminio, cobre, cinc, manganeso y calcio. La casiterita es un mineral opaco y tiene un brillo diamantino graso o resinoso. En general, su tonalidad va de negro a marrón oscuro, aunque puede aparecer en forma rojiza o amarillenta. El nombre proviene de la palabra griega *kassiteros*, que significa 'estaño'. El modo de presentarse más frecuente son cristales de hábito prismático o bipiramidal, sobre todo en forma de maclas de visera o pico de estaño. En mineralizaciones macizas la casiterita puede ser masiva. También se encuentran formas reniformes o fibroso-radiadas, el llamado "estaño leñoso".

La casiterita es un mineral procedente de los procesos de diferenciación de los magmas ácidos. El estaño se acumula, con los otros elementos incompatibles y volátiles (como, por ejemplo, W, Nb, Ta, Li, etc.), al final del proceso de consolidación de las rocas plutónicas ricas en sílice. Por esta razón la casiterita está relacionada con rocas graníticas y se encuentra en ambientes de alta temperatura, apareciendo en pegmatitas, filones neumatolíticos e impregnaciones. Más raramente aparece en depósitos asociados a rocas volcánicas y subvolcánicas.

La gran estabilidad del mineral (dureza, infusibilidad, dificultad de disolución...), y por ello su resistencia a los procesos de alteración y meteorización, permite la formación de yacimientos de eluviones y aluviones donde la casiterita se concentra a veces en volúmenes apropiados para su explotación minera. Hasta finales del siglo XX la utilización más importante del estaño (hasta un 50%) era en la fabricación de envases de hojalata. Últimamente los polímeros de plástico le hacen cada vez más competencia. Pero todavía en la gran mayoría de los casos la hojalata es aún mucho mejor que cualquier sustitutivo. Otra aplicación del estaño, que se conoce desde hace muchos años, son las aleaciones con base de cobre: los bronces. Son aleaciones muy importantes por sus calidades de resistencia a la corrosión, su dureza y el fácil mecanizado. Otro tipo de aleaciones son aquéllas con base de plomo que se utilizan en soldaduras. Las otras utilizaciones, como metal blanco, en la química como óxidos de estaño, como recubrimientos, en la antifricción, como tuberías desmontables y láminas, polvos, barras y ánodos, etc., llegan a consumir un 25% del estaño. Aplicaciones muy modernas para el estaño se

CASITERITA

El más importante mineral de estaño es la casiterita (formada teóricamente por un 78'77% de estaño y un 21'23% de oxígeno). Tradicionalmente su uso principal fue la fabricación de envases de hojalata, aunque también en aleaciones como el bronce y aplicaciones más modernas, como la fabricación de células solares

Casiterita con cuarzo.

Concentrado de casiterita con típica forma de maclas de visera.

Cuadro 27

Casiterita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De pardo a negro	Tetragonal	6-7	6'8-7'1 g/cm³	Blanca

prevén en su virtud como aislador y material insensible a la luz como SnO_2 policristalino. En forma de capas finas, el SnO_2 cerámico policristalino se puede utilizar en la fabricación de células fotoeléctricas, como, por ejemplo, las células solares.

Los depósitos de estaño y wolframio de Galicia están por lo general asociados estrechamente al grupo de los granitos tardíos (Carbonífero Superior-Pérmico Inferior) de la Orogénesis Hercínica. Relacionadas con intrusiones graníticas, las mineralizaciones de estaño y wolframio se encuentran en *stockworks*, en filones agrupados o singulares y en zonas alteradas de greisen. En cuando estratos de caliza que forman parte de la roca encajante de las intrusiones, los depósitos del tipo *skarn* predominan.

La forma de los depósitos, como también la propia intrusión, está controlada por las estructuras tectónicas regionales. Parece que zonas de cabalgamiento y zonas anticlinales son favorables al emplazamiento de intrusiones. Los minerales metálicos son en su mayoría la casiterita y la wolframita, acompañados por sulfuros como: arsenopirita, pirita, calcopirita, pirrotina, galena, blenda, bismutina y también estannina. Minerales típicos de la ganga son el cuarzo, micas y feldespatos potásicos con fluorita, turmalina y siderita.

Galicia es la principal zona de yacimientos de estaño y de wolframio de España, que se explotaron periódicamente cuando lo permitió el precio de mercado. Estos yacimientos forman parte de la provincia metalogenética de Sn-W, que abarca desde A Coruña hasta Jaén, pasando por el norte de Portugal y Cáceres. Este arco con concavidad al nordeste sigue las estructuras del Macizo Hercínico. La zona metalogenética de Silleda-Beariz, que está situada sobre las provinicias de Ourense, Pontevedra y A Coruña, abarca los yacimientos de Sn-W de Silleda, O Testeiro, Beariz, Doade, Novelle, Gomesende y Lobios. El yacimiento de Novelle (Ourense), compuesto por filones mineralizados y placeres aluviales, está situado al sur y sudeste del vértice de Novelle y en las proximidades del pueblo de Calvelos. Los yacimientos de Gomesende se encuentran al norte del pueblo de Escudeiros y al sur del río Arnoia. Son filones de **cuarzo** y diques de pegmatita, aplitas y granitos caolinizados mineralizados de casiterita, **sulfuros**, **wolframita, fluorita**, **turmalina** y **berilo**.

Las localidades más importandes de Galicia son Lousame, Santa Comba, Carballo y Cabana en A Coruña, donde acompañan a la **wolframita**. En la provincia de Pontevedra la casiterita se presenta en el gneis turmalinífero de Carbia y en las pegmatitas de A Lanzada. El mayor yacimiento en la provincia de Ourense se encuentra por Celanova, donde se manifiesta en cristales octaédricos sencillos y maclas de tipo visera y pico de estaño. Las casiteritas de Silleda, Gomesende, Vilar de Cervos y Penouta presentan un brillo diamantino poco frecuente.

Cuadro 28

Columbita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Negro pardo	Rómbica	6-6'5	5'2-8'2 g/cm³	Roja negra

COLUMBITA (VÉASE TAMBIÉN TANTALITA)

La columbita $(Fe, Mn)(Nb, Ta)_2O_6$ es una mezcla de **niobita** $(Fe, Mn)Nb_2O_6$ y **tantalita** $(Fe, Mn)Ta_2O_6$, dominando el contenido de niobio. Se presenta en cristales prismáticos cortos, tabulares y a veces en grupos de grandes cristales paralelos.

La columbita es un típico mineral pegmatítico en macizos graníticos, particularmente en los de carácter albítico y con silicatos líticos. Por meteorización de los yacimientos primarios se forman los depósitos sedimentarios de los placeres. El uso del niobio se describe con el del tántalo. Las aleaciones de niobio se aplican sobre todo en herramientas para cortar, tuberías, super imanes y electrodos de soldadura eléctrica. En Galicia la columbita se encuentra en las arenas procedentes de pegmatitas por las zonas de Avión, Beariz, Maceda, Vences, Verín (Ourense) y Boiro (A Coruña).

ESTANNINA

La estannina es un sulfuro de composición compleja $[(CuS_2)(FeS)(SnS_2)]$ y es también conocida como "pirita de estaño".

Aparece asociada con la casiterita en filones, en forma masiva y granular, pero en general es un mineral raro. Así es también en Galicia. Se encontró en los yacimientos de estaño de Monte Neme, Santa Comba (A Coruña) y Fontao (Pontevedra), como también asociado a los yacimientos de cobre de Basadre (Pontevedra) y con las mineralizaciones de plomo y cinc de Saborido (Pontevedra).

ESPODUMENA

La espodumena $LiAl(SiO_3)_2$ es un mineral del grupo de los **piroxenos** (véase el apartado de los minerales asociados a las rocas básicas). Pero casi únicamente se forma en pegmatitas graníticas, típicamente en grandes cristales prismáticos y tabulares con buena exfoliación y partición. Se altera a —o es sustituido por— moscovita de grano fino, cuarzo, albita, caolinita y otros minerales de arcilla.

La espodumena es el más importante mineral para la extracción del litio y tiene una composición teórica de un 8% de Li_2O. Sin embargo, los concentrados reales tienen un contenido medio variable entre un 4 y un 7%, debido a la sustitución del litio por el sodio, alteraciones parciales e impurezas. El litio se utiliza como aditivo de lubricantes, para pilas, aleaciones usadas en el espacio, vidrios especiales y medicamentos.

Hasta hoy se ha encontrado sólo un yacimiento de espodumena en Galicia. En el sudoeste de Lalín (Pontevedra), entre O Casteliño y Gresande, y unos 2 km al oeste de Vilatuxe, afloran por una longitud de 7 km filones pegmatíticos con espodumena. El filón principal llega a un espesor máximo de unos 8 metros por el oeste de Vilatuxe. El porcentaje de espodumena llega hasta un 21 en el centro del yacimiento. Se pueden observar dos tipos de espodumena. La variante más abundante es de color amarillo verdoso y enseña cristales hasta unos 10 cm de largo y 1 cm de ancho. El segundo tipo forma cristales gruesos, grisáceos, con longitudes de hasta 25 cm de largo y 5 cm de ancho.

Otros afloramientos de espodumena se encuentran en el área de O Testeiro-Doade, en A Guarda (Pontevedra) y en Vimianzo (A Coruña). En la zona de O Testeiro se conocen numerosos diques pegmatíticos que contienen espodumena acompañada de otros minerales, como **casiterita** y **tantalita**.

PETALITA

La petalita $(Li, Na)AlSi_4O_{10}$ es un mineral muy raro y aparece sólo en algunos filones de granito pegmatítico especializados. El contenido teórico de Li_2O es de casi un 42%, aunque en realidad los concentrados varían entre un 3'5 y un 4'5%.

En Galicia la petalita se puede observar escasamente como mineral accesorio en las pegmatitas de Vilatuxe (Lalín, Pontevedra).

AMBLIGONITA

La ambligonita $Al(Li, Na)[PO_4(F, OH)]$ es un fluofosfato lítico. Es un mineral blanco que puede presentar tonalidades azuladas o verdosas debido a las impurezas de otros minerales. El contenido teórico de Li_2O es de un 10'1%, pero en los concentrados sólo llega a un 8 o un 9%.

Es un mineral pegmatítico y se presenta casi sólo en masas exfoliables. En Galicia la ambligonita se puede observar raramente como mineral accesorio en las pegamatitas de Vilatuxe (Lalín, Pontevedra).

Cuadro 29

Estannina

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Gris	Tetragonal	4	4'3-4'5 g/cm³	Negra

Cuadro 30

Espodumena

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De blanco a gris, con varias tonalidades de rosa, amarillo o verde	Monoclínica	6'5-7	3'2 g/cm³	Blanca

Cuadro 31

Petalita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Blanco rojizo o incoloro	Monoclínica	6-6'5	2'39-2'46 g/cm³	Incolora

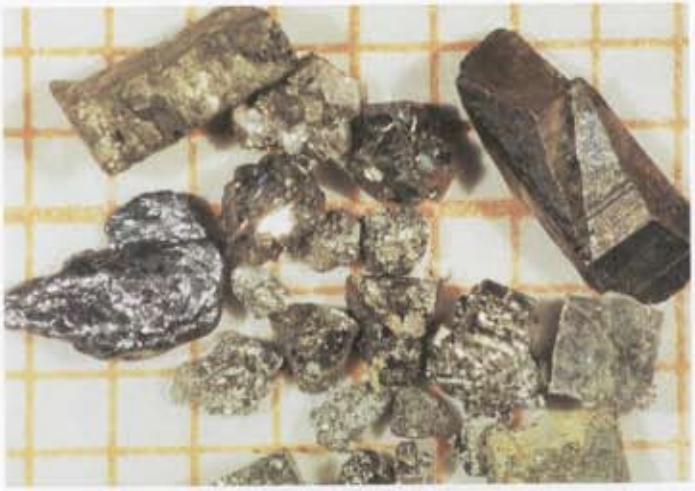
Cuadro 32

Ambligonita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Blanco con tonalidades azuladas o verdosas	Triclínica	6	3'0-3'1 g/cm³	Blanca

MOLIBDENITA

También conocida como "brillo de molibdeno", se caracteriza por su superficie escamosa, flexible, de aspecto graso. Su elevado punto de fusión la convierte en la mena de molibdeno más buscada



Concentrados de sulfuros con molibdenita (brillante con tacto graso), arsenopirita (cristales maclados) y piritas.

Cuadro 33

Molibdenita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Gris de plomo algo azul	Hexagonal	1-1'5	4'65 g/cm³	Negra grisácea o verdusca

MOLIBDENITA

La molibdenita MoS_2, o "brillo de molibdeno", se caracteriza por su superficie escamosa, flexible, con aspecto graso. Es la mena del molibdeno que se busca por su elevado punto de fusión (2.610 °C). El molibdeno metálico se utiliza como filamento de calentadores eléctricos y como fuente de radios isótopos. En aleación o compuesto, se aplica en los motores para cohetes y turbinas. También sirve como lubricante.

Se presenta como formación pegmatítico-neumatolítica, e hidrotermal de alta temperatura, en filones e impregnaciones, muchas veces acompañando a las mineralizaciones de Sn y W.

La molibdenita se presenta en Galicia, sólo como mineral accesorio o de indicios, en muchos de los yacimientos de Sn-W de Lousame y San Finx de Noia (A Coruña) unida a la casiterita.

NIOBITA (VÉASE TANTALITA Y COLUMBITA)

La niobita (Fe, Mn)Nb_2O_6 es uno de los minerales más importantes del niobio. Una aplicación moderna es su utilización como supraconductor (en forma de NbTi y Nb_3Sn) de baja temperatura, que hay que refrigerar con helio líquido. Las aplicaciones tradicionales se discuten con las del tántalo.

SCHEELITA

Después de la wolframita (Fe, Mn)WO_4, el wolframato cálcico, la scheelita ($CaWO_4$) es el mineral más importante del wolframio (o tungsteno). El término "tungsteno" tiene su origen en las palabras suecas *tung* ('pesado') y *sten* ('piedra'), que se utilizaron para la scheelita como "roca pesada". La scheelita, cristalizando en el sistema tetragonal, forma dipirámides, que apenas se encuentran, pues la scheelita es muy frágil, por lo cual se rompe en seguida bajo presión. Eso afecta mucho a la preparación de este mineral, porque se forman polvos ultrafinos durante los procesos de la concentración que se pueden recuperar sólo con dificultades.

El color de la scheelita varía con el contenido de molibdeno, que puede sustituir el wolframio en muy pequeñas cantidades. Importante para la prospección minera de este mineral es su fluorescencia con luz ultravioleta de onda corta mostrando un color que va de blanco azulado a azul vivo.

La scheelita aparece en yacimientos pegmatíticos, desde neumatolíticos hasta hidrotermales, tanto como en yacimientos metasomáticos de contacto (típicamente contacto granito-caliza). Los yacimientos de wolframita están asociados predominantemente a rocas graníticas ácidas, mientras los de scheelita a rocas menos ácidas, como granodioritas y monzonitas de cuarzo.

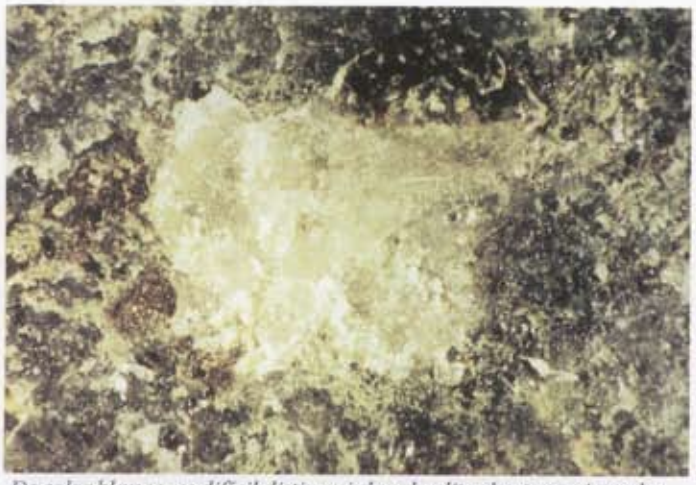
En los yacimientos de wolframio de Galicia, la scheelita acompaña casi siempre a la **wolframita** en más o menos pequeñas cantidades (provincia de A Coruña: Monte Neme, Santa Comba, San Finx; provincia de Pontevedra: Silleda; provincia de Ourense: Cortegada-Monterrei, Maceda, Celanova, Beariz-Doade).

TANTALITA

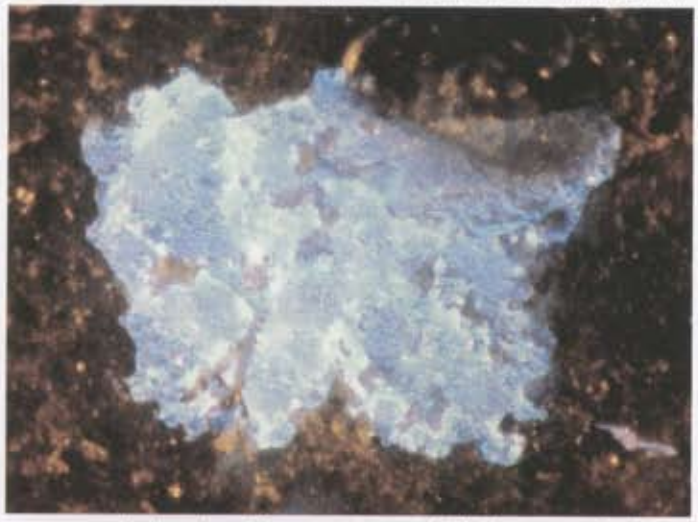
La tantalita (Fe, Mn)Ta_2O_6 es un mineral importante del tántalo como la **columbita** —denominada también **niobita** (Fe, Mn)Nb_2O_6— es el mineral del niobio. Estos

SCHEELITA

Tras la wolframita, la scheelita es el mineral más importante del wolframio. También se conoce como "roca pesada". Con luz ultravioleta de onda corta se vuelve fluorescente, lo que es muy importante para su prospección minera



De color blanco, es difícil distinguir la scheelita de otros minerales...



... pero con la luz ultravioleta muestra un brillo blanco azulado.

Cuadro 34

Scheelita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De blanco (incoloro) a ámbar	Tetragonal	4'5-5	5'9-6'1 g/cm³	De blanco azulado a azul vivo

Scheelita en forma de dipirámides bien cristalizada.

dos minerales constituyen una serie de minerales que varía de forma continua entre la niobita y la tantalita, de tal forma que el peso específico oscila entre 5'19 y 8'2 g/cm³ —aumentando el contenido de tántalo—. En la naturaleza son más frecuentes las mezclas de estos dos minerales. La tantalita cristaliza en el sistema rómbico, y es de color negro pardo, con un brillo de submetálico a subresinoso. Se presenta en cristales de tipo columnar, prismático, o en cristales tabulares y gruesos. A menudo se encuentra en grupos de grandes cristales paralelos o en maclas de corazón. También puede aflorar en forma masiva. Su fragilidad es característica.

Los minerales de la serie niobita-tantalita aparecen siempre como compuestos accesorios en granitos, pegmatitas graníticas y depósitos aluviales y eluviales procedentes de los mismos yacimientos primarios.

Los principales usos del tántalo, así como del niobio, son las ferroaleaciones de ambos metales, que tienen propiedades extremas, tanto con respecto a la resistencia a la corrosión, a la dureza, como a las altas temperaturas. Por estas particularidades, el tántalo se aplica en componentes (condensadores), filamentos incandescentes dentro de tubos de vacío, herramientas de corte...; y el niobio también para herramientas cortantes, tuberías (de oleoductos y gasoductos), superimanes y electrodos de soldadura eléctrica. A principios del siglo XXI el tántalo vive cierta revalorización por ser utilizado en componentes electrónicos de *camcorder* y teléfonos móviles. Las

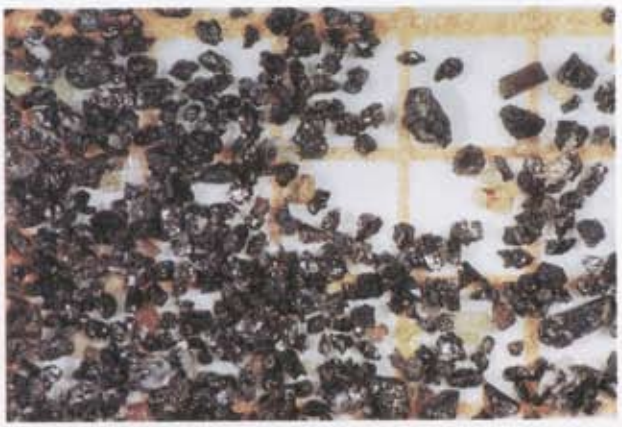
compañías de productos de telecomunicación Sony y Samsung están absorbiendo en la actualidad la mitad del tántalo que se suministra al mercado.

Es interesante citar la aparición de tantalita y niobita (con **monacita**, **ilmenita** y **casiterita**) en las arenas procedentes de pegmatitas de la región gallega: Maceda, Beariz, Doade, Avión, Monterrei, Vences, Verín, Laza (Ourense), Boiro y Noia (A Coruña). Las concentraciones de Ta en estos yacimientos (placeres y también pegmatitas) no son suficientemente altas como para justificar una explotación minera. Pero podrían hacer rentable una explotación de pobres yacimientos de otros metales, como, por ejemplo, de estaño o de litio.

El único yacimiento, anteriormente en explotación (hasta los años ochenta del siglo XX) y el de mayor importancia en Galicia, era la mina de Penouta, situada al sudeste de la provincia de Ourense, dentro del término municipal de Viana do Bolo. Aquí se explotó un granito greisenizado con tantalita (ley media: 125 g/t) y **casiterita** (ley media: 520 g/t) diseminadas.

TANTALITA

Este importante mineral del tántalo es de color negro pardo con brillo y característica fragilidad.
El tántalo se emplea en componentes de condensadores, filamentos incandescentes de tubos de vacío, herramientas de corte, componentes eléctricos y teléfonos móviles



Concentrado de tantalita.

Cuadro 35

Tantalita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Negro pardo	Rómbica	6-6'5	8'2 g/cm³	Roja negra

El yacimiento Nuestra Señora del Pilar se encuentra situado en Vences, al norte de Verín (Ourense). Se han estimado unas reservas de unas 42.000 toneladas de todo--uno que corresponden a un filón de pegmatitas mineralizado en Ta-Nb. Otras posibilidades metalogenéticas de Ta y Nb existen en el término de Monterrei (Ourense), donde las mineralizaciones se presentan en diseminaciones dentro de las pegmatitas que constituyen el flanco oeste del anticlinal de Verín y los aluviales.

TUNGSTITA

Este mineral amarillo, algo verdoso, es rómbico; forma usualmente masas sólidas o cristales microscópicos. La tungstita (WO_3 x H_2O) se denomina también "ocre de wolframio".

Se forma por alteración de scheelita y wolframita en los yacimientos de estas especies. En Galicia es un mineral escaso y no es interesante como mena de wolframio.

WOLFRAMITA

La wolframita es una mezcla isomorfa de **hübnerita** ($MnWO_4$) y **ferberita** ($FeWO_4$). Es un mineral monoclínico, de negro (la ferberita) a pardo rojizo (la hübnerita) con raya negra pardusca, brillo metálico o resinoso y exfoliación perfecta. Se presenta en cristales de hábito tabular (el primer pinacoide con un hábito foliar y caras estriadas), como también en formas hojosas, columnares o laminares.

Los minerales de la serie de la wolframita aparecen en yacimientos, sobre todo en filones, pegmatíticos-neumatolíticos e hidrotermales. Se encuentran frecuentemente acompañados de casiterita, scheelita y sulfuros. En las cercanías de filones mineralizados (yacimientos primarios) de wolframita se pueden formar placeres de menas por su acumulación eluvial y/o aluvial. Pero, como la wolframita es un mineral muy desmenuzable y pesado, los disgregados no se transportan muy lejos del yacimiento primario.

La wolframita es el más importante mineral de wolframio. Aparte de la alta densidad del wolframio (19'3 g/cm³), la más espectacular propiedad es su temperatura de fusión: con 3.419 °C, es la más alta de todos los metales. La temperatura de ebullición es de 5.930 °C. La palabra "wolfram" procede de la palabra alemana *wolf*, 'lobo'. Para los antiguos mineros del estaño, el wolframio

(la wolframita) fue un mineral "malo", sin valor, que se "comió" al estaño en el proceso metalúrgico.

Su elevado punto de fusión, su tenacidad y su resistencia a la corrosión, junto con su dureza, son las propiedades que lo hacen casi imprescindible en la industria siderúrgica. En la industria eléctrica el wolframio se emplea como filamentos de lámparas, pero está perdiendo importancia por la introducción de las bombillas fluorescentes. En los bloques de coches y aviones el wolframio se utiliza en las partes que tienen que soportar elevadas temperaturas y grandes presiones. El consumidor de wolframio más importante es la industria de metal duro, que consume más del 50% de la producción mundial para la fabricación de carburo de tungsteno. Un 20% de la extracción de wolframio se necesita en la industria de acero, sobre todo para herramientas. Para la fabricación de aleaciones especiales, sirve menos de un 10%. El resto se emplea en la metalurgia de polvos, para hilos de filamentos, varas, chapas y piezas moldeadas de wolframio y de aleaciones de wolframio. A principios del tercer milenio hay una tendencia en el desarrollo de nuevos materiales de cerámica que pueden reemplazar algunas aplicaciones de alta temperatura y presión que eran el dominio de las aleaciones de wolframio.

La wolframita se encuentra en Galicia en filones cuarcíferos que atraviesan el macizo granítico de Ribadavia, en las orillas del Tambre, en Santiago de Carballosa, Penouta, A Pobra do Caramiñal, San Finx de Noia, Silleda, Fontao, Merza, Santa Comba, Monte Neme, Verín, Monterrei, Montes de Avión, Beariz, Carbia y Lousame. Los yacimientos más importantes en la región gallega, también para la producción de wolframita hasta principios de los años ochenta del siglo XX, son los del cinturón metalogénico de Sn-W, que comienza por la zona de Carballo, pasando por Santa Comba y Noia (A Coruña), atraviesa las provincias gallegas de Pontevedra (por ejemplo: Silleda) y Ourense (por ejemplo: Fontao y Ribadavia) y penetra en Zamora y el nordeste de Portugal. Minas de explotación a cielo abierto que tenían cierta importancia en Galicia hasta los años ochenta eran las de Monte Neme y Santa Comba (provincia de A Coruña). En minería subterránea tenían importancia las explotaciones de San Finx (Noia) y Santa Comba, donde se explotó también el estaño como subproducto.

La antigua mina de San Finx está situada en el término municipal de Noia. La explotación se realizó por labores mineras de interior. El depósito está formado por una serie de filones de cuarzo con mineralizaciones explotables de wolframita y casiterita. Las leyes varían del 0'8 al 1'5% con una relación del 2 al 3 entre la wolframita y la **casiterita**. Los filones mineralizados presentan una dirección de nordeste al sudoeste, son subverticales, tienen potencias de 1 a 10 metros y corridas de unos 1.100 metros de longitud. La ganga de los filones es casi exclusivamente cuarzo con algo de **feldespato**. Las menas se encuentran frecuentemente acompañadas de **arsenopirita** (FeAsS), **pirita**, **calcopirita** y **molibdenita**. Los filones mineralizados encajan en esquistos y cuarzo-gneis de dos micas fuertemente plegados y metamorfizados. En profundidad, las rocas encajantes son migmatitas y granitos.

La antigua explotación de Santa Comba se encuentra situada en el término municipal de Santa Comba. El depósito está formado por una serie de filones de cuarzo mineralizado de dirección nornordeste-sursudoeste. Los filones tienen potencias de 3 a 50 cm y son inclinados con unos 75 grados hacia el este. La mineralización es wolframita, **casiterita**, **arsenopirita**, **calcopirita**, **pirita**, **fluorita** y **turmalina**. Las leyes varían del 0'5 al 1'5% de WO_3. La red filoniana aparece dentro de un afloramiento de granito biotítico de grano grueso con **moscovita**. Sus dimensiones aproximadas son de 7'5 km de longitud por unos 2 km de anchura. Las últimas explotaciones en Santa Comba se realizaron por labores mineras de interior mediante acceso por socavones, galerías en dirección, realce sobre los filones y contrapozos. El pro-

Cuadro 36

Tungstita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Amarillo, algo verdoso	Rómbica	1-2'5	5'5 g/cm³	Amarilla

Cuadro 37

Wolframita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De negro (Fe) a pardo rojizo oscuro (Mn)	Monoclínica	5-5'5	7'1-7'5 g/cm³	Negra pardusca

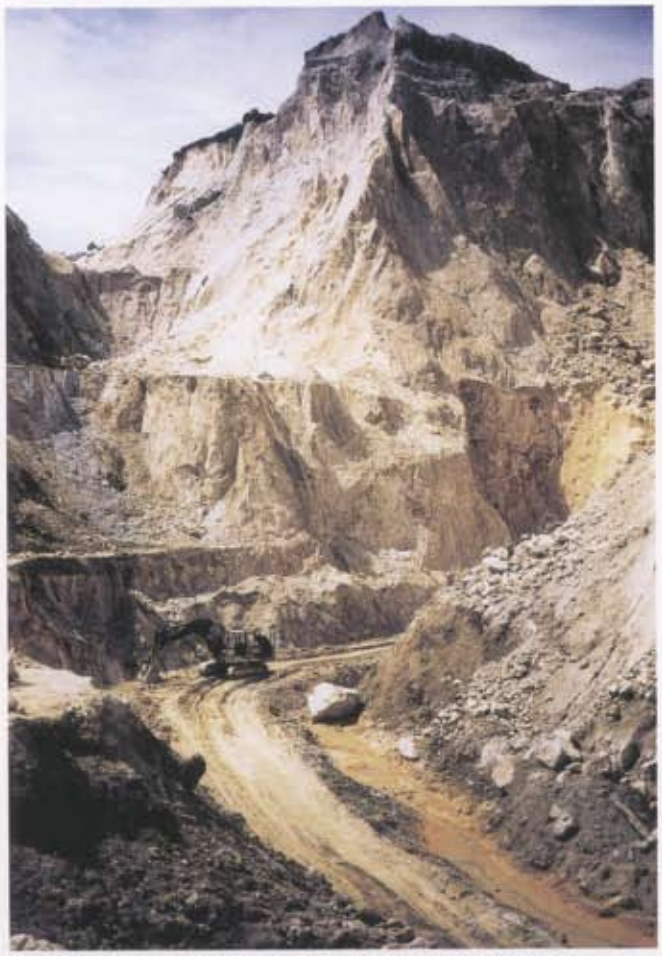
ceso de concentración se realizó en un lavadero nuevo mediante trituración, clasificación, concentración gravimétrica, flotación, secado, separación electroestática y magnética, y tostación.

En el término municipal de Carballo (A Coruña), en la ladera sur del Monte Neme, se sitúan las antiguas minas de Monte Neme. Una serie de pequeños filones de cuarzo, que contienen cantidades variables de wolframio y estaño, aparecen paralelos a la estructura principal que lleva una dirección de nornordeste-sursudoeste a nordeste-sudoeste. La longitud de los filones que encajan en un gneis granítico porfidoblástico es de unos 600 a 800 m, con buzamiento subvertical y potencias variables entre unos milímetros hasta unos 30 cm. Las mineralizaciones son wolframita y **casiterita** en cantidades aproximadamente iguales. La ley del todo-uno es del 0'5% en wolframita y del 0'5% de casiterita. Como minerales metálicos accesorios, se encuentran **arsenopirita**, **calcopirita** y **scheelita**. Al presentarse los filones suficientemente juntos y abundantes, la explotación del todo-uno se permitió a cielo abierto en una anchura de 20 a 25 m. La profundidad máxima explotada era de unos 120 m.

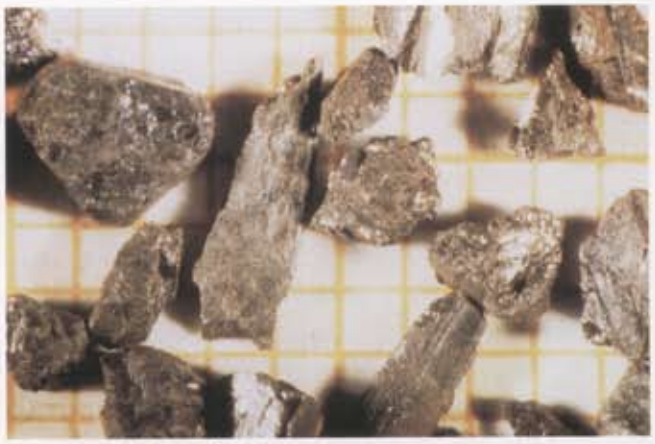
En los términos municipales de Arteixo y Laracha (A Coruña) se conocen una serie de pequeñas explotaciones sobre yacimientos de wolframita y **casiterita** que fueron trabajados de forma muy rudimentaria entre los años 1940 y 1968. En toda esta zona es frecuente encontrar aluviones y coluviones con mineralizaciones de casiterita, como, por ejemplo, en las playas de A Vaca, Barrañán, Caión, Loureda, Morás, Uxes, Bregua, Vilarrodís y Sobico.

WOLFRAMITA

En la ladera sur de Monte Neme (Carballo, A Coruña) se sitúan unas antiguas minas con filones de cuarzo que contienen wolframio y estaño.
La wolframita, muy desmenuzable y pesada, es el más importante mineral de wolframio. Su propiedad más espectacular es la temperatura de fusión (3.419 °C), la más alta de todos los metales



Explotación antigua de estaño y wolframio a cielo abierto en Monte Neme.



Concentrado de wolframita.

Wolframita negra con las típicas estrías basadas en crecimientos de maclas.

DOMINIO DE ROCAS BÁSICAS Y ULTRABÁSICAS (Y SUS EQUIVALENTES METAMÓRFICOS)

Las rocas metamórficas básicas (metabasitas) y ultrabásicas que afloran en la parte norte-central de Galicia (zonas de Ortegal y Ordes) son rocas magmáticas que se formaron debajo, o en el fondo, de un océano desaparecido hace varios cientos de millones de años. Durante este largo tiempo sufrieron transformaciones, también en su composición mineral, como consecuencia de cambios de temperatura y de presión. Este proceso se llama también "metamorfismo".

En Galicia la provincia de A Coruña tiene una particularidad geológica, que son las rocas básicas y ultrabásicas con sus minerales asociados. Se reflejan en las grandes unidades geológicas del noroeste de Galicia, las Unidades Básicas-Ultrabásicas de Cabo Ortegal y Ordes y la Zanja Blastomilonítica, la última extendiéndose hacia el sur hasta la frontera con Portugal. Estas unidades se caracterizan por los afloramientos de gabros (roca plutónica básica de grano grueso y de color oscuro verdoso) más o menos metamorfizados, anfibolitas, piroxenitas, etc.

Las metabasitas son basaltos metamorfizados. El basalto es de composición básica (pobre en SiO_2 en comparación con las rocas ácidas como los granitos) y se compone fundamentalmente de **plagioclasa**, **piroxeno** y **olivino**. Las rocas ultrabásicas se formaron en zonas más profundas de la tierra y son todavía más pobres en silicio que los basaltos. Los minerales más frecuentes en ellos son el olivino, el piroxeno y la **hornblenda** en partes muy variadas. Hay variedades constituidas por más de un 90% de uno de esos minerales. La peridotita es de tonalidad de verdosa a negra, compuesta esencialmente de los minerales olivino y piroxeno. La roca compuesta únicamente de piroxeno se llama piroxenita; y la compuesta sólo de olivino, dunita. Por la zona de Cabo Ortegal se explota un yacimiento de dunitas que se emplean en siderurgia.

Ante el aumento de presión y temperatura, los minerales de estas rocas básicas y ultrabásicas fueron inestables, formando nuevos minerales. Según el grado del metamorfismo, se formaron **anfíboles**, **piroxenos** y **granates**. En un primer paso los basaltos se transformaron en un esquisto verde por el crecimiento de los anfíboles verdosos. La transformación de los minerales máficos (piroxenos, olivinos), constituyentes de las rocas básicas y ultrabásicas, a anfíboles culmina en una roca llamada anfibolita (por la gran abundancia de anfíboles).

La roca metamórfica de muy alto grado equivalente a las rocas básicas es la eclogita, que se formó a temperaturas de unos 800-1.000 °C. La eclogita es una roca muy decorativa, compuesta de piroxenos verdes y de granates rojos. Un afloramiento muy espectacular de esta roca en Galicia se encuentra por la costa rocosa de Cabo Ortegal, en el norte de la provincia de A Coruña.

La serpentinita es una roca metamórfica compacta que aparece frecuentemente listada con bandas verdes y rojizas. Puede tener cualquier color verde, del verde grisáceo al verde oscuro. Por su coloración atractiva, se busca mucho como piedra ornamental. Esta roca está compuesta en su mayoría de minerales de serpentina, que se forma por alteración de los olivinos y piroxenos de las rocas ultrabásicas. En vista de su distribución, las serpentinitas aparecen en dos dominios muy distintos: en la base de los macizos ultrabásicos bandeados y como cuerpos macizos frecuentemente asociados a grandes zonas de fallas.

MINERALES ESENCIALES EN LAS ROCAS BÁSICAS Y ULTRABÁSICAS

ANFÍBOLES

Los anfíboles constituyen un grupo de gran complejidad, de muchos miembros y variedades. Se han efectuado varias clasificaciones de anfíboles (véase el cuadro 38), pero en la naturaleza no existen muchos de los términos extremos sino mezclas. Por su característica forma prismática y columnar, se pueden distinguir fácilmente de otros minerales de color negro a verdoso. Las líneas de exfoliación forman ángulos de 124° y 56°, que son muy característicos y las diferencian de los 90° de los **piroxenos**. Los anfíboles son componentes de roca esenciales. El mineral anfíbol se llama frecuentemente también **hornblenda** y es un silicato rico en hierro y magnesio.

Las anfibolitas, una roca metamórfica muy abundante en Galicia, son rocas compuestas principalmente de anfíboles y **feldespatos**. Son rocas densas de color verde oscuro, duras y tenaces. En Galicia se localizan en los macizos de rocas básicas que afloran por la zonas de

Cuadro 38

Anfíboles

Constituyen un grupo de gran complejidad, siendo dominantes en la composición de las anfibolitas, una de las principales rocas básicas de Galicia

Anfíboles rómbicos	Fórmula química	Color
Antofilita	$(Mg, Fe^{2+}, Al)_7(Si, Al)_8O_{22}(OH)_2$	Marrón
Anfíboles monoclínicos	**Fórmula química**	**Color**
Cummingtonita--grunerita	$(Mg, Fe^{2+})_7Si_8O_{22}(OH)_2$ $-(Fe^{2+}, Mg, Mn)_7Si_8O_{22}(OH)_2$	De incoloro a marrón pálido
Tremolita--actinolita	$Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$ $-Ca_2(Mg, Fe^{2+})_5Si_8O_{22}(OH)_2$	Blanco, pardo, verde, negro
Edenita	$Ca_2Na(Mg_{4-5}, Al_{1-0})(Si_{6-8}, Al_{2-0})\ O_{22}\ (OH, F)_2$	Verde
Hornblenda	$Ca_2Na(Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al)_5(Si_{6-7}, Al_{2-1})\ O_{22}\ (OH, F)_2$	Verde
Hornblenda basáltica	$Ca_2Na(Mg, Fe^{2+}, Fe, Al, Ti)_5(Si_{6-7}, Al_{2-1})\ O_{22}(O, OH)_2$	De marrón a negro
Hastingsita	$(Ca_{2-1.5}Na+K_{1-1.5})(Fe^{2+}, Mg)_{4-3}Fe^{3+}_{1-2}(Si_{5.5-6.5}, Al_{2.5-1.5})$ $O_{22}\ (O, OH)_2$	Verde
Anfíboles alcalinos	**Fórmula química**	**Color**
Arvedsonita	$(Na_{2.25}, Ca_{1-0.5})(Fe^{2+}_{4.25}, Mg_{0.5-1.5})Fe^{3+}_{1.5-0.5}Si_8O_{22}(OH)_2$	Verde azulado
Riebeckita	$Na_2Fe^{2+}_3Fe^{3+}_2Si_8O_{22}\ (OH)_2$	De azul a negro
Glaucofana	$Na_2(Mg, Fe^{2+})_3Al_2Si_8O_{22}\ (OH)_2$	De azul a violeta

Cuadro 39

Antofilita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De marrón a gris amarillento	Rómbica	5'2	2'9-3'2 g/cm³	—

Cuadro 40

Cummingtonita-Grunerita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De incoloro a marrón pálido	Monoclínica	5-6	2'9-3'4 g/cm³	Blanca

Santiago de Compostela, Melide y Ortegal (A Coruña), Lalín y Forcarei (Pontevedra). Muchos de los afloramientos de anfibolitas han sido objeto de explotaciones para su utilización como áridos de carretera. La producción anual en Galicia es aproximadamente de un millón de toneladas. Las reservas son considerables para poder abastecer también la demanda futura.

ANTOFILITA

La antofilita es rómbica y se presenta típicamente en cristales alargados prismáticos, aunque también pueden ser columnares, hojosos, fibrosos o asbestiformes. Se forma como mineral secundario hidrotermal en serpentinitas y peridotitas alteradas, frecuentemente con talco, actinolita, **magnesita**, vermiculita y clorita. También es frecuente en las rocas metamórficas, como los esquistos, anfibolitas, gneis y granulitas.

La **gedrita**, una variedad rica en Al, se observa en los gneis que afloran por el sur de Arán (oeste de Santa Comba, provincia de A Coruña).

SERIE DE CUMMINGTONITA-GRUNERITA

La mayoría de las cummingtonitas tienen más Fe que Mg. La cummingtonita pasa gradualmente a grunerita al aumentar el Fe^{2+}. La serie es monoclínica y enseña formas fibrosas, asbestiformes o columnares en agregados irregulares, paralelos o radiales. La cummingtonita se presenta casi exclusivamente en rocas metamórficas, como los gneis, corneanas, esquistos, anfibolitas y granulitas. La grunerita es muy frecuentes en rocas ricas en hierro, como los esquistos con **magnetita** y/o **hematita**. Las gruneritas se alteran a **limonita**.

La cummingtonita se encuentra en los gabros anfibolizados al norte de Pontedeume (A Coruña). La grunerita se observa en los gneis que afloran por el sur de Zamáns (término de Vigo, provincia de Pontevedra).

SERIE DE TREMOLITA-ACTINOLITA

La tremolita pasa imperceptiblemente a actinolita. Los cristales de la tremolita son alargados paralelamente, de columnares a fibrosos; los de la actinolita, de hojas cortas o largas. La tremolita es en general un producto

del metamorfismo de contacto y regional de calizas magnésicas y dolomías impuras. También se encuentra en esquistos y serpentinas. Por alteración, se transforma a **talco**. La actinolita llega a tener hasta un 20% de óxidos de hierro (FeO y Fe_2O_3). El efecto pleocroico aumenta con el contenido de Fe^{2+}. Se presenta en corneanas con silicatos de calcio, en esquistos. También se forma por alteración hidrotermal de rocas básicas y ultrabásicas. Se transforma a **clorita** por alteración.

Esta serie de anfíboles se emplea como piedra ornamental. Las variedades asbestiformes se llaman **amiantos** y sirven para la fabricación de trajes antiinflamatorios.

El amianto, asbesto de **actinolita** o asbesto de **hornblenda**, es una variedad fibrosa de la **serpentina**, respectivamente de la hornblenda. El asbesto blanco (de serpentina o **crisotilo**), de brillo sedoso, flexible y de fibras largas, se diferencia del asbesto azul (de **hornblenda**), que es menos flexible pero muy resistente a los ácidos. El amianto se encuentra muy extendido en Galicia, sobre todo en las zonas de San Adrián y Cabo Ortegal (A Coruña).

EDENITA

La edenita es una hornblenda pobre en hierro, pero aumenta en la variedad pargasita. Se forma principalmente en mármoles con magnesio de origen metasomático.

HORNBLENDA

La hornblenda, u hornblenda común verde, presenta diversas tonalidades de verde a marrón con un marcado pleocroísmo. Al calentar la hornblenda verde ordinaria, el Fe^{2+} se convierte en Fe^{3+} y el color cambia a marrón. Los cristales son prismáticos, pero la hornblenda puede ser también fibrosa. Contiene más hierro que la **hornblenda basáltica** y su color es más verde.

La hornblenda es muy frecuente en las rocas ígneas y metamórficas. Dentro de las rocas ígneas, más frecuentemente en las variedades plutónicas, se encuentra como mineral primario desde peridotitas hasta granitos. Es el componente ferromagnesiano más frecuente en las dioritas y tonalitas. La hornblenda de origen secundario es frecuente en peridotitas y gabros. La hornblenda secundaria que sustituye a la augita y el diópsido (piroxenos) se llama **uralita**. La hornblenda se presenta también como grandes cristales en las rocas extrusivas. En rocas metamórficas, la hornblenda se observa en mármoles, esquistos, eclogitas, anfibolitas, gneis y granulitas. La hornblenda primaria en las rocas intrusivas puede ser sustituida por biotita. Se altera también a clorita y magnetita o epidota y cuarzo.

La hornblenda se encuentra en las anfibolitas de Lugo, especialmente por la zona de Goiriz, cerca de Vilalba, y en las pizarras cloríticas de A Parrocha, Goián, Candia, Castromao y Petín. La hornblenda es un componente importante de los macizos granodioríticos de O Pindo (Municipio de Carnota, provincia de A Coruña), Castroverde (Lugo), Caldas de Reis y O Porriño (Pontevedra).

HORNBLENDA BASÁLTICA

La hornblenda basáltica, u oxihornblenda, se encuentra principalmente como grandes cristales en rocas ígneas extrusivas y subvolcánicas. Se caracteriza

Cuadro 41

Tremolita-Actinolita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Blanco o pardo (tremolita), de negro a verde (actinolita)	Monoclínica	5-6	3 g/cm³	Blanca o verdosa

Cuadro 42

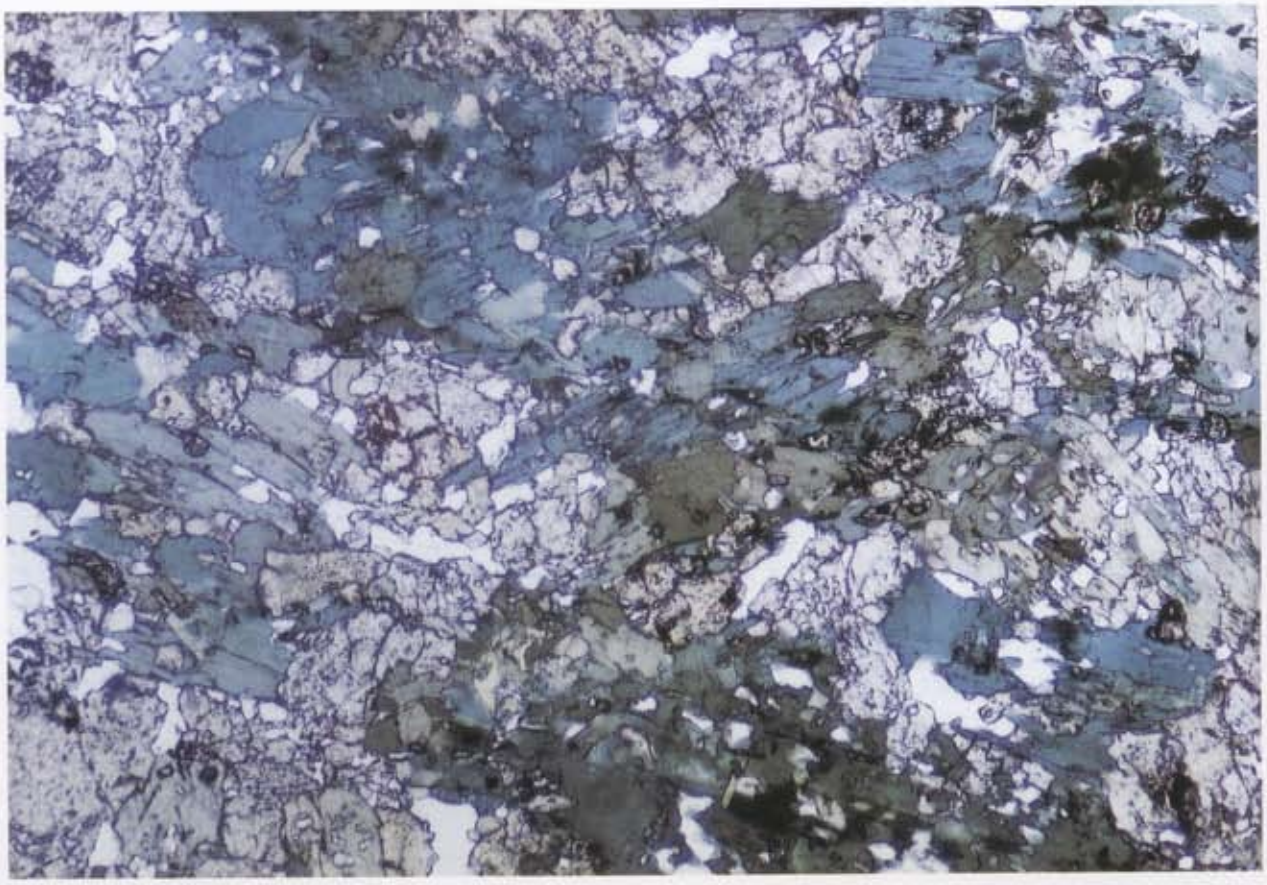
Edenita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Pardo verdoso o verde	Monoclínica	5-6	3'18 g/cm³	Incolora

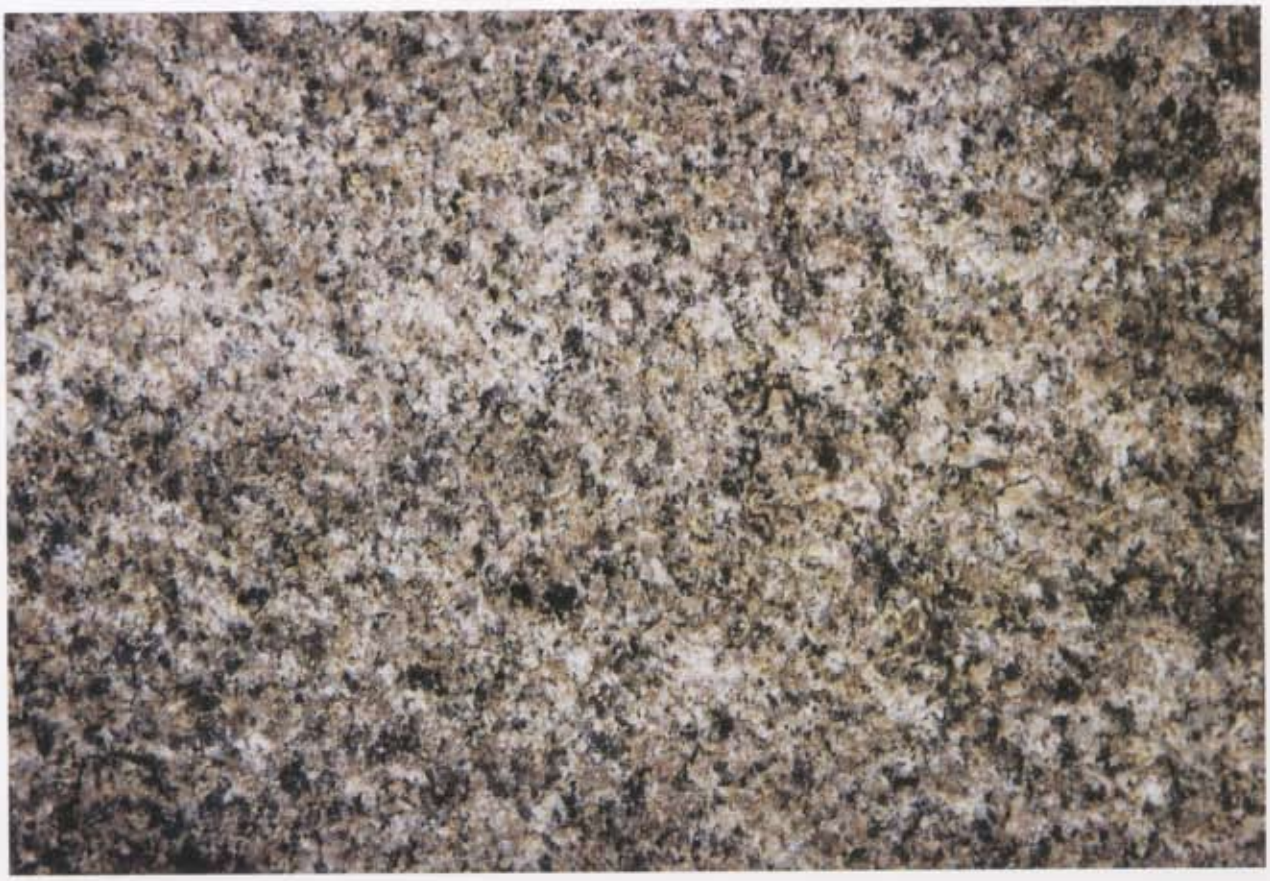
Cuadro 43

Hornblenda

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Verde, de verde azulado a negro	Monoclínica	5-6	3-3'5 g/cm³	De verde grisácea a verde oscura



El mineral anfibol también se llama "hornblenda". En la imagen, hornblenda común verdosa en lâmina delgada.



Granodiorita rofiza de O Pindo (Carnota, A Coruña) con hornblenda negra milimétrica.

por su color marrón y es fuertemente pleocroica, debido a los altos contenidos en Ti (hasta un 10%). Numerosas inclusiones, sobre todo por los bordes, pueden hacerla opaca.

HASTINGSITA

La hastingsita se caracteriza por tener un contenido bajo de Si para ser un anfibol y por un elevado contenido en Na y Fe. Presenta tonos de verde, verde azul y marrón con marcado pleocroísmo. La hastingsita se forma en general en rocas ígneas alcalinas o en mármoles y calizas metasomatizadas. Puede ser también un producto de la alteración de la augita.

ARVEDSONITA

La arvedsonita, como la riebeckita y la glaucofana, pertenece al grupo de los anfiboles alcalinos (ricos en Na, pobres en Ca).

Se presenta principalmente en granitos y sienitas alcalinos y en pegmatitas sieníticas.

RIEBECKITA

Entre los anfiboles, la riebeckita se caracteriza químicamente por el alto contenido en Si, Fe y Na.

Se forma en rocas ígneas ricas en Na, como los granitos y sienitas alcalinos, y en gneis graníticos. Gneis con riebeckita afloran en el Monte Castro (Vigo, provincia de Pontevedra), por la zona entre el Embalse de A Fervenza y el Monte Aro (A Coruña), y en el sur de Marzoa (Pontevedra).

GLAUCOFANA

La glaucofana tiene una composición variable y es deficitaria en Fe. Existe una serie de mezclas entre los extremos de la glaucofana y la tremolita. Se presenta en cristales prismáticos y frecuentemente en masas fibrosas o columnares.

La glaucofana es principalmente un mineral metamórfico y se encuentra en pizarras, esquistos, eclogitas y anfibolitas. En Galicia se encuentra en los gneis del Monte do Galiñeiro (Pontevedra), en las rocas básicas y ultrabásicas de los complejos de Cabo Ortegal, Valdoviño-Pontedeume, Melide-Sobrado, Agolada-Cances (A Coruña) y por el cinturón blastomilonítico que se extiende desde Malpica de Bergantiños, Zas y Mazaricos a Noia, y por la zona de Santiago de Compostela, Bandeira y de Silleda a Lalín (Pontevedra).

Cuadro 44

Hornblenda basáltica

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De marrón a negro	Monoclínica	5-6	2'9-3'4 g/cm³	Verde grisácea

Cuadro 45

Arvedsonita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De verde azulado a negro	Monoclínica	5-6	3'45 g/cm³	Gris azul oscura

Cuadro 46

Riebeckita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De negro a azul negruzco	Monoclínica	5-6	3'4 g/cm³	Azul oscura a gris

Cuadro 47

Glaucofana

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De azul a violeta	Monoclínica	6-6'5	3-3'15 g/cm³	Gris azulada

GRUPO DE LOS PIROXENOS

Los piroxenos constituyen un importante grupo de minerales petrogénicos. Estos minerales de color que va de negro a verdoso están muy extendidos en rocas básicas y ultrabásicas y en sus equivalentes metamórficos. La forma de los piroxenos es muy característica. Los cristales son prismáticos, en general, con secciones transversales de cuatro o ocho lados. Las líneas de exfoliación se cortan con ángulos de 93 y 87°, por lo cual se pueden distinguir fácilmente de los anfiboles.

Los ortopiroxenos (rómbicos) forman una serie de minerales entre los términos extremos de la enstatita

($MgSiO_3$) y la ortoferrosilita ($FeSiO_3$). Dentro de los clinopiroxenos hay dos subdivisiones importantes: el grupo de las augitas y el grupo de los piroxenos alcalinos. A continuación se describen sólo los piroxenos que están presentes en el subsuelo gallego.

En Galicia los piroxenos son componentes mayores y menores en las rocas básicas y ultrabásicas que afloran por la zona del Cabo Ortegal, por los cinturones ultrabásicos-básicos de Curtis-Sobrado-Melide (A Coruña), Santiago de Compostela-Bandeira-Silleda-Lalín (Pontevedra) y Agolada-Cances (A Coruña), y por las regiones de Monte Castelo y Santabaia (Vilalba, Lugo). Se encuentran también en varias localidades de la Zanja Blastomilonítica que se extiende de Malpica de Bergantiños a Noia pasando por Zas y Mazaricos (A Coruña).

Cuadro 48

Grupo de los piroxenos

Este grupo de minerales está muy extendido en rocas básicas y ultrabásicas y en sus equivalentes metamórficos

Ortopiroxenos (rómbicos)	Fórmula química	Color
Enstatita	$MgSiO_3$	De blanco grisáceo a verde
Broncita	En_{80}-En_{90}	De marrón a verde
Hiperstena	En_{60}-En_{80}	De verde oscuro a negro
Ferrohiperstena	En_{50}-En_{12}	De marrón verdoso a negro
Ortoferrosilita	$FeSiO_3$	De marrón oscuro a negro
Clinopiroxenos (monoclinos) grupo de las augitas	**Fórmula química**	**Color**
Diópsido--hedenbergita	$CaMgSi_2O_6$-$CaFeSi_2O_6$	De verde a gris
Augita-augita ferrosa	$Ca(Mg, Fe^{2+}, Al)(Si, Al)_2O_6$-$Ca(Fe^{2+}, Mg, Al)(Si, Al)_2O_6$	Verde, marrón, negro
Clinoenstatita--pigeonita--clinohiperstena	$Mg_2Si_2O_6$-$(Ca, Mg)(Mg, Fe^{2+})Si_2O_6$-$(Fe^{2+}, Mg)_2Si_2O_6$	De incoloro a verdoso, de verde a negro
Clinopiroxenos (monoclinos) grupos de los piroxenos alcalinos	**Fórmula química**	**Color**
Egirina-jadeíta	$NaFeSi_2O_6$-$NaAlSi_2O_6$	De verde a negro, blanco
Egirina augita-egirina	$(Ca, Na)(Fe^{2+}, Mg, Fe^{3+}, Al)(Si, Al)_2O_6$-$NaFeSi_2O_6$	De verde a negro verdoso

ENSTATITA

Se presenta por lo general en masas laminares o fibrosas. Como mineral primario, la enstatita es principalmente una componente importante de las peridotitas, piroxenitas y serpentinitas. La enstatita se altera fácilmente a antigorita.

HIPERSTENA

La broncita, la hiperstena y la ferrohiperstena no se diferencian en esta descripción debido a su gran semejanza. La ortoferrosilita sólo se encuentra raramente en la naturaleza.

Estos anfíboles se hallan en rocas ígneas tanto intrusivas como extrusivas, e igualmente en básicas o intermedias. En rocas metamórficas se encuentra en eclogitas, anfibolitas y granulitas. En Galicia la **broncita** se ha observado en las piroxenitas que afloran cerca de Truebe, al sudoeste de Santa Comba (A Coruña).

DIÓPSIDO

Los piroxenos de la serie diópsido-hedenbergita se diferencian en los contenidos de Mg y Fe. El diópsido es la variación rica en Mg. Es un mineral metamórfico que

Cuadro 49

Enstatita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De blanco grisáceo a verde oscuro	Rómbica	5'5	3'15 g/cm³	Incolora o gris

Cuadro 50

Hiperstena

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Verde oscuro o negro	Rómbica	5-6	3'3-3'5 g/cm³	Gris

se encuentra sobre todo en mármoles magnesianos impuros, esquistos calcáreos, gneis anfibólicos y granulitas piroxénicas.

En Galicia el diópsido es muy abundante en las rocas ultrabásicas en la falda oriental de la Serra da Capelada (A Coruña): por ejemplo, en la localidad denominada A Costa do Labrador, a la izquierda del arroyo de Paradilla. En las anfibolitas granatíferas de Arinteiro (O Pino, A Coruña) se presenta un piroxeno de la serie diópsido--hedenbergita.

AUGITA

Los cristales de la augita tienen forma de prismas cortos y gruesos con alargamiento perpendicular a la base, que es octogonal.

La augita es un mineral ígneo frecuente, especialmente en las rocas que van de ultrabásicas a intermedias. Con respecto a las rocas metamórficas, aparece en algunos gneis de colores oscuros y en granulitas piroxénicas.

Cuadro 51

Diópsido

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Verde claro o gris amarillento	Monoclínica	5-6	3'3 g/cm³	Blanca o verde grisácea

Cuadro 52

Augita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De negro a verde grisáceo	Monoclínica	6	3'4 g/cm³	Gris verdosa

Cuadro 53

Egirina-Augita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De verde claro a negro verdusco	Monoclínica	5'5-6	3'4-3'5 g/cm³	Verde grisácea

Una augita rica en titanio, la titanoaugita, se puede encuentrar en el gabro que está cerca de San Cristovo de Cousa (Pontevedra).

EGIRINA-AUGITA

Los minerales agrupados como egirina-augita se consideran como augita sódica, augita ferrosa sódica o variedades más ricas en Ca. Este grupo de augitas se encuentra en rocas ígneas ricas en Na, como, por ejemplo, granitos alcalinos y gneis equivalentes.

La egirina y la egirina-augita se pueden observar en los gneis alcalinos en la zona entre el Monte Castro y la Serra do Galiñeiro (Pontevedra), como también cerca del embalse de A Fervenza, entre los términos de Mazaricos y Dumbría (A Coruña), y sobre el río Deza al sur de Merza (Pontevedra).

GRUPO DE LOS OLIVINOS

Los olivinos son minerales muy extendidos en rocas básicas y ultrabásicas, como productos de la cristalización de magmas pobres en sílice y ricos en magnesio. Son mezclas isomorfas de la **forsterita** (Mg_2SiO_4) y la **fayalita** (Fe_2SiO_4). Se presentan en cristales de hábito muy variable, tabulares gruesos o prismáticos. El peridoto es una variedad noble muy apreciada en joyería.

FORSTERITA

En la forsterita predomina el contenido de Mg sobre el contenido de Fe. Principalmente se encuentra como componente menor y mayor en rocas ígneas básicas y ultrabásicas. También puede aparecer en mármoles dolomíticos asociada con granate, flogopita y calcita. La dunita es una roca compuesta casi únicamente de olivino rico en magnesio (como la forsterita), que se utiliza como materia prima para la fabricación de refractarios, como fundente en el horno alto (fluidificante de escorias) y también como roca ornamental.

En Galicia los yacimientos de dunitas se localizan en los grandes afloramientos de rocas ultrabásicas, que comprenden el Complejo de Cabo Ortegal con los yacimientos de Herbeira, Limo y Uzal y las Unidades de Curtis-Sobrado-Melide (A Coruña), Lalín, Bandeira (Campo de Marzo) y Forcarei (Pontevedra). En el paraje de Landoi, municipio de Ortigueira (A Coruña), se encuentra la única cantera de dunita activa. Enosa (Explotaciones del Noroeste, S. A.) explota a cielo abierto unas 700.000

Cuadro 54

Forsterita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Amarillo verdoso	Rómbica	6'5-7	3'4 g/cm³	Blanca

Cuadro 55

Fayalita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De amarillo verdoso a negro	Rómbica	6'5-7	3'34 g/cm³	Blanca

GRANATES

Éste es un grupo de minerales de igual forma cristalina (cúbica) pero con composición diversa. Se reconocen fácilmente por sus colores rojizos y una buena exfoliación. Se utilizan en la industria del vidrio y como abrasivos (por ejemplo, para papel de lija)

Granate maclado con típico hábito romboédrico.

Cuadro 56

Grupo de los granates

	Fórmula	Yacimiento predominante
Espesartina	$Mn_3Al_2Si_3O_{12}$	Magmático: pegmatitas, granitos
Almandino	$Fe_3Al_2Si_3O_{12}$	Metamórfico: gneis, esquistos
Piropo	$Mg_3Al_2Si_3O_{12}$	Magmático: ultrabasitas
Grosularia	$Ca_3Al_2Si_3O_{12}$	Metamórfico de contacto: mármoles
Andradita	$Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$	Metamórfico de contacto: mármoles, esquistos

toneladas (por año). El producto tratado, en forma de áridos, se utiliza como fundente en los altos hornos. Los principales consumidores son Ensidesa, Usinor-Coqueril (Francia) y otras industrias en Bélgica y Alemania.

En la provincia de Lugo afloran unos pequeños yacimientos de rocas duníticas por la zona de Santabaia (norte de Vilalba). En los gabros que afloran por la zona de Monte Castelo (sudoeste de Carballo, A Coruña) se presenta olivino como mineral accesorio.

FAYALITA

En la fayalita predomina el contenido de hierro (sobre el magnesio). Es rara en rocas ígneas. Se encuentra en algunos granitos alcalinos. Está presente como mineral metamórfico de alta temperatura.

GRUPO DE LOS GRANATES

Los granates son un grupo de minerales de igual forma cristalina (cúbica) con composición diversa. Se reconocen fácilmente por sus colores de tono rojo con gran variedad y la buena exfoliación que da lugar a los cristales de superficies ligeramente curvadas y granos de angulosos a redondeados.

La composición de los granates varía según el tipo de roca en la cual se han desarrollado. En general se originan por dos procesos petrogenéticos diferentes: por segregación magmática en rocas ricas en Mg y Fe o por fenómenos de metamorfismo en rocas sedimentarias ricas en Ca. La espesartina, el almandino y el piropo presentan los términos extremos de la serie de mezclas ricas en Al, mientras la grosularia y la andradita abren camino a variaciones (mezclas) ricas en Ca. Otros miembros de los granates, pero menos frecuentes, son la **uvarovita** (granate de Ca y Cr) y la **melanita** (andradita rica en Ti, hasta un 25% de TiO_2).

El punto de fusión de los granates es bastante alto: unos 1.250 °C. También es un material muy duro. Es mucho más duro que el cuarzo y pertenece a la familia de los minerales abrasivos. Por eso el granate se utiliza en la industria del vidrio y como abrasivo: papel de lija, arena abrasiva, material para pulir, chorrear con arena, cortar por inyección de agua, etc. Capas de granates se aplican también en el proceso de filtración en plantas de tratamiento de agua. Algunos piropos y almandinos de muy buena calidad son usados como gema. La producción mundial de granate, para su uso industrial, sobre

todo como abrasivo, varía entre las 300.000 y 400.000 toneladas por año.

ESPESARTINA

Los granates compuestos principalmente por espesartina ($Mn_3Al_2Si_3O_{12}$), con variables cantidades de almandino, se encuentran en las pegmatitas, ciertos granitos y esquistos de bajo grado de metamorfismo.

ALMANDINO

El almandino ($Fe_3Al_2Si_3O_{12}$) es el granate más abundante y se denomina también "granate común". La mayoría de los granates que se formaron en esquistos de biotita y gneis son almandino. También es muy abundante en anfibolitas.

Debido a la gran abundancia de rocas ultrabásicas, la provincia de A Coruña es muy rica en yacimientos de granates del tipo almandino-piropo. Las localidades más destacadas para encontrar estos granates en la provincia de A Coruña son las rocas ultrabásicas de la zona de Santa Marta de Ortigueira y de Cabo Ortegal.

En la cantera abandonada entre el pueblo de Vilar y la Punta Folgueira afloran unas bandas de anfibolitas granatíferas. Petrográficamente, se trata de una eclogita metamorfizada. Otro yacimiento se localiza en las proximidades de A Capelada. Se trata de una granulita piroxénica con granate y **anfibol**. En esta roca el granate puede localmente alcanzar proporciones cercanas al 80%. En el gneis con granate cerca de Esteiro (entre Plantío y Veiga, en la provincia de A Coruña), los granates de color rosado pueden alcanzar tamaños centimétricos. Por Arinteiro afloran varias anfibolitas granatíferas, de color gris verdoso, con una gran cantidad de granates rosados de composición almandina de diversos tamaños en formas arriñonadas.

En el Macizo Básico de Santiago de Compostela afloran anfibolitas granatíferas de color gris verdoso con abundancia de grandes cristales de granate que, localmente, pueden constituir gran parte de la masa rocosa. En las zonas de Arinteiro, Bama, Fornas y Gema (éste de Santiago de Compostela) se presentan anfibolitas mineralizadas de sulfuros, que fueron explotados en los años setenta del siglo XX, con granates. Durante la explotación de los sulfuros se estudió el aprovechamiento de los granates de almandino a partir del estéril de la planta de flotación de cobre de Arinteiro. Pero los resultados de estos trabajos fueron negativos económicamente.

Granates almandínicos se encuentran en los gneis por la zona de Viana do Bolo, inmediatamente al este de la mina Penouta en el paraje de As Tapadas (Ourense). Se trata de pequeños granates de dimensiones milimétricas (1-4 mm). En la provincia de Pontevedra se localizan indicios de granates por la zona de Poio y el río Carballo. En las proximidades de Poio son unos esquistos y pegmatitas que contienen granates rosados de tipo almandino. Las pegmatitas contienen granates de cristales mayores que llegan a dimensiones superiores a un centí-

ESPESARTINA

Espesartina rojiza pegmatítica con cuarzo y feldespato.

Cuadro 57

Espesartina

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De amarillo a marrón rojizo	Cúbica	7-7'5	4'1-4'3 g/cm³	Blanca

ALMANDINO

El almandino, también llamado "granate común", es el granate más abundante. Debido a la gran profusión de rocas ultrabásicas, la provincia de A Coruña es muy rica en yacimientos del tipo almandino-piropo

Concentrado de almandino rojo oscuro.

Cuadro 58

Almandino

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Rojo oscuro, marrón	Cúbica	7'5	3'9-4'2 g/cm³	Blanca

metro. Por el río Carballo aflora un gran tramo de esquistos que se extienden desde Baiona hasta Goián, junto al río Miño, con grandes bolsadas ricas en almandino. Los granates son transparentes y brillantes, pero de dimensiones milimétricas.

PIROPO

El piropo ($Mg_3Al_2Si_3O_{12}$) predomina en las rocas ultrabásicas de tipo peridotita. En las eclogitas el granate es intermedio entre el piropo y el almandino. En general, los granates de las rocas metamórficas que provienen de rocas ígneas básicas y ultrabásicas son de la serie almandino-piropo. La escasa **uvarovita**, ($Cr_2Ca_3Si_3O_{12}$), rica en cromo, aparece en peridotitas alteradas, asociada a la **cromita**.

Cuadro 59

Piropo

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Rojo sanguíneo	Cúbica	6'5-7'5	3'5-3'8 g/cm³	Blanca

Cuadro 60

Grosularia

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Blanco amarillento, verdoso, naranja	Cúbica	7	3'5-3'7 g/cm³	Blanca

Cuadro 61

Andradita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Marrón, verde, incoloro, negro	Cúbica	6'5-7	3'7-3'8 g/cm³	Blanca

GROSULARIA

La grosularia ($Ca_3Al_2Si_3O_{12}$) se presenta con frecuencia en mármoles y calizas y pizarras metamorfizadas.

ANDRADITA

En los mármoles metamórficos el granate es del grupo de la andradita ($Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$) y la grosularia. La andradita se observa también en pizarras metamórficas cristalinas. La **grosularia** y la andradita se pueden observar en algunos mármoles y calizas metamorfizadas en el extremo sur de la provincia de Lugo.

MINERALES DE ALTERACIÓN (O SECUNDARIOS)

ASBESTO (VÉASE TAMBIÉN SERPENTINA)

El asbesto es un mineral semejante al **amianto**, pero de fibras duras y rígidas formadas por serpentinas fibrosas (el **crisotilo**). Los yacimientos de asbesto conocidos

en Galicia se localizan fundamentalmente en las dos grandes Unidades de las rocas Básicas y Ultrabásicas conocidas como el Arco de Santiago, que se extiende desde Ferrol hasta las proximidades de Carballo, pasando por Melide y Santiago de Compostela, y el Macizo Ultramáfico que se extiende desde Cabo Ortegal hasta las cercanías de San Sadurniño (A Coruña).

Las mineralizaciones pertenecen al grupo de la serpentina, tratándose de crisotilo. También se han encontrado algunos indicios de amianto de anfíbol (tremolita), que están siempre en relación con los afloramientos de rocas ultrabásicas. Los fenómenos de serpentinización son muy importantes para este tipo de mineralización. Estos fenómenos se pueden observar en las áreas de la Serra do Careón, Cabo Ortegal y Teixeiro (A Coruña). En las serpentinitas que están situadas al norte de Ferreira (Monte de Castelo, A Coruña) se encuentran asbestos con fibras de hasta 3 cm de longitud formadas por **crisotilo** y **antigorita**.

SERPENTINA

Las serpentinas son un grupo de filosilicatos monoclínicos con la composición química de $Mg_2Si_2O_5(OH)_4$. Contienen dos especies estructurales distintas bien definidas las que son dimorfas: el **crisotilo** (la serpentina fibrosa) y la **antigorita** (la serpentina hojosa). Es frecuente que tengan también pequeñas cantidades de Fe, Al, Mn y Ni. La variedad rica en Ni es la **garnierita**. Las serpentinas tienen diversas coloraciones con predominio del verde. El nombre serpentina alude al color verde y a las figuras que se observan en las variedades ornamentales, parecidas a la piel de las serpientes.

Crisotilo y antigorita son los minerales que forman mezclas naturales en proporciones diversas (la serpentina) hasta los dos términos extremos. La antigorita forma escamas y paralelepípedos alargados, mientras que el crisotilo forma fibras tabulares. El asbesto serpentínico (asbesto-crisotilo) con fibras paralelas tiene una aplicación en la industria de tejidos y aislantes antiinflamables, pero ha perdido mucha importancia por las consideraciones con respecto a su efecto nocivo para la salud. La serpentina pura se busca como piedra ornamental, y la de menor calidad como árido.

Las serpentinas se forman por alteración de minerales ferromagnesianos como el olivino, la augita (un piroxeno) y, con menor frecuencia, la hornblenda. También

SERPENTINA

Serpentinita con formas de karren *(canaletas por corrosión de los minerales de serpentina) que aflora al sur de Melide. A Coruña.*

Cuadro 62

Serpentina

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De verde a amarillento con brillo céreo o sedoso	Monoclínica	3-4	2'5-2'6 g/cm³	Blanca

se encuentran en filones, sobre todo formando un asbesto de fibras cruzadas en rocas ígneas ultrabásicas, pero también en mármoles. El crisotilo está asociado frecuentemente a la antigorita en las serpentinitas, peridotitas y piroxenitas alteradas. Las serpentinas se alteran después a clinocloro magnesiano, que es del grupo de la clorita.

En Galicia los yacimientos de serpentinas están relacionados estrechamente con las rocas básicas y ultrabásicas de las Unidades de Cabo Ortegal y Ordes. La serpentina pura se encuentra en San Clodio, Lázaro, Melide, San Xurxo de Moeche, Sobrado, O Corno do Boi y Serra da Capelada. El **asbesto** se puede observar en Sobrado, Vilamaior (A Coruña) y Palas de Rei (Lugo).

Las explotaciones de serpentinitas, en su mayoría para el uso como áridos de carretera, o también como roca ornamental, se sitúan en Cerdido, Curtis, Moeche, Ortigueira (A Coruña), Silleda y Vila de Cruces (Pontevedra). Durante los últimos veinte años la producción anual de toda Galicia ha alcanzado un millón de toneladas de áridos y unas 40.000 toneladas para el uso como fundente en la metalurgia.

TALCO

De composición química $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$, el talco es un mineral que puede ser verde pálido, negro, rosado o amarillento. Su nombre es de origen árabe. El talco tiene normalmente un brillo de graso o sedoso a nacarado en estado fresco. Su dureza es de 1, lo que significa que es el más blando mineral que existe en la naturaleza. Los cristales monoclínicos forman escamas y hojas. Pero también aparece como masa untuosa. La variedad masiva se denomina esteatita.

El talco se forma por procesos hidrotermales o metasomáticos. Muy frecuente es su formación por alteración de silicatos (por ejemplo: serpentinas, arcillas). Se encuentra en rocas metamórficas y también como mineral hidrotermal en peridotitas alteradas asociado con otros minerales como la magnetita, la clorita, la hornblenda y la serpentina. Por metasomatismo silíceo las dolomías se alteran a talco. El talco puede alterarse a clorita magnesiana.

El producto limpio de talco se emplea en polvos de tocador y medicinales, satinados de papel, aprestos y lubricantes, pero también como material aislante y refractario.

Los principales yacimientos de talco en Galicia son los de Meaño (Pontevedra), Sobrado (A Coruña) y Vilamor (Lugo). Por la aldea de Aviño (Valdoviño, cerca de Ferrol, A Coruña) hay un importante afloramiento de talco en la zona de contacto de rocas ultrabásicas con granito. Talco se explotó, a escala pequeña, cerca de Curtis (A Coruña), al lado de la aldea de Baiuca. Pizarras talcosas afloran en As Pontes de García Rodríguez, Pontedeume, Betanzos, Ferrol (A Coruña), Foz y Becerreá (Lugo), y cerca de Vila de Cruces (Pontevedra). Muy conocido es el yacimiento de esteatita de Moeche (A Coruña). Las **esteatitas** de Galicia fueron empleadas por el señor M. Suárez Lago de A Coruña para sus preciosos y únicos tallados artesanales.

Cuadro 63

Talco

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Verde pálido, blanco, rosado, negro, amarillento	Monoclínica	1-1'5	2'7-2'8 g/cm³	Blanca o más clara que el color de sus variedades

MINERALES ACCESORIOS Y MENAS

GRUPO DE ESPINELAS

Las espinelas forman un grupo de minerales de óxidos que cristalizan en forma de octaedros. El grupo comprende tres series: la del aluminio, la del hierro y la del cromo. Como se puede ver en el cuadro 64, hay espinelas que son exclusivamente de origen magmático, otras son más abundantes en rocas metamórficas y muchas se encuentran en ambos entornos. Por no separar los minerales del grupo de espinelas, se describen juntos en este capítulo. Los minerales de las espinelas son importantes menas de hierro, cromo y titanio. Algunos de ellos se emplean también como pigmentos inorgánicos naturales.

CROMITA

La cromita, el cromato de hierro, es el mineral de Cr más extendido y más importante. Contiene un 68% de Cr_2O_3 y un 32% de FeO. La cromita se utiliza en la metalurgia, en la fabricación de refractarios y productos químicos según el contenido en hierro. El cromo, en forma de cromado, es muy importante para la protección de superficies metálicas. Se utiliza para pinturas de camuflaje, en láseres y en cintas para audio y vídeo.

Se encuentra muy frecuentemente en varios tipos de rocas ultrabásicas, como las peridotitas y las serpentinitas. Es un típico producto de la segregación magmática muy temprana. En estas rocas se encuentra diseminada microscópicamente. Pero también puede enriquecerse en formas lenticulares y capas, incluso formando yacimientos explotables. Asociadas a los estratos masivos de cromita, se encuentran mineralizaciones importantes de platino. La cromita forma también parte de placeres de minerales pesados en la cercanía de los yacimientos primarios.

En Galicia la cromita está asociada a las rocas básicas y ultrabásicas de la Unidad de Cabo Ortegal y Ordes (A Coruña). En la zona de Cabo Ortegal la cromita es muy abundante por los montes de Herbeira, Limo y Uzal y por la Serra da Capelada (Ortigueira-Moeche-Cedeira). Por el Complejo de Ordes las mineralizaciones de cromitas se observan en las anfibolitas de la zona de Cances--Castriz. Junto a los minerales de níquel (**pentlandita**) por el Monte Castelo se observa también cromita. Indicios cromíferos existen también en las rocas ultrabásicas de las zonas de la Serra do Careón y Sobrado-Melide.

Cuadro 64

Grupo de espinelas

Las espinelas son importantes menas de hierro, cromo o titanio. Algunos de sus minerales se emplean como pigmento

	Fórmula	Yacimiento	Color
Cromita	$FeCr_2O_4$	Ígneo	De opaco a marrón
Picotita	$(Fe, Mg)(Al, Cr, Fe)_2O_4$	Magmático	Marrón
Magnetita	Fe_3O_4	Metamórfico e ígneo	Opaco, negro metálico
Ulvoespinela	Fe_2TiO_4	Ígneo y metamórfico	Opaco, negro
Espinela	$MgAl_2O_4$	Metamórfico	Incoloro
Pleonasto	$(Mg, Fe)Al_2O_4$	Metamórfico	De verde a verde azulado
Hercinita	$(Fe, Mg)Al_2O_4$	Metamórfico	Verde oscuro
Gahnita	$ZnAl_2O_4$	Metamórfico	Verde azulado
Franklinita	$(Zn, Mn,)(Fe, Mn)O_4$	Metamórfico	Marrón

Algunas concentraciones de cromita se relacionan con redistribuciones de los yacimientos primarios magmáticos por procesos metamórficos. En algunas cromitas de las rocas duníticas y peridodíticas del Macizo de Herbeira (A Coruña) se detectaron contenidos apreciables de **platinoides** (Pt y Pd).

MAGNETITA

La magnetita, una importante mena de hierro, es el miembro más común y abundante del grupo de las espinelas. Se presenta frecuentemente en forma de octaedros. Una propiedad muy característica es su fuerte magnetismo.

Está muy extendido como mineral accesorio en la mayoría de las rocas ígneas y metamórficas. Por diferenciación magmática, se pueden formar yacimientos de capas macizas de magnetita, que son de gran interés económico. Aparece también con mucha frecuencia en yacimientos minerales de origen magmático (con ilmenita), metamórfico o hidrotermal de alta temperatura. La martita es el mineral seudomorfizado por hematita. Como la magnetita es muy abundante en rocas cristalinas y tiene un peso específico muy alto, la magnetita es también un mineral detrítico pesado muy abundante formando arenas (o capas) negras.

Como mineral accesorio diseminado, la magnetita no está ausente en cualquier roca cristalina, ya sea roca gnéisica o granitoide. En Galicia la mayoría de los yacimientos de magnetita están relacionados con metasedimentos y otras rocas metamórficas que se van a discutir, con la **hematita** y la **limonita**.

Cuadro 65

Cromita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Negro, pardo	Cúbica	5'5	4'6 g/cm³	Parda oscura

La magnetita y otros minerales de hierro, como la **hematita** y la **limonita**, se explotaron en los siglos pasados por el nordeste de Galicia. En los alrededores de Roupar, Ferreiras, Vilaoudriz, Viveiro, Monforte, A Fonsagrada y otros (provincia de Lugo), se observan todavía hoy en día los restos de las actividades mineras y se encuentran mineralizaciones de hierro. Las mineralizaciones se encuentran a lo largo de contactos en estratos interiores de pelitas y carbonatos del Cámbrico y en pelitas del Ordovícico.

Estos yacimientos de hierro se sitúan sobre dos arcos más o menos paralelos siguiendo las estructuras principales hercinianas. El arco occidental se extiende desde Viveiro hacia el sur pasando por el oeste de Vilalba, donde se interrumpe para volver a aparecer por O Incio siguiendo ahora en dirección este-sudeste hacia Oencia

MAGNETITA

Esta importante mena de hierro es el miembro más común y abundante del grupo de las espinelas. De fuerte magnetismo, en siglos pasados fue muy explotada en el noroeste de Galicia.
La magnetita forma gran parte de las bandas de "arenas negras" en las playas de las rías de Vigo y Viveiro

Magnetita maciza.

Cuadro 66

Magnetita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Negro	Cúbica	5'5-6'5	5'1 g/cm³	Negra

(ya en León). El otro arco, más oriental, se extiende desde Ribadeo y Vegadeo hacia Vilaoudriz, A Fonsagrada y Villafranca del Bierzo, hacia Ponferrada, y sigue hasta Astorga (León). Por la zona de Fornaza (al sudeste de A Fonsagrada, Lugo), la magnetita acompaña a las mineralizaciones de plomo y cinc.

El gneis de Penamusgo (por el este de Roupar) y los gneis que afloran por el norte de O Galiñeiro (al sur de Zamáns entre Vigo y Gondomar, provincia de Pontevedra) destacan por sus relativamente altos contenidos en magnetita. La magnetita forma gran parte de las bandas de "arenas negras" en las playas de las rías de Vigo (Pontevedra) y Viveiro (Lugo).

Cuadro 67

Espinela

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Incoloro	Cúbica	7'5-8	3'5 g/cm³	Gris verde o parda

TITANOMAGNETITA

Se denomina titanomagnetita a una mezcla natural de los minerales ulvoespinela (Fe_2TiO_4) y magnetita (Fe_3O_4). Se encuentra con mucha frecuencia en macizos intrusivos básicos o como mineral pesado en placeres de río o de playa. Entre las arenas negras del río Sil (provincias de Lugo y Ourense) hay considerables concentraciones de magnetita con titanio.

ESPINELA

La espinela $MgAl_2O_4$ es un mineral accesorio muy abundante en rocas ígneas básicas y en rocas metamórficas de contacto formadas a alta temperatura, a partir de rocas con altos contenidos de aluminio. Las variedades nobles, con brillo fuerte y coloraciones fuertes de rojo, azul o verde, sirven como gemas. Espinelas aluminosas se presentan también en ladrillos refractarios.

En Galicia la espinela acompaña a los otros minerales del grupo de las espinelas en las rocas ultrabásicas de las Unidades Básicas y Ultrabásicas de Cabo Ortegal y de Ordes (A Coruña).

PLEONASTO

El pleonasto $(Mg, Fe)Al_2O_4$ pertenece a la serie de las espinelas de aluminio. Es normalmente un mineral metamórfico de contacto y se puede encontrar en mármoles, esquistos aluminosos y xenolitas aluminosas de rocas ígneas.

En las rocas ultrabásicas de la Unidad de Cabo Ortegal el pleonasto, junto con la **picotita**, llega a ser un mineral minoritario con concentraciones de hasta un 3-5 %. En la Unidad Ultrabásica de Ordes ambos minerales se observan por las zonas de Coristanco, Castriz (entre Carballo y Santa Comba) y Curtis-Sobrado-Melide (A Coruña). El pleonasto se encuentra también en los esquistos que forman inclusiones xenolíticas en las rocas graníticas que afloran por la zona de Bares y O Barqueiro (extremo nordeste de la provincia de A Coruña). Como mineral accesorio, se encuentra en las serpentinitas de Campo de Marzo, al norte de A Bandeira (noroeste de Silleda, provincia de Pontevedra).

PICOTITA

La picotita $(Fe, Mg)(Al, Cr, Fe)_2O_4$ también se llama "pleonasto cromífero". Se forma en rocas ultrabásicas, como las peridotitas y gabros, o por procesos metamórficos de alta temperatura a partir de rocas sedimentarias ricas en aluminio. Normalmente acompaña a la **cromita**. Por su gran dureza y peso específico, se encuentra en placeres de minerales pesados cerca de los yacimientos primarios.

En Galicia la picotita se observa como mineral pesado en las rocas ultrabásicas de las Unidades de Cabo Ortegal y de Ordes y en las playas de las Rías Altas de la provincia de A Coruña.

ILMENITA

La ilmenita ($FeTiO_3$) es el mineral de titanio más importante económicamente. La titanomagnetita es una solución sólida de magnetita (Fe_3O_4) y de ulvoespinela (Fe_2TiO_4). Otros minerales de titanio son el rutilo (TiO_2) y la titanita ($CaTiSiO_5$). Los cristales son normalmente tabulares delgados. Pero la ilmenita aparece también en forma maciza o compacta y en granos en arenas.

La ilmenita es de origen ortomagmático en casi todas las rocas eruptivas, aunque como mineral accesorio, y en yacimientos pegmatíticos, especialmente asociado a gabros. Casi siempre se forma a temperaturas superiores a los 500 °C. La ilmenita se encuentra también con gran abundancia en placeres fluviales y litorales.

La ilmenita se emplea, como el rutilo, para la producción de pinturas blancas de fondo (blanco de titanio). Además, se utiliza como base para la producción de rutilo sintético que sirve de lijado y aditivos en la metalurgia. El titanio es un metal de color gris oscuro que tiene mucha importancia en la fabricación de ferroaleaciones (ferrotitanio). El carburo de titanio tiene un punto de fusión superior a los 3.000 °C.

SULFUROS

Los sulfuros son minerales que se forman en distintos entornos genéticos bajo cierta escasez de oxígeno, ya sea en las partes inferiores de un cuerpo plutónico como producto de la segregación magmática muy temprana, en el fondo del mar, por las zonas magmáticas activas, donde salen las soluciones hidrotermales ricas en metales por las chimeneas u hornitos metalíferos, en sedimentos de cuencas marinas muy profundas, o en filones hidrotermales.

Cuadro 68

Pleonasto

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De negro a verde azulado	Cúbica	8	3'5-4'1 g/cm³	Gris verdoso

Cuadro 69

Picotita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Marrón, negro algo verdoso	Cúbica	7'5-8	4 g/cm³	Negra algo verdosa

ILMENITA

La ilmenita es el mineral de titanio más importante económicamente. Se emplea para la producción de pinturas blancas de fondo y como base para producir rutilo sintético que sirve de lijado y aditivos para la metalurgia

Arenas negras con ilmenita y magnetita.

Cuadro 70

Ilmenita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De negro a pardo	Trigonal	5-6	4'5-5 g/cm³	De negra pardusca a marrón rojizo

PIRITA

La pirita es un sulfuro de hierro cuya fórmula química es FeS_2. Es el sulfuro más abundante. Es el "perillo de todas las bodas" o "metomentodo" en el mundo de los minerales. Muchas veces, los mineros hablan también de piritas cuando se refieren a otros sulfuros donde una parte del hierro está constituida por el cobre (calcopirita), el arsénico (arsenopirita o mispiquel) o el níquel (pentlandita). Aparte de los elementos citados, las piritas pueden llegar a tener también considerables contenidos en metales nobles, como el platino, el oro y la plata. Sobre todo por el oro explotaron ya los romanos los sulfuros en Galicia (por ejemplo, en Covas, A Coruña).

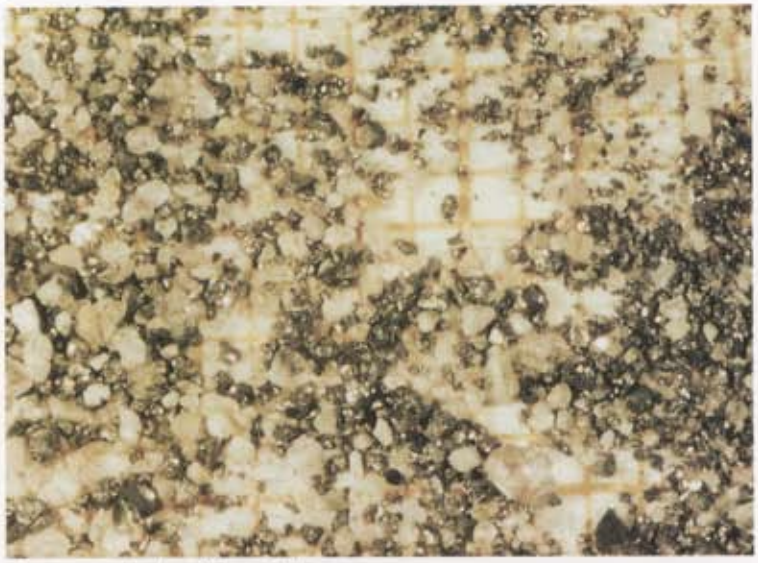
Es el sulfuro más duro y es paramagnético. El clásico cubo, muchas veces rayado, y el octaedro son las formas más frecuentes. Pero también forma filoncillos o masas compactas e irregulares, sobre todo cuando se trata de un yacimiento tectonizado. La marcasita tiene la misma fórmula química, pero es de forma rómbica; tiene el mismo color de la pirita, aunque es ligeramente más pálida.

La pirita se encuentra en todos los tipos de rocas. Como segregación magmática, puede formar yacimientos macizos. Puede ser accesoria en muchas rocas ígneas (sobre todo básicas). Es un producto corriente de procesos metamórficos y actividades hidrotermales de baja hasta muy alta temperatura. Se encuentra también en rocas sedimentarias. Fácilmente se meteoriza a **limonita** y **goethita**. La pirita es una mena de azufre y se aplica para la fabricación de ácido sulfúrico y SO_2.

Las piritas son muy abundantes en Galicia. Formando hasta cuerpos masivos y yacimientos de este mineral, se encuentran en relación con rocas básicas y ultrabásicas, como el Complejo Ultrabásico de Cabo Ortegal, por el norte de Carballo y en el Macizo Básico

PIRITA

La pirita es un sulfuro de hierro: el más duro y el más abundante. Se encuentra en todos los tipos de rocas.
Muy frecuente en Galicia, cuando aparece en las pizarras éstas no deben ser utilizadas como cubiertas de tejados, ya que la pirita se deshace fácilmente por la humedad



Concentrado de sulfuros (piritas).

Cuadro 71

Pirita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Amarillo de latón intenso con brillo metálico	Cúbica	6-6'5	5-5'2 g/cm³	Verdinegra

Aspecto de la pirita en sección pulida mostrando su exfoliación rectangular.

Pirita maciza con óxidos de hierro (hematita y goethita).

de Santiago de Compostela. Pero también acompañan casi siempre a los filones mineralizados, como los de wolframio y de estaño (por ejemplo: Monte Neme, Santa Comba, Fontao, Penouta, etc.) en los complejos graníticos y de metasedimentos.

En las pizarras negras del interior de Galicia, no sólo las de la formación Pizarras de Luarca, sobre todo por la provincia de Lugo y de Ourense, las piritas se ven mucho. En las pizarras los sulfuros no están nada bien vistos por los *telladores* (especialistas en cubiertas tradicionales), porque la pirita se deshace fácilmente por la humedad, formando hidróxidos de hierro (**goethita** y **limonita**), lo que significa que las pizarras con contenidos de pirita no deben utilizarse como cubiertas de tejados. Las pizarras negras que afloran entre los Montes do Invernadeiro y la Pena Nofre (Ourense), por ejemplo a lo largo del ferrocarril y cerca de la estación de Campobecerros, son ricas en pirita diseminada.

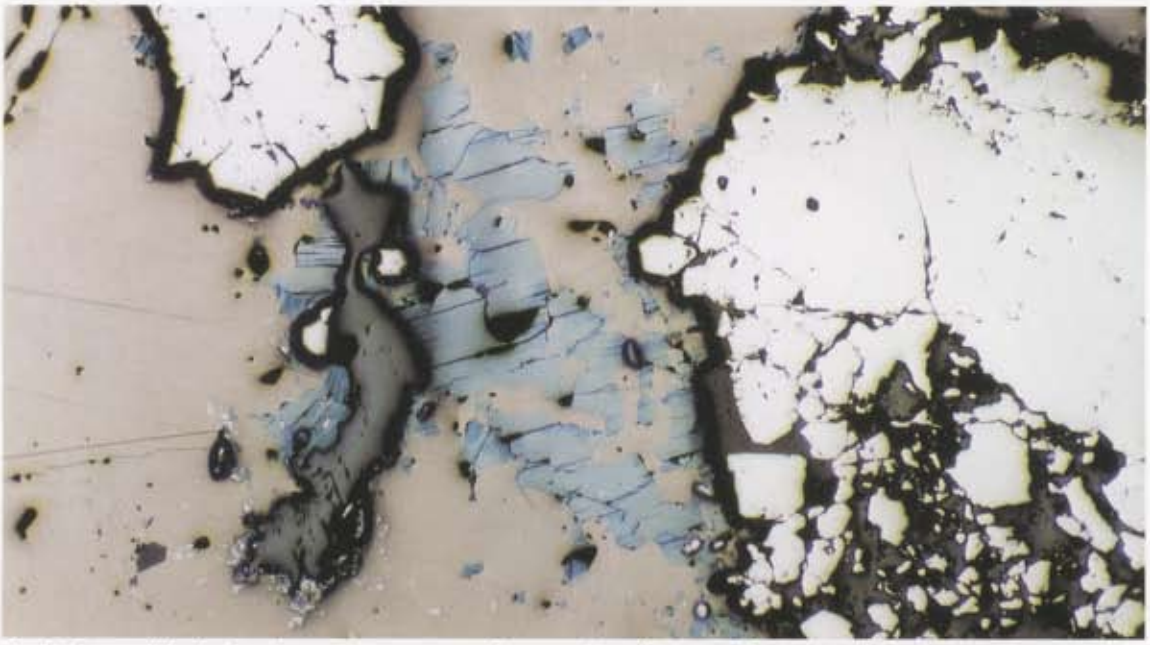
La **ballesterosita**, ya descrita por Guillermo Schultz, es una pirita estannífera procedente de Rego Rubio (Ribadeo, provincia de Lugo), y de las pizarras cámbricas de Mondoñedo (Lugo). Nódulos de **marcasita** dispersos se encuentran en los lignitos de As Pontes de García Rodríguez (A Coruña).

PIRROTINA

La pirrotina ($Fe_{1-x}S$), con x siendo un valor entre 0 y 0'2, puede presentar cantidades variables de níquel y cobalto. Es magnética, especialmente cuando presenta un déficit en hierro, y se presenta en cristales de hábito tabular o en masas granudas o laminares. Con luz reflejada, da un color bronce que la diferencia de la pirita.

PIRROTINA

La pirrotina es un sulfuro que puede presentar cantidades variables de níquel y cobalto. Es magnética y con luz reflejada da un color bronce que la diferencia de la pirita



En lámina pulida, la pirrotina muestra un tono de crema (covellina azul claro, pirita blanca).

Cuadro 72

Pirrotina

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Bronce pardo	Hexagonal	4	4'6 g/cm³	Negra verdosa

Pirrotina con tono de bronce.

Es un mineral de alta temperatura y existe en rocas ígneas básicas, de las cuales se segrega por diferenciación magmática, en pegmatitas y formaciones de neumatolíticas a hidrotermales. Es accesorio en los gabros y peridotitas y se encuentra en algunos esquistos y anfibolitas.

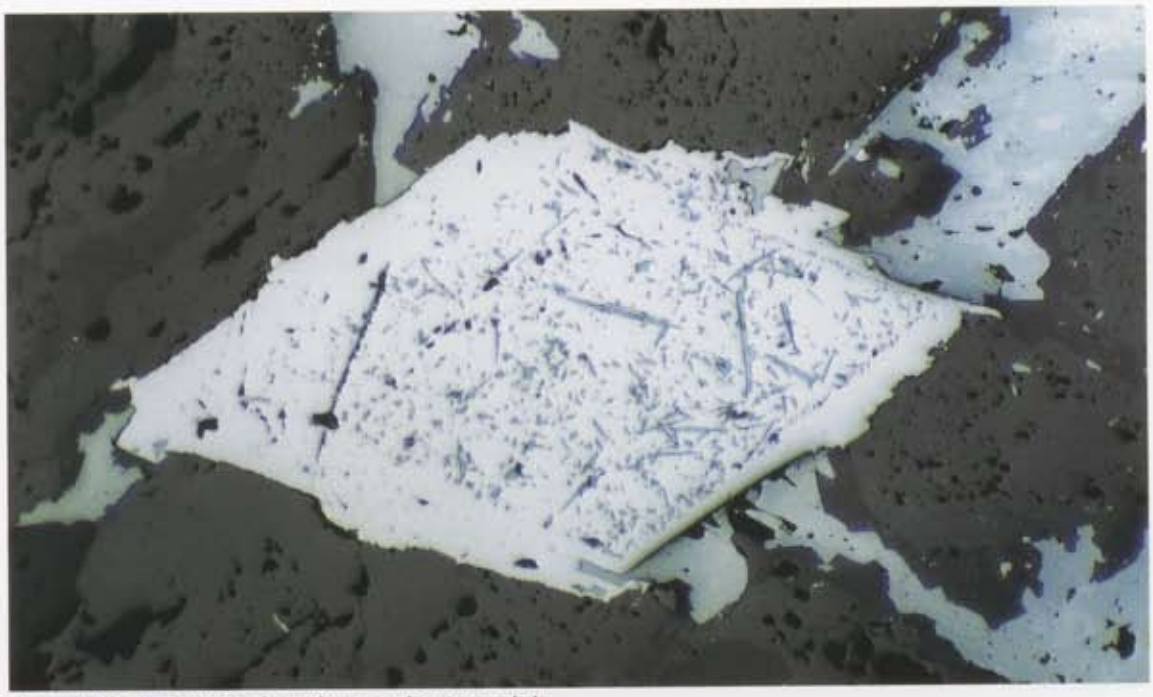
En Galicia los principales yacimientos de pirrotina se encuentran relacionados con los depósitos de cobre por las zonas de Arinteiro, Bama y Fornas, muy cerca de Santiago de Compostela (A Coruña). La pirrotina acompaña también a otros sulfuros, como la **pirita**, en los yacimientos de wolframio y estaño, como los de Monte Neme, Santa Comba, Fontao, etc. A pocos kilómetros al sur de Santa Comba hay un yacimiento interesante de **scheelita** en anfibolitas, denominada Mina Susana, donde se observa también pirrotina. La pirrotina se observó muy escasamente en el yacimiento de Pb y Zn de Rubiais (Lugo).

ARSENOPIRITA

La arsenopirita (FeAsS), o **mispiquel**, es la pirita arsenical y se presenta en cristales lanciformes, prismáticos y maclados o en formas masivas. Como contiene hasta un 46% de arsénico, es un mineral de cierta problemática ambiental. Puede ser un factor crítico en la preparación del mineral y un factor negativo en los concentrados o productos finales. La arsenopirita puede incorporar en su red cristalina considerables cantidades de plata

ARSENOPIRITA

La arsenopirita es la pirita arsenical (contiene hasta un 46% de arsénico). Se trata de un mineral muy extendido, que puede incorporar en su red cristalina considerables cantidades de plata y oro



Arsenopirita prismática-lanciforme en lámina pulida.

Cuadro 73

Arsenopirita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De gris a blanco estaño	Monoclínica	5'5-6	5'9-6'2 g/cm³	Negra

Arsenopirita con su típico hábito lanciforme y maclado.

y de oro. Se considera como mineral indicador para las mineralizaciones de oro.

Es un mineral muy extendido. Se presenta en filones hidrotermales de alta temperatura y en yacimientos pegmatíticos donde está asociado a las menas de wolframio y estaño. También se encuentra en depósitos metamórficos de contacto.

En Galicia la arsenopirita se puede observar en cualquier yacimiento de casiterita o wolframita. Destacaremos aquí las localidades de Monte Neme, Santa Comba, Noia (A Coruña), Arancelos, Chantada, Faro (Lugo) y O Carballiño (Ourense).

Por el norte del pueblo Valdelires (por la costa al norte de Ferrol, A Coruña) se encuentran las antiguas minas de arsénico de la zona de Montefaro y Meirás. Aquí la arsenopirita está acompañada por otros sulfuros, **pirita** y escasamente **calcopirita**, **bismutina** y **pirrotina** en un conjunto de filoncitos de **cuarzo**. Aparte de la mineralización evidente, se presenta también **oro**. Una mineralogía parecida se observa más al sudoeste por la zona de Covas (de San Martiño), donde aflora una serie de filones de **cuarzo** mineralizados que debieron de ser objeto de explotación en época romana y a principios del siglo XX. Otros yacimientos hidrotermales de este tipo se encuentran en varias localidades por el triángulo Curtis-Teixeiro-Sobrado (A Coruña): Outeiro, Remourán, Rañón y otras. Arsenopiritas argentíferas en filones de **cuarzo** se estudiaron por Vilamer, cerca de Laza (Ourense) y Armada, entre Noia y Boiro (A Coruña).

CALCOPIRITA

La calcopirita ($CuFeS_2$) es la pirita del cobre y uno de los minerales de cobre más extendidos. Los cristales son seudotetraedros, pero, como la calcopirita es muy frágil, apenas se conservan cuando sufren la más ligera presión tectónica. En la mayoría de los yacimientos se presenta en forma masiva.

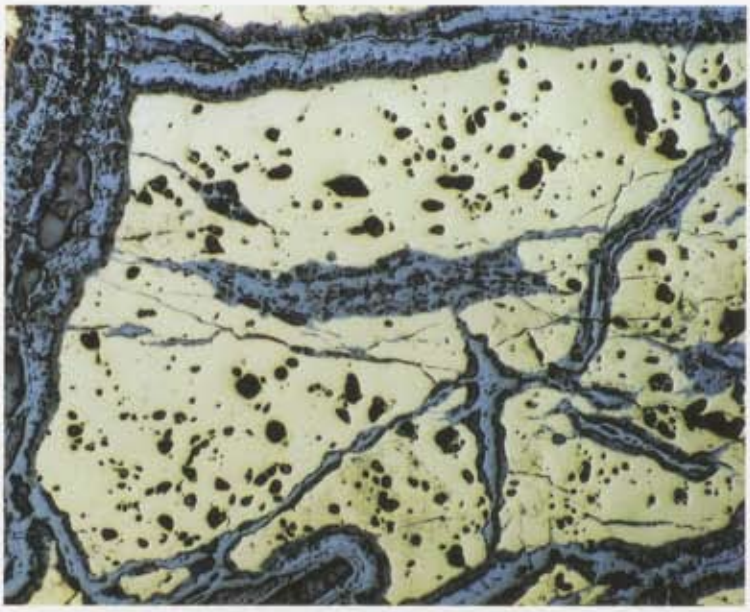
La calcopirita es un constituyente primario de rocas ígneas básicas. Se forma también en ambientes sedimentarios por actividades magmáticas exhalativas y en depósitos metamórficos e hidrotermales de alta temperatura, hasta pegmatítico-neumatolítico. En yacimientos de cobre acompaña a los otros sulfuros de cobre, como la **bornita** y la **covellina**.

La calcopirita es una mena de cobre muy importante. El cobre es un buen conductor eléctrico y se utiliza, en forma elemental, para alambres y cables eléctricos. El latón es la aleación de cobre y cinc; el bronce es de cobre y de estaño. Estas aleaciones de cobre se emplean para calderas, tubos, válvulas, grifos y otros, como, por ejemplo, hélices para barcos.

Hacia 1980, la calcopirita tenía cierta importancia económica para Galicia y fue explotaba por la entonces Unión de Explosivos de Riotinto, S. A. en el distrito minero de Santiago de Compostela, en los yacimientos de Manoca, Fornas, Bama y Arinteiro, entre Santiago y el pueblo de Touro. Allí se calculó que había reservas seguras de 35 millones de toneladas con un 0'6% de cobre. Pero, pocos años después de arrancar la explotación a cielo abierto, se dejó la actividad minera por no ser muy rentable. Pasando hoy por la autopista entre Santiago Este y Santiago Sur, se pueden ver muy bien los masivos

CALCOPIRITA

La calcopirita (la "pirita del cobre") es uno de los minerales de cobre más extendidos. El cobre, buen conductor eléctrico, se utiliza para alambres y cables eléctricos; en aleación con estaño o cinc se emplea para calderas, tubos, hélices para barcos...

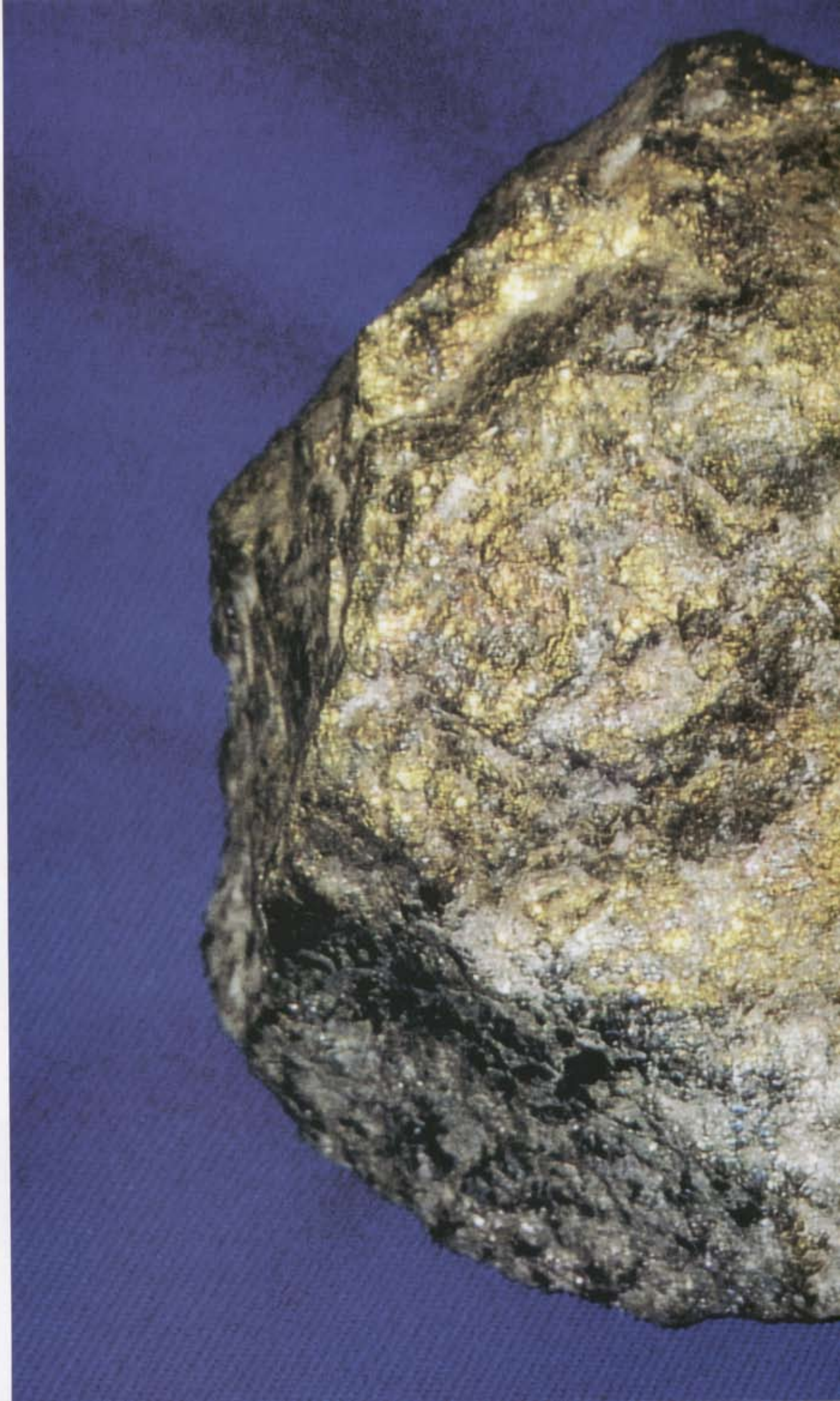


Calcopirita (amarilla) alterada con canales de covellina (azul claro) en lámina pulida.

Cuadro 74

Calcopirita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Amarillo latón, verdoso	Tetragonal	3'4-4	4'2 g/cm³	Negra



Calcopirita con bornita maciza de un yacimiento al sudeste de Santiago.

afloramientos de sulfuros en la roca encajante oscura básica que forma los taludes sudeste de la autopista. Los recursos de cobre al este de Santiago de Compostela se estiman superiores a los cien millones de toneladas con concentraciones medias del 0'15% de cobre, no justificando su explotación hoy en día.

Sulfuros de cobre se observan también en las rocas ultrabásicas de la zona de Moeche (lugares de A Barqueira, Painceira y Piquito, entre Ortigueira y Ferrol), en la provincia de A Coruña. Otros yacimientos de calcopirita, pero de menor importancia, se encuentran en Valdeorras (Ourense) y por Becerreá (Lugo). Por la zona de las aldeas de Ferreidaredes, Vilarguite, Vilar de Ferreira y Vimieiro (ayuntamiento de Cervantes, Lugo), la calcopirita se observa en las pizarras y calizas. En las calizas se encuentra un filón de cuarzo mineralizado con calcopirita de origen hidrotermal.

BORNITA

La bornita (Cu_5FeS_4), o "cobre abigarrado", es un mineral de cobre muy importante y muy extendido. Su pátina roja e irisaciones por efectos de oxidación son muy características. Cristales cúbicos u octaedros son muy raros. En general se presenta en formas masivas. Es una mena de cobre muy importante.

Se encuentra diseminada en rocas básicas, pero también puede ser de hidrotermal a neumatolítico. En los yacimientos de cobre es frecuentemente un producto de meteorización de los sulfuros primarios.

Cuadro 75

Bornita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De pardo rojizo a rojo púrpura	Tetragonal	3	4'9-5'3 g/cm³	Negruzca

Cuadro 76

Calcosina

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De gris oscuro a negro	Rómbica	2'5-3	5'6-5'8 g/cm³	Negra

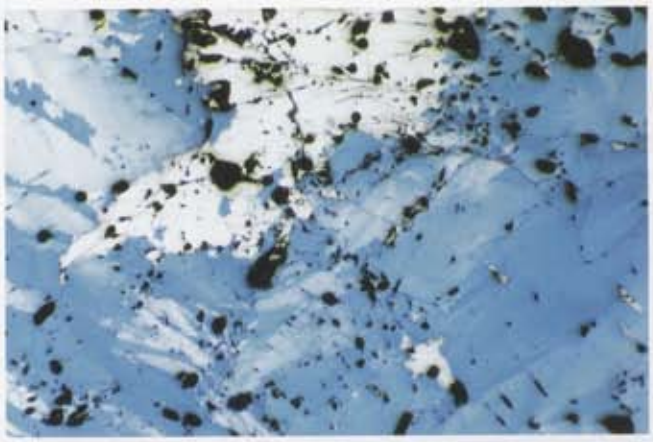
En los yacimientos de cobre al este de Santiago (Manoca, Fornas, Bama y Arinteiro), la bornita acompaña a la **calcopirita** y los sulfuros de hierro.

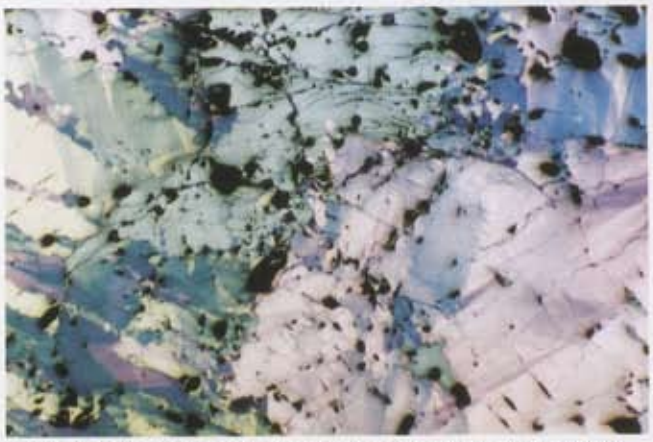
CALCOSINA

La calcosina (Cu_2S) es por lo general masiva o compacta y se forma posteriormente a los depósitos primarios en zonas de enriquecimiento de los depósitos de sulfuros de cobre. Es la mena de cobre más importante.

COVELLINA

También conocida como "cobre índigo", es un sulfuro de cobre de origen hidrotermal u originado por meteorización de los sulfuros de cobre primarios. Como mena de cobre no es de gran importancia





La covellina presenta colores muy característicos de azul claro en lámina pulida; en la foto inferior, bajo luz polarizada.

Cuadro 77

Covellina

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De azul añil a negro	Hexagonal	1'5-2	4'68 g/cm³	Negra o gris

En los yacimientos de cobre al este de Santiago (Manoca, Fornas, Bama y Arinteiro), la calcosina acompaña a la **calcopirita** y los sulfuros de hierro. Mucho más escasa todavía se encuentra en algunos de los filones mineralizados de **wolframita** y **casiterita** de Galicia, como por ejemplo en la zona de Beariz, en las localidades de Magros y Marcofán (Ourense) o por el yacimiento de Monte Neme (A Coruña).

COVELLINA

La covellina (CuS), o "cobre índigo", es un sulfuro de cobre de origen hidrotermal u originado por meteorización de los sulfuros de cobre primarios (bornita, calcopirita). En general, se presenta en forma masiva o costras de revestimiento. Es de menor importancia como mena de cobre. En Galicia la covellina se puede observar en compañía de la **calcosina** y la **calcopirita** en los yacimientos de cobre.

MISPIQUEL (VÉASE ARSENOPIRITA FeAsS)

MINERALES DE NÍQUEL

PENTLANDITA

La pentlandita $(Fe, Ni)_9S_8$ es el sulfuro de hierro y de níquel. Se presenta en formas masivas granulares. Es una mena importante de níquel, que es un metal apreciado para las monedas, como, por ejemplo, las del euro. Aleaciones del níquel se utilizan también para cubiertos. El níquel se utiliza asimismo en baterías recargables.

Es un producto de la segregación magmática y puede enriquecerse en capas inferiores de grandes cuerpos magmáticos básicos. Normalmente aparece como mineral accesorio en rocas básicas y ultrabásicas.

Las rocas ultrabásicas de la zona de Cabo Ortegal (A Coruña) son muy prolíferas para encontrar mineralizaciones de níquel, sobre todo las serpentinitas de Uzal y el área de Teixedelos a unos kilómetros al nordeste de San Andrés de Teixido. Por el Macizo de Herbeira se descubrieron anomalías superficiales de níquel con concentraciones por encima del 0'2%.

NIQUELINA

La niquelina (NiAs) es muy raro encontrarla cristalizada. Casi siempre se presenta en formas masivas con estructura columnar. Es una importante mena de níquel.

La niquelina se forma en rocas ultrabásicas, sobre todo en noritas (rocas profundas compuestas sobre todo de plagioclasas y piroxenos). También puede ser de origen hidrotermal asociado a otros minerales de cobalto y níquel. En Galicia está asociada a las rocas ultrabásicas del Macizo de Herbeira por la zona de Cabo Ortegal y Teixedelos (A Coruña).

GERSDORFITA

La gersdorfita (NiAsS) está muy rara vez cristalizada; se presenta diseminada en general. Es una mena de níquel de muy secundaria importancia. En Galicia acompaña a la **magnetita** en las rocas ultrabásicas por la zona de Cabo Ortegal (A Coruña).

SIEGENITA

La siegenita $(Co, Ni)_3S_4$ es la mena de cobalto y de níquel. Puede enseñar cristales octaédricos o cúbicos. Pero normalmente es masiva o está diseminada en agregados granudos. En general es un mineral hidrotermal. En

Cuadro 78

Pentlandita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De pardusco a amarillo bronce	Cúbica	3'5-4	4'6-5 g/cm³	Negra

Cuadro 79

Niquelina

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Rojo de cobre, rosáceo o azulado	Hexagonal	5-5'5	7'3-7'7 g/cm³	Parda negruzca

Cuadro 80

Gersdorfita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Blanco de plata o gris oscuro	Cúbica	5	5'9 g/cm³	Negra grisácea

Cuadro 81

Siegenita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Blanco con matices	Cúbica	4'5-5	4'8 g/cm³	Gris negruzca

ZARATITA

La zaratita se forma por alteración supergénica de las menas de níquel. En Galicia se observa en el área de Teixedelos, cerca de San Andrés de Teixido (Cedeira, A Coruña)

Zaratita.

Cuadro 82

Zaratita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Verde esmeralda	Cúbica	3-3'5	2'6 g/cm³	Verde manzana

Galicia es un mineral muy escaso que acompaña a otros sulfuros, como la **calcopirita**, por ejemplo, por la antigua Mina Maruxa, a unos 7 km de Moeche (A Coruña).

ZARATITA

La zaratita $Ni_3(OH)_4CO_3 \times 4H_2O$ se forma por alteración de los minerales de níquel formando costras pintorescas y está estrechamente relacionada con los depósitos de níquel y cromo. En Galicia se observa acompañando a la **pentlandita** por las serpentinitas del área de Teixedelos, a unos kilómetros al nordeste de San Andrés de Teixido (A Coruña).

Cuadro 83

Morenosita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De verde manzana a verde esmeralda	Rómbica	2-2'5	1'95 g/cm³	Blanca verdosa

Cuadro 84

Annabergita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Verde intenso	Monoclínica	1'5-2'5	3-3'1 g/cm³	Verdosa

MORENOSITA

La $Ni(SO_4) \times 7H_2O$ forma cristales aciculares, seudotetragonales. Se deshace fácilmente en ambiente seco y se puede disolver en agua.

Es un producto de oxidación de las menas, sobre todo sulfuros, de níquel y cobalto. En Galicia se ha encontrado por la zona de Cabo Ortegal acompañando a la **magnetita**, la **niquelina** y la **zaratita**.

ANNABERGITA

La annabergita, o "flor de níquel", $Ni_3(AsO_4)_2 8H_2O$ constituye siempre un estrato verde en los yacimientos de níquel. Se presenta en masas terrosas y en copos. Es un mineral secundario que se forma por la alteración supergénica de los arseniuros de níquel. En Galicia se ha encontrado en las serpentinitas de Cabo Ortegal (A Coruña).

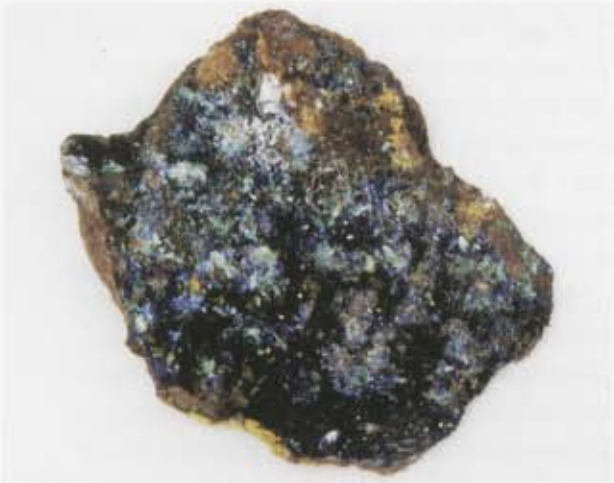
MINERALES SUPRAGÉNICOS DE LAS MENAS DE COBRE

AZURITA

La azurita, o "azul de cobre", $Cu_3(OH|CO_3)_2$ forma cristales muy modificados en agregados de drusas, radiales o costras. También puede ser masiva, compacta o terrosa.

AZURITA

La azurita o "azul de cobre" se forma por la acción de soluciones bicarbonatadas sobre sulfuros de cobre. En Galicia no es frecuente



Azurita (azul) con malaquita (verde).

Cuadro 85

Azurita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Azul marino	Monoclínica	3'5-4	3'7-3'9 g/cm³	Azul cobalto

Es un mineral de alteración supergénica en los yacimientos de cobre acompañando a la malaquita, pero es menos frecuente que ésta. Se forma por la acción de soluciones bicarbonatadas sobre sulfuros de cobre. Sirve como mena de cobre y como pigmento. En Galicia no es muy frecuente, pero se puede encontrar en las mismas localidades que la **malaquita**, sobre todo en las zonas oxidadas de los yacimientos de **calcopirita**, por ejemplo.

MALAQUITA

La malaquita, con fórmula química $Cu_2[(OH)_2|CO_3]$, se presenta muy rara vez en cristales. Normalmente forma masas y costras de estructura fibroso-radiada o capas concéntricas.

Es un producto de alteración de los minerales de cobre y se puede enriquecer considerablemente en la zona superficial de los yacimientos de cobre sellándolo con una capa firme con otros de minerales secundarios. Sirve como mena de cobre y como piedra de adorno.

La malaquita acompaña a la **calcopirita** en las localidades de Vilarín y Valdeorras (Ourense) y en los yacimientos de cobre de Arinteiro, Fornas y Bama (A Coruña). En los alrededores de Vilachán do Monte, cerca de Tomiño (Pontevedra), se pueden observar manchas de malaquita asociadas a filones pegmatíticos. Cerca de A Pobra do Caramiñal (A Coruña) se encuentran costras de malaquita sobre cuarzo pegmatítico. Aparece también con **pirita** en los Montes de Picón (A Coruña) y en un filón mineralizado cerca de Paciocova, al sursudeste de Monforte (Lugo). En las calizas de Viloira, cerca de O Incio (Lugo), se observan mineralizaciones escasas de **azurita** y malaquita, como también por debajo de la aldea de Vilar de Ferreira en Cervantes (Lugo). Ambos minerales aparecen también en las zonas superficiales de los filones mineralizados de Pb y Zn de Riotorto y Navallo (Lugo).

MALAQUITA

La malaquita sirve como mena de cobre y también como piedra de adorno

Malaquita con su típico color verde.

Cuadro 86

Malaquita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Verdoso	Monoclínica	3'5-4	3'9-4'1 g/cm³	Verde

CUPRITA

La cuprita (Cu_2O), u "óxido de cobre", se forma en la zona de oxidación supergénica de diferentes minerales cupríferos. Se presenta muy frecuentemente en octae-

Cuadro 87

Cuprita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Rojo de claro a oscuro, gris	Cúbica	3'5-4	6 g/cm³	Rojiza, rojo castaño

dros o forma cristales fibrosos de intenso color rojo. También puede ser masiva o compacta de grano fino. Se altera fácilmente a **malaquita**.

Se ha citado en Vilarín y O Cebreiro (Lugo) y por la zona de Valdeorras (Ourense) asociada a la **calcopirita** y carbonatos.

ELEMENTOS NATIVOS

COBRE NATIVO

El cobre nativo es puro cobre y se presenta a veces en los yacimientos de sulfuros de cobre, en forma de pequeños cubos, octaedros, escamas o hilos. Era uno de los primeros metales que utilizó el hombre prehistórico.

El cobre nativo se puede formar en la zona de oxidación de los depósitos de cobre, en algunos criaderos hidrotermales, a veces asociado a lavas basálticas. En Galicia se ha encontrado muy raras veces relacionado con los yacimientos de **calcopirita** y **bornita**.

PLATINOIDES

Cuando se habla de los sulfuros, de rocas ultrabásicas y especialmente del mineral de cromita, hay que hacerlo también del platino, o, mejor dicho, de los elementos del grupo de los platinoides (rutenio, rodio, paladio, osmio, iridio, platino), también conocidos como EGP: Elementos del Grupo de Platino. Los platinoides son elementos muy valiosos y hay una estrecha relación genética entre ellos. Apenas es posible observar el platino en el campo, porque se esconde como inclusión microscópica diseminada en los sulfuros y los minerales de cromo. Normalmente son cristales bastantes deformados, en forma de granos, escamas o pepitas.

En un principio, el platino se utilizaba sobre todo en los catalizadores de los procesos químicos (por ejemplo, para la preparación de ácido nítrico y sulfúrico). Desde los años ochenta del siglo XX la aplicación como catalizador de coche tiene mucha más importancia para el consumo de este metal noble. La industria de la joyería es otro gran consumidor de platino.

Platinoides se encuentran en las **cromitas** de las rocas ultrabásicas del Macizo de Herbeira (Cabo Ortegal, provincia de A Coruña). Tanto en rocas piroxeníticas con schlieren o bandas cromíticas se pueden observar elevados contenidos en platino. Otra zona mineralizada de níquel-cromo-platinoides se sitúa por la zona de Monte Castelo (entre Carballo y Negreira, provincia de A Coruña). Se supone que son yacimientos de altas concentraciones, pero de poco volumen.

Cuadro 88

Cobre nativo

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Rojo de cobre	Cúbica	2'5-3	8'9 g/cm³	Roja

Cuadro 89

Platinoides

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Gris de acero	Cúbica	4-4'5	14-21'5 g/cm³	Gris

DOMINIO DE ROCAS SEDIMENTARIAS

En la superficie las rocas, como el hombre, están expuestas a las fuerzas atmosféricas e hidrosféricas que son el viento, la lluvia, el calor y el hielo. Éstos son los medios agresivos de la erosión física. Pero también las plantas y las bacterias atacan a las rocas. Por otro lado, las aguas superficiales y subterráneas, como también las sales disueltas en ellas, hacen que las rocas se alteren.

Otro fenómeno que destruye las rocas es su presión interna. La mayoría de las rocas cristalinas se formaron en el interior del planeta, en profundidades de varias docenas de kilómetros, con una presión interna que es varios miles más alta que la presión atmosférica. Por los procesos tectónicos del interior de la Tierra que forman las montañas, las rocas cristalinas se encuentran hoy en día en la superficie, donde se relajan descomponiéndose lentamente. Pero también puede ser el propio peso de la roca lo que hace que se rompa.

Todas estas fuerzas físicas, biológicas y químicas hacen que las rocas, que están compuestas por minerales, se vuelvan a descomponer finalmente en sus compuestos. Este fenómeno se llama también "meteorización". La roca alterada, o meteorizada, se desmenuza rápidamente y sus componentes son transportados por el viento, el agua y el hielo en regiones heladas, y se

depositan de nuevo formando depósitos sedimentarios o permanecen en solución.

Los minerales no estables se descomponen por la acción del agua, el ácido carbónico y el oxígeno de la atmósfera en sus compuestos químicos, que se lleva el agua, o se forman minerales nuevos más estables. De estos minerales "nuevos" se va a hablar en la última parte del apartedo dedicado a las formaciones cuaternarias y recientes. Otros minerales son más resistentes mecánica y químicamente, como el cuarzo, silicatos como los feldespatos, los piroxenos, el circón, los granates, los minerales del grupo de las espinelas, la casiterita, la wolframita y otros más. Algunos de éstos, los minerales pesados, se acumulan formando los placeres en depósitos de arenas y cantos rodados en los ríos o en el mar.

Los minerales muy resistentes, como el cuarzo y los feldespatos, se depositan en las regiones continentales de los océanos y cuencas formando arenas silíceas que pueden ser cementadas a lo largo del tiempo para dar areniscas y otras rocas clásticas. Si el tamaño de grano es muy fino, menor de 0'1 mm, estas partículas de carácter hojoso, las **arcillas**, en su majoría pueden permanecer en suspensión muchos miles de kilómetros hacia el interior de los océanos, donde forman los sedimentos arcillosos.

Rocas clásticas como las areniscas y pizarras compuestas por cuarzo, feldespatos y arcillas forman las montañas del este y nordeste de Galicia. Los dos primeros minerales ya se discutieron con las unidades de rocas ácidas (granitoides). Las arcillas serán descritas hacia el final de este capítulo. En su mayoría las rocas sedimentarias de Galicia sufrieron un impacto de presión y temperatura durante la formación de las montañas y fueron metamorfizadas, dando origen a nuevos minerales, que se van a tratar en el apartado dedicado a las formaciones metamórficas. Por los procesos metamórficos progresivos, las areniscas y pizarras se transforman en cuarcitas, pizarras cristalinas, esquistos y gneis, y, finalmente, se refunden formando un magma granítico.

Quedan también por describir los minerales que forman los sedimentos químicos. Durante sus largos caminos de las montañas al mar, las aguas superficiales, y subterráneas, se enriquecen en muchos elementos químicos que han formado parte de los minerales más solubles en agua. De gran importancia para la formación de los sedimentos químicos son el sodio, el calcio, el magnesio y el ácido carbónico. Estos elementos y compuestos solubles llegan con el agua a los lagos y océanos, donde se precipitan formando nuevos minerales por entrar en ambientes con condiciones diferentes o por evaporación del agua. Los sedimentos químicos más frecuentes comprenden las calizas, las dolomías y los depósitos salinos.

Los componentes principales de la caliza y de la dolomía son los carbonatos. La caliza está compuesta sobre todo del mineral **calcita** ($CaCO_3$) y la dolomía de la **dolomita**, donde una parte del calcio de la calcita está sustituida por magnesio. También existen mezclas de los dos minerales formando calizas dolomíticas. Bajo los efectos metamórficos, los minerales carbonáticos se recristalizan formando el mármol. El carbonato de magnesio se llama **magnesita**. Pero este mineral se encuentra con menos frecuencia en la naturaleza. Sin embargo, en Galicia existe un yacimiento de este mineral que se explota desde hace mucho tiempo.

GRUPO DE LOS CARBONATOS

CALCITA

La calcita ($CaCO_3$), o "espato caliza", es el carbonato cálcico. Tiene un brillo vítreo, forma cristales de romboedros y escalenoedros (dientes de perro) característicos y presenta una exfoliación perfecta. Como producto de la

Cuadro 90

Grupo de los carbonatos

	Fórmula química
Calcita-rodocrosita	$CaCO_3$-$MnCO_3$
Dolomita-ankerita	$CaMg(CO_3)_2$-$(Mg, Fe)(CO_3)_2$
Magnesita-siderita	$Mg(CO_3)$-$Fe(CO_3)$

Cuadro 91

Calcita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Incoloro, blanco, amarillo	Trigonal	3	2'6-2'8 g/cm³	Blanca

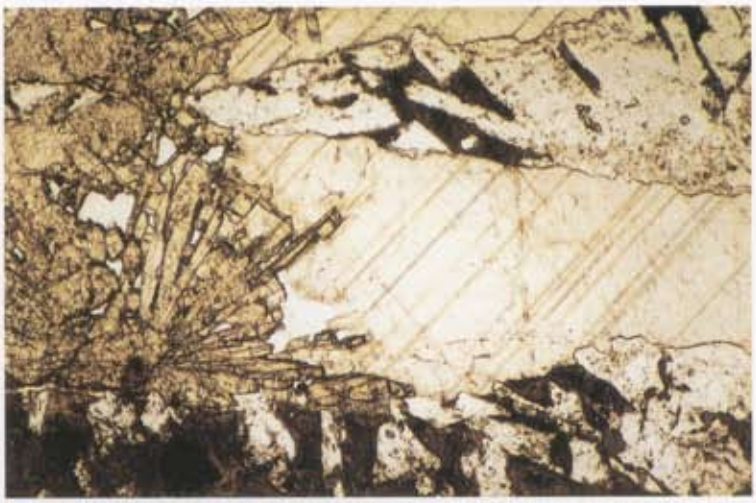
precipitación química, el Ca puede estar sustituido por Mn, Fe, Sr, Co, Zn, Ba y Pb.

Como ya se ha dicho antes, la calcita se forma principalmente en cuencas marinas y continentales; o también en algunas rocas magmáticas alcalinas, en filones hidrotermales (por ejemplo, asociada a la fluorita). Durante los procesos metamórficos se puede formar de nuevo en los mármoles. Por erosión de las aguas superficiales y subterráneas se crean cuevas kársticas en las rocas calcáreas (calizas). En estas cavernas y grutas la filtración lenta de las aguas cargadas de carbonato cálcico hace formar las estalactitas (pendientes del techo) y las estalagmitas (en el suelo), creando estos mundos subterráneos preciosos, caprichosos y fantásticos compuestos de calcita.

Los carbonatos cálcicos se emplean tradicionalmente para la fabricación de cementos, materiales de construcción, como la cal o el mortero, y productos cerámicos, vítreos y refractarios. Aplicaciones modernas son el uso como aditivos y relleno en papeles, plásticos y pinturas, mejorando las propiedades de estos productos con respecto a la coloración, la opacidad, la lisura, etc. La cal viva (CaO) es un reactivo importante en los procesos químicos y metalúrgicos (por ejemplo, para la reducción de menas de hierro). En el campo de la protección del

CALCITA

La calcita es carbonato cálcico. Se forma principalmente en cuencas marinas y continentales, o también en algunas rocas magmáticas alcalinas, en filones hidrotermales.
En cavernas y grutas formadas por rocas calcáreas, la filtración lenta de agua cargada de carbonato cálcico hace que se formen estalactitas (en el techo) y estalagmitas (en el suelo), creando mundos subterráneos caprichosos y fantásticos



Mármol en lámina delgada con calcita (con estrías de maclas) y hornblenda (marrón).

Por la técnica de luz polarizada los minerales aparecen en otros colores más vivos, que facilitan su identificación en el preparado de la primera foto.

Estalactitas de calcita.

Calcita enseñando la característica exfoliación espática (con inclusión de pirita).

medio ambiente, el carbonato cálcico ($CaCO_3$) se utiliza para la neutralización de contaminaciones ácidas.

Los afloramientos de rocas carbonatadas ordovícicas corresponden a la Formación La Alquiana y se localizan fundamentalmente en los municipios de O Incio (Lugo), Viana do Bolo y comarca de Valdeorras (Ourense). La calcita se encuentra como ganga de menas metálicas filonianas en los yacimientos de **galenita** y **blenda** (Pedrafita, Lugo) y de **estibina** (O Courel y Cervantes, Lugo). En las otras regiones de Galicia existen sólo lentejones de calizas. Por ejemplo, aflora una caliza muy recristalizada entre las serpentinitas del área de Moeche (nordeste de Ferrol, A Coruña).

DOLOMITA

La dolomita $CaMg(CO_3)_2$ es un carbonato cálcico-magnésico muy parecido en su aspecto, estructura y yacimiento a la calcita, pero es menos frecuente que ésta. Como mineral primario, se presenta en secuencias evaporíticas. En su mayoría, es un mineral secundario, formándose en gran parte en los sedimentos carbonatados por sustitución de la calcita.

La dolomita sirve para la fabricación de materiales refractarios y la obtención de magnesia (MgO) y magnesio metálico. Tiene similares aplicaciones que el carbonato cálcico en la metalurgia y en la agricultura.

En Galicia la dolomita acompaña a la **calcita** en las calizas, dolomías y mármoles de las zonas montañosas de la parte oriental de Lugo y extremo nordeste de la provincia de Ourense. Se encuentra también, pero con menos frecuencia que la calcita, como ganga de menas metálicas filonianas. Como producto de procesos metamórficos, la dolomita se observa en las rocas básicas y ultrabásicas de la provincia de A Coruña, junto con **anfíboles**, **talco** y **epidota**.

ANKERITA

La ankerita $(Mg, Fe)(CO_3)_2$ se presenta en masas espáticas o granos y puede tener un apecto muy semejante al de la dolomita. Como existen sustituciones del hierro por el magnesio y el manganeso, es difícil establecer unas proporciones fijas.

Se forma por procesos metasomáticos de la sustitución de la **calcita** y la **dolomita** por la **siderita**. Se encuentra acompañando a la dolomita y la siderita.

MAGNESITA

La magnesita ($MgCO_3$) o "espato amargo" es una mena importante de magnesio. Anteriormente la magnesita se llamó también **giobertita**, en honor a un químico italiano. Se presenta normalmente en forma de masas espáticas, con grumos blancos y muy densos. Las magnesitas pueden presentar impurezas de cuarzo, dolomita y minerales arcillosos (por ejemplo: clorita, paragonita y sericita). Es frecuente que posea contenidos variables de Fe, Mn y Ca.

En el ciclo sedimentario, la magnesita yace por precipitación en medios sedimentarios evaporíticos muy especiales en cuencas y mares cerrados. Más frecuente es su origen metasomático. En depósitos de carbonatos cálcicos se puede formar por sustitución metasomática debido a actividades metamórficas e hidrotermales. También es un producto de alteración de rocas básicas y ultrabásicas.

Cada año se extraen unos 19 millones de toneladas de magnesita de nuestro planeta. La mayor parte de la magnesita se calcina para obtener magnesia viva (MgO). La

Cuadro 92

Dolomita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Blanco, gris, marrón	Trigonal	3'5-4	2'85-2'95 g/cm³	Blanca

Cuadro 93

Ankerita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De pardo hasta negruzco	Trigonal	3'5-4	2'9-3 g/cm³	Blanca

Cuadro 94

Magnesita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Gris, crema, amarillo, blanco grisáceo	Trigonal	4-4'5	3'0 g/cm³	Blanca

Cuadro 95

Rodocrosita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Rosa	Trigonal	3'5-4'5	3'3-3'6 g/cm³	Blanca

producción mundial de magnesia viva son unos 8 millones de toneladas por año. Como la magnesia tiene un muy alto punto de fusión, casi un 80% de la producción de magnesia se emplea para la fabricación de ladrillos refractarios y revestimientos. Las otras aplicaciones son el uso en la pasta de papel, como aglutinante (en la industria farmacéutica, en pesticidas, explosivos, etc.), para la nutrición del ganado y como abono o corrector de suelos.

Últimamente se habla mucho del magnesio como metal del futuro, porque es el más ligero de los metales estructurales (una tercera parte más ligero que el aluminio), tiene un punto de fusión bajo de unos 651 °C, y una gran solidez. La industria del automóvil presenta un gran mercado para el magnesio metálico como material de carrocería muy ligero.

RODOCROSITA

La rodocrosita ($MnCO_3$) se presenta normalmente en masas espáticas de color rosado o rojo pardusco.

Se forma principalmente en criaderos acompañando las menas de Pb, Ag y Co. Aparece con menos frecuencia en rocas sedimentarias carbonatadas y en sus equivalentes metamórficas.

SIDERITA

La siderita es un carbonato de hierro ($FeCO_3$) que se llama también "espato de hierro". Este mineral trigonal amarillento o blanco sucio tiene un brillo vítreo y exfolia bien. Se presenta en formas de romboedros, en masas espáticas de grano grueso o con escamitas (cristales muy aplanados). También forma nódulos, concreciones globulares fibroso-radiales y oolíticas. La magnesita ($MgCO_3$) es completamente isomorfa con la siderita. Existen nombres especiales para los miembros intermedios de la serie siderita-magnesita. Además del magnesio, se pueden encontrar presentes pequeñas cantidades de Mn y Zn.

La siderita es un componente común en varios tipos de sedimentos ricos en hierro. En estado de gel se deposita en lugares pantanosos por acción de la materia orgánica sobre el bicarbonato ferroso disuelto y en ausencia de oxígeno. Asociada a arcillas, puede dar lugar a rocas ferríferas arcillosas. Se origina metasomáticamente a partir de calcita o de dolomita, o hidrotermalmente en las gangas de filones y masas de sustitución. Es un mineral relativamente frecuente en las gangas hidrotermales de filones mineralizados de Pb (véase: galena), Ag y Co.

Los agregados cónicos (la esferosiderita) se forman preferentemente en basaltos. La siderita se altera con mucha facilidad a limonita y goethita.

En la primera mitad del siglo XX el carbonato de hierro era la más importante mena de hierro, antes del descubrimiento y la explotación de los grandes yacimientos de hematita (Fe_2O_3) y magnetita (Fe_3O_4) en Brasil, África, Australia y otras regiones. Los yacimientos de siderita del nordeste de Galicia, estrechamente relacionados con los yacimientos de hierro (**siderita**, **magnetita**, **hematita**,

SIDERITA

La siderita es un componente común en varios tipos de sedimentos ricos en hierro.
En la primera mitad del siglo XX (antes del descubrimiento y explotación de los grandes yacimientos de hematita y magnetita de Brasil, África o Australia) el carbonato de hierro era la más importante mena de hierro que existía, y en el nordeste de Galicia era muy abundante

Cuadro 96

Siderita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Amarillento o blanco sucio	Trigonal	4-4'5	3'7-3'9 g/cm³	Incolora

Siderita.

pirita) del noroeste de la Península, eran muy importantes hasta las primeras décadas del siglo XX.

Estos yacimientos de hierro aparecen formando arcos paralelos, siguiendo las directrices hercínicas: el Arco Occidental (interno por su posición en el Geosinclinal Hespérico), que comienza en Viveiro, pasa por el oeste de Vilalba, O Incio y O Courel hasta el Monte Teleno (en la provincia de León). El Arco más Oriental (externo) se extiende desde Ribadeo por Vilaoudriz y A Fonsagrada, hasta Villafranca del Bierzo (León), y sigue de Ponferrada hasta Astorga. En el Arco Externo están situadas dos zonas importantes en Galicia: una es la zona de A Órrea--A Fontaneira y la otra la de Vilaoudriz-San Pedro do Río.

Estas mineralizaciones de hierro están unidas a las rocas ordovícicas de las Pizarras de Luarca y con menor importancia a la Serie de los Cabos. La mena de hierro presenta generalmente una textura oolítica y aparece formando una o varias capas de espesor variable (de algunos centímetros a varios metros), que se pueden seguir a lo largo de varios kilómetros. Los minerales principales, aparte de la siderita, son los óxidos e hidróxidos de hierro, que son más importantes en algunas zonas que la siderita, y las cloritas. Como minerales accesorios aparecen la **pirita**, la **calcopirita**, la **arsenopirita**, el **apatito**, el **rutilo**, la **ilmenita** y el **grafito**. La siderita se presenta, igual que las **cloritas**, formando parte de las capas oolíticas, en su núcleo y también como matriz. La Zona Interna se caracteriza por la mayor presencia de **magnetita**, debido al efecto del metamorfismo regional y de contacto, localmente. Tanto los carbonatos como los silicatos de hierro pueden pasar a óxidos de hierro por un aumento de temperatura y de presión. En las otras dos zonas externas sólo aparecen la siderita y la clorita.

Cuadro 97

Smithsonita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De amarillo a verde azulado	Trigonal	4-4'5	4'3-4'5 g/cm³	Blanca

Cuadro 98

Cerusita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Blanco crema, incoloro	Rómbica	3-3'5	6'4-6'6 g/cm³	Blanca

SMITHSONITA

Este carbonato de cinc ($ZnCO_3$) forma agregados cristalinos o masas granuladas. Puede incorporar hasta un 3% de Cd. Es de origen secundario, en su mayoría derivado de la alteración de la blenda.

La smithsonita se encuentra muy escasamente como mineral de alteración supergénica en el yacimiento de Pb y Zn de Rubiais (Lugo). La presencia de este mineral se observó en la región de Trabada y por Foilebar, cerca de O Incio (Lugo).

CERUSITA

La cerusita ($PbCO_3$), o "plomo blanco", es un importante mineral de plomo en la zona de oxidación de los yacimientos de galena. Presenta un brillo diamantino y una exfoliación en parte buena. Forma cristales de hábito rómbico muy frágiles o agregados drusiformes y columnares. Se observa también en masas granosas grises o masas cristalinas aciculares.

La cerusita se encuentra muy escasamente como mineral de alteración supergénica en el yacimiento de Pb y Zn de Rubiais (Lugo). Algunos indicios se encontraron también por Foilebar, cerca de O Incio (Lugo).

ÓXIDOS DE MANGANESO

PIROLUSITA

Esta mena de manganeso (MnO_2) se presenta normalmente en forma de fibras o masas columnares radiadas. Se llama también "manganesa blanda". Contiene hasta un 63% de manganeso y es una mena importante

Cuadro 99

Pirolusita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Negro	Tetragonal	1-2	5'1 g/cm³	Negra

de este metal. Aceros ricos en manganeso sirven para interruptores de rieles de ferrocarril, para herramientas, ejes de ruedas, cajas fuertes, arados y fabricación de baterías.

Es un mineral supergénico o sedimentario, que forma los famosos depósitos nodulosos en el fondo del mar. La pirolusita no se observa mucho en Galicia. Se puede encontrar en masas compactas e irregulares en Cambados (Pontevedra) y por la zona de Riotorto (Lugo).

PSILOMELANA

Es la "manganesa dura", o "manganomelana", con fórmula química $(Ba, H_2O)_2Mn_5O_{10}$. Se presenta en masas nodulosas y costriformes. Como la pirolusita, es una mena de manganeso importante económicamente.

Se encuentra muy a menudo formando dentritas filigranas en superficies de grietas y fisuras en rocas sedimentarias, sobre todo en calizas. Es un producto de alteración de rocas eruptivas y sedimentarias. En Galicia la psilomelana es muy rara. En algunos yacimientos de hierro se observó acompañando a la **limonita** o a la **siderita**.

PSILOMELANA

La psilomelana es la "manganesa dura" y supone una importante mena de manganeso a nivel económico. En Galicia es muy rara

Psilomelana nodulosa.

Cuadro 100

Psilomelana

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Negro, pardo	Monoclínica	4-6	4'4-4'7 g/cm³	Negra pardusca

SULFATOS Y SALES

Otros minerales importantes que pueden formar sedimentos químicos son el yeso ($CaSO_4$ x $2H_2O$) y la anhidrita ($CaSO_4$). Ambos minerales se encuentran en sedimentos evaporíticos, principalmente junto con minerales del tipo halita (NaCl), silvina (KCl), carnalita ($KMgCl_3$ x $6H_2O$) y polihalita [$K_2Ca_2Mg(SO_4)_4$ x $2H_2O$]. Estos minerales evaporíticos se forman en antiguos y recentes mares y lagos salados cerrados por la evaporación del agua. El yeso se puede formar por la hidratación de la anhidrita. El yeso y la anhidrita se encuentran también en rocas calcáreas (calizas y dolomías) y asociados a arcillas.

En Galicia apenas se observan épocas evaporíticas. Pero en un principio las cuencas terciarias, sobre todo del Mioceno, eran períodos favorables para la aparición de yesos. De la **halita** habrá que hablar en el apartado de las formaciones recientes.

FORMACIONES METAMÓRFICAS E HIDROTERMALES

Los minerales que forman las rocas magmáticas se alteran en la superficie, donde son sometidos a las condiciones físico-químicas de nuestra atmósfera e hidrosfera, formando nuevos minerales más estables. Durante unos cientos de miles o millones de años se depositan varios kilómetros de sedimentos en los océanos, que se consolidan bajo el peso de los sedimentos más recientes. Por la presión de los sedimentos que soportan, los minerales en las capas o estratos más profundos tienen que adaptarse continuamente a las nuevas condiciones de elevadas presiones y temperaturas. Las elevadas presiones también provocan una deshidratación de los sedimentos, lo que significa que se cambia también el entorno o medio químico de los minerales.

En la tectónica de placas se habla del proceso de subducción cuando dos placas están chocando entre ellas y una placa se mete debajo de la otra. Normalmente la más pesada desaparece debajo de la otra más ligera, que se sube formando una montaña. Por estos procesos tectónicos de subducción, los sedimentos compactados o rocas sedimentarias, como también las rocas magmáticas, pueden ser sumergidos a muy grandes profundidades, hasta muchos cientos de kilómetros, donde se encuentran a temperaturas y presiones tan elevadas que los hacen fundir, formando parte del magma. Es aquí

donde se cierra el ciclo de la formación de las rocas y empieza otro ciclo con el origen de rocas magmáticas a partir de un magma. Por los procesos de la formación de las montañas, sin embargo, algunos paquetes de rocas pueden ser levantados antes de sufrir la fundición parcial o total en la profundidad. De esta manera se encuentran más o menos fuertemente metamorfizadas en la superficie, constituyendo las montañas. Y presentan, casi "congelados", los minerales metamórficos que se formaron por las altas temperaturas y presiones en profundidades de menos de 100-200 kilómetros, por lo general. El conjunto de estos procesos se llama "metamorfismo regional" y se distingue del "metamorfismo de contacto" por estar mucho más extendido regionalmente (varios cientos de kilómetros). El "metamorfismo retrógrado" —la inversión del metamorfismo regional— es el proceso por el cual las rocas, y sus minerales constituyentes, que se formaron en zonas muy profundas, a temperaturas y presiones elevadas, son sometidas a nuevas condiciones con presiones y temperaturas mucho más reducidas por el ascenso de las rocas a zonas superiores. El metamorfismo de contacto se produce por contactos de un magma granítico o basáltico ascendente con las rocas vecinas, en las que penetra formando una aureola de contacto en el espacio de pocos kilómetros.

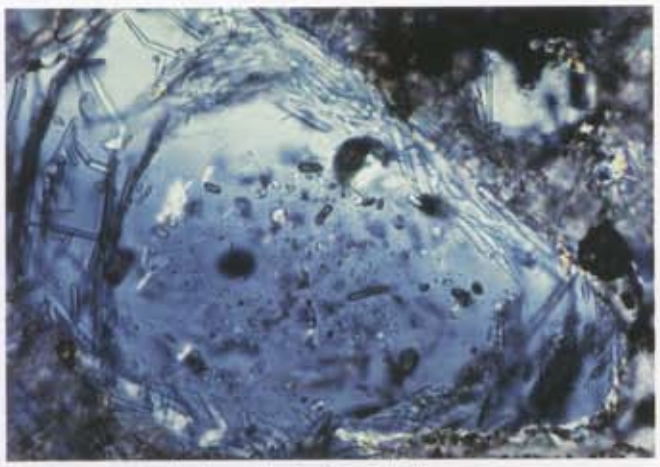
Las transformaciones que sufren los minerales como consecuencia de cambios de temperatura y de presión bajo la sustracción o adición de fluidos químicos, con la formación de nuevos minerales y cambios esenciales en la estructura de las rocas, se llama "metamorfismo". En la literatura científica existen varios términos técnicos para condiciones y ambientes o medios específicos. El "metasomatismo" se refiere a un sustitución de un mineral por otro de composición diferente que supone una reacción química entre los minerales o, mejor dicho, una adición o sustracción de materia. La "diagénesis" se limita a los procesos de consolidación de sedimentos formando una roca sedimentaria. Cuando las temperaturas y presiones suben más (por encima de los 200 °C) ya entramos en la zona de los procesos metamórficos. Por definición, existen muchas facies (conjuntos de caracteres petrográficos comunes) metamórficas que comprenden una más o menos bien definida gama de temperaturas y presiones. Por encima de los 800-1.000 °C empieza la fusión parcial de las rocas.

Para dar un ejemplo, podemos seguir virtualmente un sedimento hasta transformarse en un magma granítico. Durante la diagénesis se compactan las arcillas en la profundidad de los océanos formando pizarras arcillosas. Por encima de los 200-300 °C, donde empieza el metamorfismo regional de bajo grado, las arcillas comienzan a recristalizarse y se forman muy pequeños cristales de **cuarzo** y de **sericita** configurando la filita, una pizarra cristalina de color grisáceo de brillo sedoso. Con el aumento de la temperatura y la presión entramos en el metamorfismo de grado medio, pasando los 500 °C y profundidades de unos 10-20 kilómetros. Siguen creciendo los cristalitos de **cuarzo** y de **moscovita**. La pizarra micácea pierde el brillo sedoso de la filita y con la formación de **feldespatos** llegamos a observar una roca metamórfica de estructura hojosa a laminar, el esquisto. Finalmente, llegamos al metamorfismo de alto grado, por encima de los 650-700 °C y en profundidades de unos 15-25 kilómetros. Es el dominio de los gneis, donde el **feldespato** es un constituyente mayoritario junto al **cuarzo**, con sus características estructuras escamosas y lenticulares, exfoliación rugosa y grandes inclusiones de minerales, algunos con formas de ojos. Eso culmina en la iniciación de la anatexia (la refundición de las rocas) con la formación de la granulita, una roca metamórfica clara de muy alto grado, ya muy similar al granito, compuesta de **cuarzo**, **ortoclasa** y **plagioclasa**, como componentes esenciales, como también de granates y piroxenos. Sigue la temperatura y la presión, sube el grado de la anatexia y finalmente llegamos a tener un magma granítico que intenta emigrar hacia zonas de menor presión subiendo hacia arriba a niveles superiores de la corteza terrestre y formando cuerpos plutónicos.

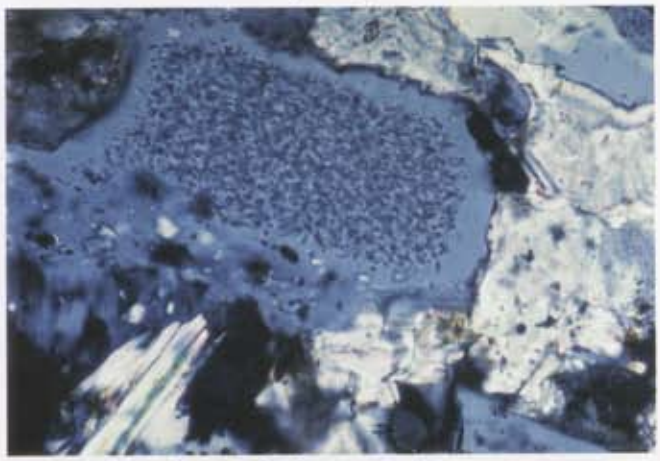
En la geociencia clásica se diferencian los procesos metamórficos de los procesos hidrotermales. En sentido estricto, "hidrotermal" se refiere a aguas minerales cálidas. Mineralizaciones hidrotermales son precipitados de aguas mineralizadas que se formaron a temperaturas por debajo de los 350 °C. Pueden formar grandes acumulaciones y concentraciones de minerales y menas útiles para ser explotadas económicamente, que se denominan "criaderos" o "yacimientos". Formaciones neumatolíticas y pegmatíticas cubren la gama de temperatura entre la zona hidrotermal y la fusión parcial. Por los resultados científicos de muchas campañas de sondeos muy profundos en los fondos de los océanos y en tierra y por los estudios de inclusiones fluidas en minerales, se sabe hoy en día que el agua, ya sea en forma dispersa (humedad), cristalina (grupos de OH en las células elementales) o

INCLUSIONES FLUIDAS

Cualquier roca puede contener inclusiones fluidas submicroscópicas en sus minerales



Cuarzo con inclusiones de apatito y fluidas.



Cuarzo con inclusiones fluidas.

libre (por grietas, fracturas, etc.), llega a muy profundas zonas de la corteza terrestre.

Por esta razón se unen en este apartado no sólo los típicos minerales metamórficos, sino también los minerales hidrotermales. Tal vez una diferenciación simple y práctica es que los minerales metamórficos se forman a partir de minerales menos móviles y se quedan en general en la roca donde se formaron por las nuevas condiciones físico-químicas, mientras que los minerales hidrotermales son precipitados de soluciones mineralizados de los componentes y elementos más solubles. Pero en ambos casos son los mismos agentes, el calor, la presión y los fluidos químicamente activos, los responsables para la nueva formación de minerales, provocados por los mismos o similares procesos tectónicos en las mismas zonas de la corteza de nuestro planeta.

La actividad hidrotermal sigue también hoy en día y se hace notar en las fuentes y manantiales de aguas termales y minerales. Se consideran "aguas minerales" aquéllas que tienen trazas disueltas (como, por ejemplo, cloruros, sulfuros y bicarbonatos) en cantidades por encima de la normalmente hallada en aguas dulces superficiales o de manantial. "Aguas termales" se denomina a las aguas minerales de origen profundo que presentan temperaturas superiores a los 30 °C. En Galicia existen numerosas explotaciones de aguas minerales, la mayor parte como industrias de aguas minerales embotelladas y algunas con fines medicinales-terapéuticos en balnearios.

En Galicia hay que diferenciar las regiones occidentales y centrales (provincias de A Coruña y Pontevedra), donde el metamorfismo (o polimetamorfismo) llegó a la temperatura de la fusión parcial, y las zonas montañosas del este y sudeste de la provincia de Lugo y la zona nordeste de Ourense, donde el metamorfismo era más débil con cierta actividad hidrotermal. Los minerales y las menas relacionados con la formación de las rocas magmáticas, ya sean granitoides o rocas básicas y ultrabásicas —a más elevadas temperaturas—, se han descrito en otros capítulos. Aquí queremos concentrarnos en los típicos minerales metamórficos que caracterizan las rocas metamórficas y en los minerales y las menas que forman yacimientos hidrotermales.

MINERALES METAMÓRFICOS TÍPICOS

GRUPO DE LAS SILLIMANITAS

La andalucita (Al_2SiO_5) forma, con la sillimanita y la cianita, un grupo de minerales silicoaluminosos muy importantes, que son polimorfos (tienen la misma composición química). Las dos primeras son rómbicas; la cianita es triclínica. La andalucita es estable a temperaturas bajas (normalmente por debajo de los 600-700 °C, según la presión); la sillimanita es estable a temperaturas más elevadas (por encima de los 500-700 °C). La cianita tiene su campo de estabilidad a temperaturas medias y presiones altas. Por la existencia de uno de estos minerales en rocas metamórficas se puede determinar el grado de su metamorfismo. Por esta razón, estos tres minerales son de gran importancia para los petrógrafos que quieren descifrar la historia de la corteza terrestre por medio del estudio de rocas metamórficas.

ANDALUCITA

Se presenta en cristales largos prismáticos de base cuadrada, presenta una buena exfoliación y puede llegar a tamaños de 5-10 cm de longitud. Muy característico es su núcleo cruciforme o maclas en forma de reloj de arena. Las inclusiones de grafito y materia carbonosa son abundantes y simétricamente distribuidas en la variedad de la **quiastolita**, donde aparecen como una cruz negra en la base cuadrada.

La andalucita es muy frecuente en las zonas de contacto (las aureolas) de granitos con pizarras arcillosas (ricas en Al_2O_3), filitas y esquistos poco metamorfizados. Aparece también en algunos esquistos de metamorfismo regional, donde forma más bien granos redondeados de unos milímetros de diámetro. Es también bastante frecuente como mineral detrítico.

Por su alto contenido en Al_2O_3, la andalucita es una materia prima importante para los productos refractarios alumínicos. La mullita ($3Al_2O_3$ x $2SiO_2$) es un mineral silicoaluminoso con muy buenas propiedades refractarias. Es muy escaso en la naturaleza; sin embargo, se puede obtener mediante la calcinación de otros minerales silicoaluminosos, como, por ejemplo, la andalucita y los otros dos polimorfos. Casi un 95% de la producción de estos minerales (unas 421.000 toneladas en 1998) se utiliza en la fabricación de refractarios empleados en la industrias metalúrgicas, del cemento, del vidrio, cerámicas y petroquímicas. Las variedades verdes transparentes son usadas como gemas.

En Galicia la andalucita se encuentra en forma de nódulos y buenos cristales en las metasedimentitas que afloran por las zonas de Portonovo, Cabo Home, Burgueira, Monteferro, Goián, O Rosal y Tui (Pontevedra), en el Valle de O Rosal, Louredo, Moreiras, Verín (Ourense), O Valadouro, Oirán, Rao (Lugo) y por la zona de Noia (A Coruña). La compañía Geocesa Minerals, S. L. explota un yacimiento de andalucita cerca de Pontedeume (A Coruña). Este yacimiento es del tipo metamórfico de contacto. Dos importantes compañías productoras de refractarios en Galicia son Lomba Camiña, S. A. y Cedonosa, que pertenecen al grupo de minerales francés Imetal (ahora R2C).

La **quiastolita** es una andalucita con el núcleo oscuramente pigmentado por material orgánico. Se encuentra con frecuencia en pizarras bituminosas que fueron afectadas por un metamorfismo de contacto (por ejemplo: por una intrusión granítica). Por la neoformación nodulosa de los cristales de quiastolita se forman pizarras nodulosas, destruyéndose la textura primaria de la pizarra. En toda Galicia hay zonas donde se puede observar bien este fenómeno de un metamorfismo de contacto en pizarras bituminosas con nódulos de quiastolitas. Es abundante en los valles del Miño y Louro, Serra de Penouta, Elixa y San Mamede (Ourense).

ANDALUCITA

La andalucita es una importante materia prima para los productos refractarios alumínicos. Su principal característica es su núcleo en forma de cruz o maclas en forma de reloj de arena

Andalucita con maclas en forma de reloj de arena.

Cuadro 101

Andalucita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Gris, gris rojizo, blanco, pardo	Rómbica	7'5	3'1-3'2 g/cm³	Gris, blanca

CIANITA

La cianita, o **distena**, es la modificación isomorfa de alta presión del Al_2SiO_5. Se presenta en agregados radiales, hojas irregulares o cristales prismáticos aplastados. En dirección de las fibras tiene una dureza de 4-5, y transversalmente a ellas 6-7, lo que se llama también "anisotropía" con respecto a esta propiedad.

Es un mineral metamórfico en esquistos, gneis y granulitas. La presencia de cianita indica un metamorfismo regional y presión de intermedia (y temperaturas bajas) a alta (y temperaturas altas). Se encuentra con menos frecuencia en esquistos con cloritoide y moscovita. La cianita es un mineral accesorio detrítico frecuente en areniscas y arenas. Se puede observar muy repartido en filones

CIANITA

La cianita o "distena" se emplea para la fabricación de refractarios y como endurecedor de productos cerámicos. La producción nacional de cianita se limita a la explotación industrial del yacimiento aluvial de O Pino-Touro, en la provincia de A Coruña.

Cianita con perfecta exfoliación y fracturas transversales características.

Cuadro 102

Cianita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Azul, blanco, gris	Triclínica	4-7	3'6-3'7 g/cm³	Blanca o incolora

de cuarzo y en algunas pegmatitas, pero con poca abundancia. Como la andalucita, la cianita se emplea para la fabricación de refractarios y como material endurecedor de los productos cerámicos. También es una mena de aluminio.

La cianita aflora en la Serra da Loba, por Mondoñedo y Vilalba (Lugo). Un yacimiento de cianita de aluvión "canto rodado" se localiza en los ayuntamientos de O Pino y Touro (A Coruña), próximos a Santiago de Compostela. La cianita se presenta en fragmentos sueltos de formación aluvial, eluvial y filoniana. Los "cantos rodados" aparecen principalmente en las terrazas y orillas de los ríos Mera, Tambre, Brandelos y Ulla.

SILLIMANITA

La sillimanita es el otro polimorfo rómbico del Al_2SiO_5. Puede contener pequeñas cantidades de Fe^{3+}. Su color varía entre blanco, verde pálido y pardo amarillento. Suele formar prismas delgados, agujas, agregados

Cuadro 103

Sillimanita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Blanco, verde pálido, pardo amarillento	Rómbica	6'5-7'5	3'2 g/cm³	Incolora o blanca

fibrosos radiales o masas afieltradas con fibras curvadas entrelazadas (**fibrolita**).

Es un mineral metamórfico típico que se presenta en córneas y pizarras de metamorfismo de contacto, pero es también frecuente en rocas que han sufrido un metamorfismo regional de alto grado (temperatura), como, por ejemplo, los gneis, esquistos y granulitas donde puede sustituir a la biotita. La sillimanita, igual que los otros polimorfos del grupo, se altera con facilidad para dar **sericita**. Con mucha menor frecuencia aparece en algunas pegmatitas y filones de cuarzo en contacto con granitos. Se encuentra también como especie detrítica en sedimentos. Como es un mineral de alta temperatura, la sillimanita endurece los productos cerámicos y se emplea como material refractario aluminoso.

La intensidad del metamorfismo regional que afectó a los terrenos de Galicia durante la Orogénesis Hercínica fue variable. En el nordeste de Galicia este metamorfismo regional fue de grado intermedio, lo que causó la formación de **andalucita** y **cianita**, mientras que la Galicia central y sudoeste se caracterizan por la gran extensión de los afloramientos de rocas metamórficas de alto grado. Aquí la formación de sillimanita fue más frecuente. En el Valle de Ouro (Ferreira, O Valadouro, provincia de Lugo) afloran pizarras micáceas ricas en sillimanita.

GRUPO DE LAS CLORITAS

La fórmula química general de las cloritas es la siguiente: $(Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al)_6(Si, Al)_4O_{10}(OH)_8$. Son minerales monoclínicos hojosos, generalmente de coloración verdosa, constituyentes de las pizarras cloríticas.

PENNINA

La pennina es un mineral típico de las pizarras cloríticas y enseña una exfoliación hojosa. Se presentan también estructuras vermiculares y radiales.

Cuadro 104

Pennina

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Verde, azulado	Monoclínica	2'5	2'5-2'6 g/cm³	Blanca verdosa

Cuadro 105

Grupo de las cloritas

	Fórmula química	Yacimiento
Pennina	$(Mg, Fe^{2+}, Al)_6(Si, Al)_4O_{10}(OH)_8$	Metamórfico y de alteración
Clinocloro	$(Mg, Al, Fe^{2+})_6(Si, Al)_4O_{10}(OH)_8$	Metamórfico
Kammeririta	$(Mg, Cr)_6(Si, Al)_4O_{10}(OH)_8$	Metamórfico
Proclorita	$(Mg, Fe^{2+}, Al)_6(Si_{2,5}, Al_{1,5})O_{10}(OH)_8$	
Chamosita	$(Fe^{2+}, Al, Mg)_6(Si_{2,5}, Al_{1,5})O_{10}(O, OH)_8$	Sedimentario
Thuringita	$(Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al, Mg)_6(Si_{1,2}, Al_{2,8})O_{10}(O, OH)_8$	Sedimentario

Es típica de las rocas metamórficas de poca intensidad, pero también en filones en serpentinitas. Se forma en muchas rocas ígneas y metamórficas por alteración de la **biotita**. La pennina rica en magnesio se llama también **talcoclorita,** que es bastante abundante en los depósitos de **magnesitas** de la zona de O Incio (Lugo).

CLINOCLORO

El clinocloro se presenta en cristales de forma hexagonal, de aspecto tabular o prismas diminutos.

Es un mineral metamórfico de poca intensidad que se encuentra en filitas, esquistos y cuarcitas juntamente con **cuarzo** y **sericita**. También puede ser un producto de la alteración hidrotermal de **anfiboles** y **piroxenos** y de la **biotita** en rocas ígneas. En Galicia es muy abundante en las pizarras talcosas que afloran en la parte nordeste de la provincia de Lugo.

KAMMERIRITA

La kammeririta es la clorita cromífera. Es un mineral muy raro y sólo se encuentra con otros minerales de cromo, como la uvarovita y la cromita. Forma cristales hexagonales de hábito tabular.

Cuadro 106

Clinocloro

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Negro azulado, verde negruzco	Monoclínica	2-2'5	2'6-3 g/cm³	Blanca verdosa

Cuadro 107

Kammeririta

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Rojo	Triclínica	2-2'5	2'64 g/cm³	Roja

Cuadro 108

Proclorita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Verdoso	Monoclínica	1-2	2'8-2'9 g/cm³	Verdosa

Cuadro 109

Chamosita

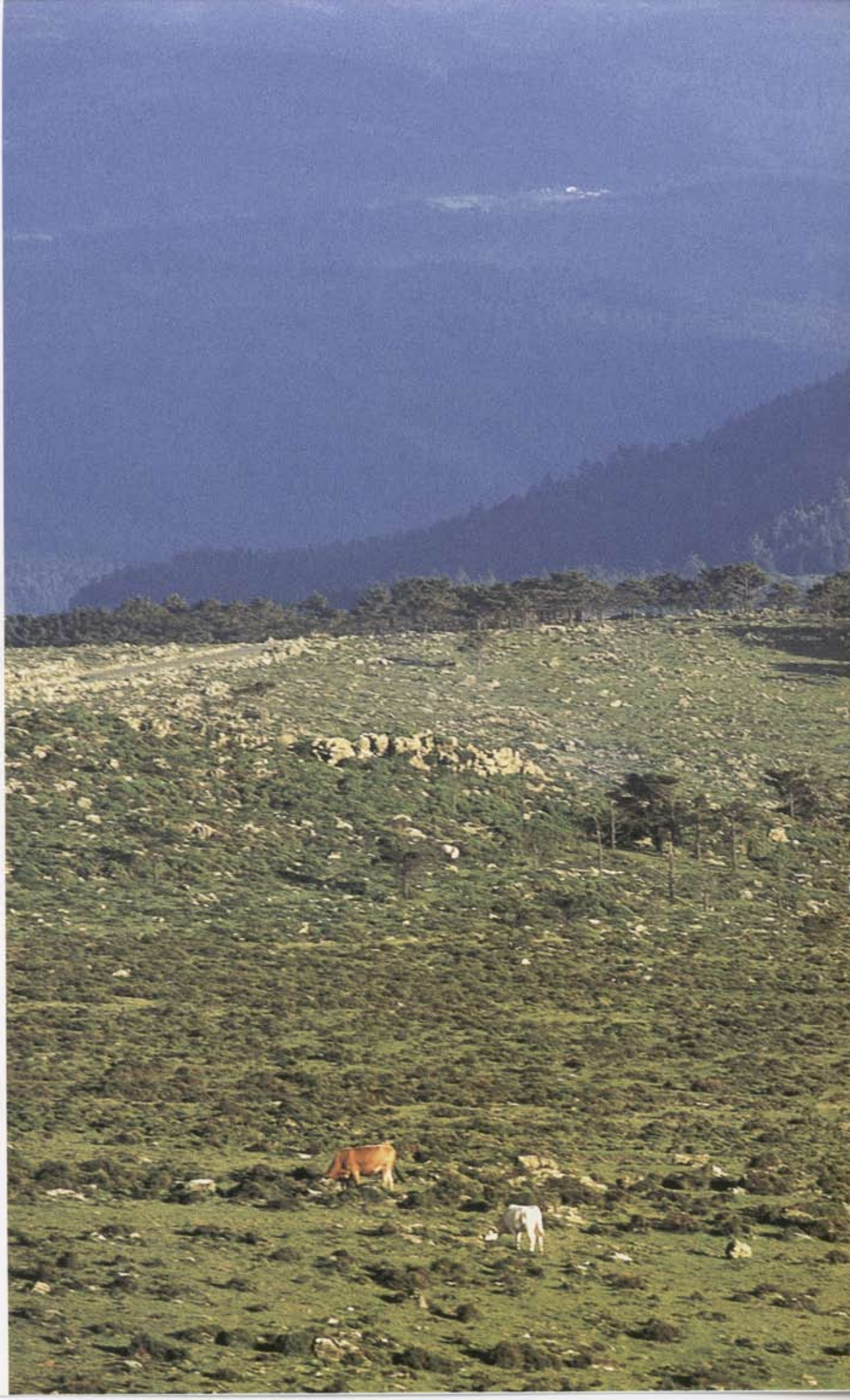
Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Negro verdoso	Monoclínica	3	3'3 g/cm³	Negra

El único sitio donde se encuentra en España es la Serra da Capelada (A Coruña), donde está asociada a las mineralizaciones cromíferas en las piroxenitas serpentinizadas.

PROCLORITA

La proclorita es también un compuesto principal de las pizarras cloríticas y serpentinitas. Se presenta en placas seudohexagonales, agregados escamosos de grano fino, formas radiales y masas vermiculares.

En Galicia se observa en las rocas ultrabásicas metamorfizadas de las Unidades de Cabo Ortegal y de Ordes (A Coruña).



El único sitio de España donde se encuentra kammeririta (mineral del grupo de las cloritas) es en la Serra da Capelada. Cedeira, A Coruña.

CHAMOSITA

Es una clorita rica en hierro. Generalmente se presenta en masas compactas o es de forma oolítica con estructura interna concéntrica. Puede ser desde débilmente a marcadamente pleocroica desde amarillo hasta verde.

Es un componente importante, sobre todo en forma de oolitos (estructura concéntrica o de fibras radiales), de algunos yacimientos sedimentarios de hierro. Por eso puede servir como mena secundaria de hierro en algunas ocasiones. En Galicia acompaña a la **siderita** y se explotó antiguamente por la zona de O Incio (Lugo) y por las antiguas minas de hierro de Viveiro y Galdo (Lugo), donde está asociada a la **magnetita**.

THURINGITA

La thuringita es una clorita rica en hierro y se forma durante la transformación metamórfica de menas sedimentarias de hierro.

Se encuentra en Galicia junto a la **hematita** y la **goethita** en los metasedimentos de Rubiá, en el municipio del mismo nombre (nordeste de O Barco de Valdeorras, extremo nordeste de la provincia de Ourense).

Cuadro 110

Thuringita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Verde oscuro	Monoclínica	1-2	3'2 g/cm³	Gris verdosa

Cuadro 111

Grupo de las epidotas

	Fórmula química	Forma
Zoisita	$Ca_2Al_3(SiO_4)_3OH$	Rómbica
Thulita	$Ca_2(Al, Fe, Mn)_3(SiO_4)_3OH$	Rómbica
Clinozoisita	$Ca_2Al_3(SiO_4)_3OH$	Monoclínica
Epidota	$Ca_2(Al, Fe)_3(SiO_4)_3OH$	Monoclínica
Piedmontita	$Ca_2(Al, Fe, Mn)_3(SiO_4)_3OH$	Monoclínica
Allanita	$(Ca, Ce)_2(Al, Fe, Mn, Be, Mg)_3(SiO_4)_3OH$	Monoclínica

GRUPO DE LAS EPIDOTAS

El grupo de las epidotas está compuesto por minerales rómbicos y monoclínicos ricos en calcio, aluminio y hierro. Son minerales metamórficos muy abundantes en metasedimentos ricos en carbonatos y alúmina que han sufrido, generalizado, un metamorfismo regional o de contacto de bajo o muy bajo grado. Pero también se forman por alteración de minerales, como la plagioclasa, por efectos de un metamorfismo retrógrado o inverso. Es el proceso por el cual las rocas, y sus minerales constituyentes, que se formaron en zonas profundas de la corteza terrestre, a temperaturas y presiones elevadas, son sometidas a un nuevo metamorfismo al llegar a zonas superiores donde existen otras condiciones con presiones y temperaturas mucho más reducidas. Los minerales de este grupo son compuestos accesorios en la mayoría de las rocas que afloran en Galicia —pero normalmente en tamaño microscópico—.

ZOISITA

La zoisita es generalmente prismática, fibrosa, hojosa, o se presenta en agregados columnares o radiales. También puede ser masiva y compacta. Se encuentran crecimientos íntimos con la epidota. Normalmente la zoisita no es tan frecuente como la clinozoisita o la epidota.

Es un mineral accesorio o esencial en diversas rocas metamórficas. Se encuentra muy a menudo en rocas de carbonatos silicatadas, calizas arcillosas y mármoles alumínicos que sufrieron un metamorfismo de contacto, como también en pizarras cristalinas, esquistos y granulitas. En rocas ígneas básicas (por ejemplo, en anfibolitas) es muy frecuente como producto de la alteración. Pequeños cristales se pueden encontrar en las anfibolitas de Santa Marta de Ortigueira (A Coruña), como también en otras anfibolitas de las Unidades de Cabo Ortegal y de Ordes y por la Zanja Blastomilonítica que se extiende desde Malpica de Bergantiños (A Coruña) a Tui (Pontevedra).

CLINOZOISITA

Son frecuentes los cristales hojosos, los agregados columnares o radiales. La clinozoisita se forma por metamorfismo regional, de contacto y metasomatismo. Se encuentra en metasedimentos calcáreos ricos en alúmina, en esquistos y en anfibolitas. Alrededor de la capital de Lugo afloran esquistos ricos en **anfiboles**, a los cuales está asociada frecuentemente también la clinozoisita.

EPIDOTA

La presentación de la epidota es de hábito prismático alargado, en cristales agrupados o en masas de grano fino a grueso, y a veces son fibroso-radiados. La epidota es un mineral petrogénico muy extendido que aparece como mineral metamórfico e hidrotermal. Se encuentra frecuentemente en calizas alumínicas, filitas, pizarras, cuarcitas y anfibolitas. En rocas basálticas puede aparecer como producto de la cristalización directa del magma. La epidota se forma también como producto de alteración sustituyendo a la plagioclasa. No es nada raro como mineral pesado accesorio en arenas y sedimentos clásticos. Alguna epidota se ha empleado como piedra ornamental.

La epidota se encuentra en muchas pizarras cloríticas y anfibolitas paleozoicas de Galicia que forman las partes montañosas del este de las provincias de Lugo y de Ourense. El gneis con **granate** cerca de Esteiro (entre Plantío y Veiga, A Coruña) contiene también epidota. Se observa con frecuencia como mineral pesado en las arenas de las rías gallegas.

ORTITA

La ortita, o **allanita** $(Ca, Ce)_2(Al, Fe, Mn, Be, Mg)_3(SiO_4)_3OH$, es un mineral parecido a la epidota. Se presenta normalmente en forma de granos redondos incluidos, o cristales tabulares o prismáticos alargados. El calcio se encuentra sustituido por La y otros elementos de las tierras raras y de Y. Casi siempre existen pequeñas cantidades de Th e incluso de U, por lo cual es radiactivo. La ortita es un mineral accesorio en algunos granitos, pegmatitas, gneis con **anfiboles** y mármoles metamórficos de contacto. Es una mena secundaria de elementos radiactivos que se emplea también como colorante para el vidrio y la cerámica.

En Galicia se encuentra en las alaskitas de Fuenteovejuna y en los gneis del Monte do Galiñeiro y de O Porriño, como también en las rocas gnéisicas entre Vigo y Mos (Pontevedra), junto con **circón** y **xenotima**. Algunos granitos moscovíticos, como los que hay en el sur de Freixeiro y enfrente de Vigo (Pontevedra), tienen contenidos relativamente elevados de ortita. Parece que este fenómeno está relacionado con algunas formaciones de la Zanja Blastomilonítica que se extiende desde Malpica (A Coruña) a Tui (Pontevedra). Como es un mineral pesado, se observa con otros minerales de alta densidad, como la **ilmenita** o el **rutilo**, en las capas de arenas negras de varias playas en las Rías Bajas.

Cuadro 112

Zoisita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Gris, verdoso o amarillento	Rómbica	6-6'5	3'2-3'4 g/cm³	Blanca o incolora

Cuadro 113

Clinozoisita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Gris verdoso	Monoclínica	6'5	3'35-3'38 g/cm³	Gris

Cuadro 114

Epidota

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Amarillo verdoso, negro	Monoclínica	6-7	3'3-3'5 g/cm³	Gris o incoloro

Cuadro 115

Ortita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Negro o pardo	Monoclínica	5'5-6	3-4'2 g/cm³	Blanca verdosa o gris

OTROS MINERALES METAMÓRFICOS IMPORTANTES

CLORITOIDE

De composición $(Fe^{2+}, Mg)(Al, Fe^{3+})(Si, Al)O_5(OH)_2$, el cloritoide se presenta en masas hojosas o en escamillas. Las hojas son curvadas frecuentemente. En lámina delgada se puede observar una estructura de reloj de arena. Se denomina así por su parecido con las cloritas.

El cloritoide es un mineral metamórfico de baja temperatura y se encuentra frecuentemente en metasedi-

mentitas (filitas, cuarcitas) ricas en alúmina. El cloritoide de origen hidrotermal suele ser preferentemente triclínico. En Galicia está muy distribuido en las pizarras de la zona de Mondoñedo, las que afloran por el río Navia (parte oriental de Lugo) y en el nordeste de la provincia de Ourense. El cloritoide se observa también, excepcionalmente, en la parte occidental de Galicia, en algunos esquistos por la zona de Ponteceso-Malpica (A Coruña).

CORDIERITA

La cordierita $(Mg, Fe)_2Al_4Si_5O_{18}$ es un silicato de magnesio y aluminio. Generalmente el contenido de Mg es más alto que el de Fe. La indialita es un dimorfo hexagonal de la cordierita. Por lo general, se presenta en prismas rómbicos de seis a doce caras, agregados granosos o cantos rodados en depósitos detríticos. Principalmente es un mineral metamórfico (de elevadas temperaturas), que se encuentra en gneis, esquistos y granulitas. También puede aparecer en anfibolitas. En algunas ocasiones está asociada a yacimientos de cobre o de cinc de alta temperatura. En corneanas y pizarras de metamorfismo de contacto puede acompañar a: **andalucita**, **sillimanita**, **granate** y otros. Es poco frecuente en pegmatitas graníticas, granitos y filones de cuarzo.

En Galicia la cordierita se formó en algunos lugares durante el emplazamiento de los granitos hercínicos, como mineral metamórfico de contacto. Se puede encontrar en las rocas encajantes de los granitos (por ejemplo, del Macizo da Toxica) por la zona de Mondoñedo, Alfoz y Abadín (Lugo), en granitos por la zona de Estaca de Bares y el río Sor, alrededor de la intrusión del gabro de Monte Castelo por la zona de Carballo, Coristanco y Santa Comba (A Coruña), y en la formaciones metamórficas de alto grado entre Camariñas y Ézaro (A Coruña). Cordierita es un constituyente accesorio de los esquistos que afloran cerca de Corvillón (entre Celanova y Allariz) y de los gneis que se situan entre Muíños y el río Salas (Ourense). En la provincia de Pontevedra se ha observado en algunas intrusiones pequeñas por la zona de Gangas.

CORINDÓN

Los corindones (Al_2O_3) comunes son turbios y están impurificados por minerales férricos (por ejemplo, inclusiones muy pequeñas de hematites, o granos de rutilo, granates y espinela). Los corindones nobles son claros y tienen bonitos colores, por lo cual se emplean como piedras preciosas. Las variedades azules (el zafiro) están coloreadas por el Fe o el Ti, mientras que las rojas (el rubí) lo están por el Cr. Forman cristales prismáticos

Cuadro 116

Cloritoide

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Gris o negro, a veces verdoso	Triclínica o monoclínica	6-7	3'4 g/cm³	De incolora a gris verdosa

Cuadro 117

Cordierita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Gris azulado, amarillento	Rómbica	7-7'5	2'6 g/cm³	Blanca

CORINDÓN

El corindón es el mineral más duro después del diamante

Corindones pegmatíticos.

Cuadro 118

Corindón

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Rojo, azul, incoloro y otros colores	Trigonal	9	3'9-4'1 g/cm³	Blanca

hexagonales, piramidales y tabulares. También pueden ser masivos. En yacimientos secundarios tienen las caras rodadas. El corindón es el mineral más duro después del diamante.

Los corindones se presentan en rocas metamórficas, filones pegmatíticos y yacimientos secundarios (placeres). Se encuentran en metasedimentitas ricas en Al_2O_3 (por ejemplo: arcillolitas) que han sufrido un metamorfismo regional pasando a esquistos de corindón o gneis, pero también en arcillolitas y calizas que han sufrido un metamorfismo de contacto. Se forma en pegmatitas ricas en plagioclasas (y pobres en cuarzo) que atraviesan rocas básicas y ultrabásicas. El corindón sintético se forma en los ladrillos de Al_2O_3 fundidos y se encuentra en utensilios de laboratorio y bujías. Las variedades nobles coloreadas se emplean en joyería. La variedad llamada esmeril se usa como abrasivo.

En Galicia se ha encontrado en forma detrítica en las arenas del Sil (Lugo, Ourense). De origen primario, corindones microscópicos se pueden observar en las granodioritas de Cangas do Morrazo y del alrededor del aeropuerto de Vigo (Pontevedra), y en los granitos de dos micas de la Ría do Barqueiro (Lugo y A Coruña). En los filones de cuarzo cerca de Goián-Tomiño (Pontevedra) el corindón se describió acompañando a la **andalucita**.

ESCAPOLITA

Su composición $(Ca, Na)_4(Al, Si)_3Si_6O_{24}(Cl, CO_3)$ se puede describir también por medio de dos términos extremos: la **marialita** ($Na_4Al_3Si_6O_{24}Cl$) y la **meionita** ($Ca_4Al_6Si_6O_{24}CO_3$). La escapolita se llama también "wernerita". Forma agregados columnares alargados, hojosos o radiales; y es característica de rocas ricas en calcio, como mármoles, gneis y anfibolitas, que han sufrido un metasomatismo o metamorfismo de contacto.

La escapolita se ha encontrado en las calizas sacarosas de Lourenzá (nordeste de Mondoñedo) y las que afloran entre Vegadeo y Logares (entre A Pontenova y A Fonsagrada, provincia de Lugo). Como mineral accesorio microscópico, se observa también en algunas de las anfibolitas que afloran entre Curtis, Sobrado y Melide y en las rocas ultrabásicas de la zona de Cabo Ortegal (A Coruña).

Cuadro 119

Escapolita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Incoloro, gris, blanco, rojizo, verdoso	Tetragonal	5-6'5	2'5 g/cm³	Blanca

ESTAUROLITA

La estaurolita $Fe_2Al_9Si_4O_{22}(O, OH)_2$ se presenta en cristales prismáticos con secciones basales hexagonales. Maclas de compenetración entre unos 60° y 90°, sobre todo en forma de cruz, son muy frecuentes. Se forma en pizarras cristalinas, esquistos y gneis ricas en aluminio por el metamorfismo regional de grado medio. Por su peso específico y la alta dureza, se puede encontrar también entre otros minerales densos en placeres arenosos.

Los esquistos en las proximidades de Poio (Ourense) están formados por una masa micácea que engloba cristales y fragmentos de **andalucita**, estaurolita, **cianita** y **granate**. En general, la estaurolita es muy abundante en los esquistos micáceos que afloran por el extremo surdeste y este de la provincia de Ourense subiendo en un cinturón estrecho hasta A Estrada. Otra zona de gran abundancia de la estaurolita está en Lugo, donde se

ESTAUROLITA

Estaurolita con cristales prismáticos.

Cuadro 120

Estaurolita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Rojo o pardo negruzco	Rómbica	7-7'5	3'7-3'8 g/cm³	Blanca o incolora

Cuadro 121

Grafito

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Gris	Hexagonal	1-2	2'23 g/cm³	Negra

observa en los esquistos que se extienden desde Abadín (entre Vilalba y Mondoñedo) a Samos.

En la provincia de A Coruña la estaurolita está asociada a los esquistos limitando con las rocas básicas metamorfizadas de la Zanja Blastomilonítica entre Malpica y Noia y de la Unidad Ultrabásica de Cabo Ortegal, como también del flanco occidental de la Unidad Ultrabásica de Ordes, entre Carballo y Santiago de Compostela. La estaurolita acompaña a la **calcopirita** y **goethita** del yacimiento de cobre de Fornas (este de Santiago de Compostela). Se encuentra también de forma detrítica en las arenas de las rías gallegas.

GRAFITO

La modificación más estable del carbono es el grafito. Muestra un brillo metálico brillante y tiene una exfoliación basal perfecta. Los cristales son normalmente redondeados, aplanados y tabulares en secciones transversales. Cristalizado durante un metamorfismo regional o de contacto a partir de materia orgánica (sobre todo en sedimentos pelíticos), se encuentra principalmente en pizarras, esquistos, gneis y mármoles. Se observa frecuentemente en zonas de fallas y cizalladuras.

La importancia del grafito se puede estimar por la producción mundial, que asciende a unas 700.000 toneladas por año. El empleo del grafito como mina de lápiz es muy popular. Pero también tiene otras aplicaciones industriales, como protector de estructuras y lubrificante, o para la fabricación de moldes, crisoles, electrodos y ladrillos refractarios en la metalurgia. La razón para estas aplicaciones son las propiedades singulares del grafito, que es un excelente conductor de calor y de electricidad, y muy estable para una gran gama de temperatura. Su punto de fusión es de 3.650 °C.

El grafito es un constituyente accesorio en las cuarcitas y esquistos negros y grises que afloran en la Zanja Blastomilonítica de Malpica-Tui (A Coruña y Pontevedra). La autopista del Atlántico corta unos estratos de esquistos negros grafíticos cerca del puente encima del río Tambre (cerca de Sigüeiro, A Coruña). Otros esquistos grafíticos se extienden desde la zona de Dozón (sur de Lalín, provincia de Pontevedra) y Boborás (oeste de O Carballiño, provincia de Ourense).

En las pizarras negras que cortan el río Sil en la cercanía de Castro Caldelas (Ourense) el grafito es muy abundante, como también en los gneis de Lagares y Valdeorras (Lugo). En Galicia existe sólo un yacimiento de grafito, y denuncia minera, en el término municipal de Ribeira de Piquín (Lugo), cerca del pueblo de Santalla en el paraje Os Castros. Se trata de un afloramiento estratigráfico entre las metasedimentitas del Cámbrico Superior y del Ordovícico.

RUTILO

El rutilo (TiO_2) es el mineral petrogénico del titanio. Normalmente se presenta en forma de pequeñas agujas, también incluidas en otros minerales, o maclados en forma de rodilla.

El rutilo es un constituyente normal y localmente abundante de diversas rocas metamórficas, sobre todo esquistos y gneis; ya con menor frecuencia, aparece también en mármoles y cuarcitas. Se presenta asociado a la cianita en esquistos y cuarcitas. En forma de pequeñas agujas, es muy frecuente en rocas metamórficas y graníticas. Puede ser también un mineral abundante en yacimientos pegmatíticos e hidrotermales. Está menos extendido en rocas ígneas, especialmente cuando son ricas en hornblenda. Como mineral detrítico es muy corriente. Se puede encontrar normalmente siempre en placeres eluviales, aluviales y marinos, donde está acompañado por otro importante mineral de titanio, la ilmenita ($FeTiO_3$).

En regiones donde el rutilo se encuentra en grandes yacimientos que permiten su explotación, se refina este mineral con el fin de servir como pigmento de blanco (blanco de titanio) para su aplicación en pinturas, plásticos, papel, textil y cerámica. Por su propiedad de proteger contra los rayos ultravioleta, el rutilo se utiliza también en cremas bronceadoras, en pinturas y plásticos del exterior. La producción mundial de rutilo se evalúa en unas 560.000 toneladas por año, que sólo corresponde a una quinta parte de la producción de ilmenita.

En la industria cerámica el óxido de titanio se utiliza como pigmento anorgánico natural. La forma cristalina de **anatasa**, que es polimorfo con el rutilo, es un agente opacificante muy poderoso y el más elegido para

RUTILO

El rutilo es un constituyente normal y abundante de diversas rocas metamórficas, sobre todo esquistos y gneis.
Se emplea como pigmento de blanco en pintura, plásticos, papel, textil y cerámica; es protector contra los rayos ultravioletas, por lo que se usa en cremas bronceadoras; se puede refinar para producir titanio metálico; etc.

Rutilo granular detrítico de color ámbar a marrón (con inclusiones negras de óxidos de hierro y de ilmenita) con granates rosados e ilmenitas oscuras.

Cuadro 122

Rutilo

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Rojo, de pardo rojizo a negro	Tetragonal	6-6'5	4'2-4'3 g/cm³	Marrón amarillento

empleos a temperaturas inferiores a los 1.000 °C. De hecho, a unos 850 °C la anatasa se transforma en rutilo conduciendo a un pronunciado color crema. Por tanto, no se utiliza a temperaturas más elevadas. El rutilo, como también la ilmenita, se puede refinar para producir titanio metálico. El titanio es un metal muy ligero, duro y resistente a la corrosión, por lo cual se aplica preferentemente para motores de aeronaves y para injertos. En los años ochenta y noventa del siglo XX las joyas de titanio se pusieron de moda.

En Galicia el rutilo es un constituyente accesorio o minoritario en las rocas básicas y ultrabásicas metamorfizadas de la Zanja Blastomilonítica entre Malpica y Noia y de la Unidad Ultrabásica de Cabo Ortegal. En casi todas las rías y playas de Galicia se pueden observar cantidades pequeñas de estos minerales pesados. Placeres con concentraciones interesantes de rutilo hay en Aneiros

Cuadro 123

Vesubianita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Pardo verdoso	Tetragonal	6'5	3'3 g/cm³	Blanca

(Ortegal), Dabaraxie, Baldaio, Seixo, Braña Rubia, Férveda, Castrillón y playa de Razo. Por otro lado, es un acompañante habitual de la **wolframita** en los yacimientos de wolframio. Afloramientos importantes de rutilo y de **ilmenita** se sitúan en la zona entre Carballo y Santa Comba (A Coruña) y Lalín (Pontevedra).

En el Macizo de Monte Castelo, como también en Monteagudo (A Coruña), hay muchos indicios de estos minerales de titanio, predominando la **ilmenita**, que están asociados a los gabros que constituyen este Macizo. Hasta el año 1969 se explotaron los minerales de titanio en esta zona en los aluviales (brañas) procedentes de la meteorización de los yacimientos primarios de Monte Castelo.

VESUBIANITA

La vesubianita, o **idocrasa**, tiene la fórmula química $Ca_{10}(Mg, Fe)_2Al_4Si_9O_{34}(OH)_4$. Puede ser granular, fibrosa o presentarse en agrupaciones prismáticas radiales o paralelas.

Principalmente yace en rocas de metamorfismo de contacto en mármoles impuros, gneis con silicatos de calcio y esquistos. En Galicia se ha encontrado en el gneis de Lornís (Ourense).

MINERALES METÁLICOS Y MENAS DE ORIGEN HIDROTERMAL

Los minerales metálicos y de origen de la diferenciación magmática, ya sea primaria o tardía, se han descrito en los apartados de los Dominios de Rocas Básicas y Ultrabásicas y, respectivamente, de las Rocas Graníticas, sabiendo que los procesos de diferenciación magmática tardíos terminan en una fase hidrotermal. Éstas penetran las rocas encajantes de las rocas plutónicas, en su mayoría metasedimentitas, donde forman los criaderos minerales y metálicos en un dominio diferente al de su origen.

MINERALES DE BARIO Y DE FLÚOR

BARITINA

La baritina, o **barita**, se llama también "espato pesado" por su alto peso específico. Es el más importante mineral de bario y tiene la fórmula química de $BaSO_4$. El Ca y el Pb pueden sustituir en pequeñas cantidades al Ba. Existe una serie completa de transición hasta la **celestina** ($SrSO_4$). Frecuentemente tiene una exfoliación perfecta en cristales rómbicos tabulares. Presenta formas muy variadas: masas granosas, fibrosas o compactas.

La baritina se presenta en filones como mena principal o forma parte de la ganga (minerales o rocas asociados a las menas que no son de interés económico) de diversos tipos de filones metálicos: por ejemplo, asociado a las mineralizaciones de plomo (galena), cinc (blenda) y muy frecuentemente a la fluorita. En areniscas puede formar el cemento que une los gránulos de cuarzo, feldespato, etc.

Se emplea como pigmento de blanco y de carga en papel, goma y plásticos, en la fabricación de vidrios especiales (por ejemplo, como pantalla de televisión por su absorción de la radiación nociva para la salud), como lodo de perforación y en materiales de protección contra rayos gamma. La producción mundial se eleva a unos siete millones de toneladas por año. Por el nordeste de Mondoñedo, cerca de Sendín, Vilamar y Vilanova de Lourenzá (Lugo) se presentan un yacimientos filonianos de barita dentro de las calizas de la Formación Calizas de Cándana. En el yacimiento de Pb y Zn de Rubiais, cerca de Pedrafita do Cebreiro (Lugo), la barita aparece como traza en la ganga.

BARITINA

La baritina o barita (también conocida como "espato pesado" por su alto peso específico) es el más importante mineral de bario. Se emplea como pigmento blanco y de carga en papel, goma y plásticos, en la fabricación de vidrios especiales (pantallas de televisión), etc.

Baritina con típicos agregados en libro.

Cuadro 124

Baritina

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Blanco, incoloro	Rómbica	3-3'5	4'5 g/cm³	Blanca

FLUORITA

La fluorita (CaF_2) es el "espato flúor". Se presenta en cristales de cubitos, frecuentemente con maclas de compenetración, pero también en forma masiva, granular o compacta. Tiene una exfoliación muy buena. Ciertas tierras raras, como el Y, Ce, Eu y otras, pueden sustituir al Ca. Las variedades de coloración verde contienen cantidades notables de samario; las violetas, de estroncio. La fluorescencia y fosforescencia es una propiedad muy característica.

Es un mineral que se puede formar en condiciones geológicas muy variadas: en depósitos de manantiales termales, venas y filones hidrotermales de baja a alta temperatura, pero también como mineral accesorio tardío en granitos, pegmatitas y greisenes (roca encajante de grano gruesa de mineralizaciones de estaño y wolframio).

La fluorita se emplea como fundente en la fabricación de aceros, en esmaltados, para vidrios opalescentes y para la fabricación de ácido fluorhídrico.

En Galicia la fluorita se observa en el yacimiento de Pb y Zn de Rubiais (Lugo), junto con **anquerita** y **cuarzo** en venillas y filoncillos en las pizarras encajantes. Se encuentra también en algunos yacimientos pegmatíticos de W y Sn formando parte de la ganga de **cuarzo**. Se encontró en las antiguas minas de W y/o Sn: por ejemplo, las de Santa Comba, Monte Neme y San Finx (A Coruña), As Sombras, Escudeiros, Novelle, Gomesende (Ourense) y Fontao (Pontevedra).

Como constituyente de traza microscópica, se encuentra en los granitos de O Pindo (A Coruña) y los

gneis que afloran por la Serra de Outes (A Coruña), en algunos de los granitoides de la península de O Grove, y en los gneis y granitos del triángulo Vigo-Ponteareas--Tui, por ejemplo por las zonas de Monte do Galiñeiro, Zamáns, O Porriño y Ponteareas (Pontevedra).

MINERALES DE PLOMO Y CINC

BLENDA

El mineral de cinc más importante es la blenda (ZnS), que se llama también **esfalerita**. Consta de más o menos elevados contenidos de hierro (hasta un 36'5%). Hay una variedad muy ferrífera, que se llama **marmatita** y es de color negro. Otros elementos que entran en la red cristalina, como el Mn y el Cd, dan intensos colores de tono rojo (blenda rubí) o amarillento (blenda acaramelada). La blenda se presenta en cristales generalmente deformados o en masas exfoliables de aspecto espático o granos. Las maclas de tipo polisintético son muy frecuentes.

La blenda es de formación hidrotermal de temperatura media, metasomática o de origen pegmatítico-pneumatolítico. En los fondos de los océanos se puede formar con otros sulfuros por las actividades hidrotermales formando yacimientos volcano-sedimentarios.

El cinc se emplea para el recubrimiento y revestimiento de metales (como protección), para canales de desagüe, en baterías, como pigmento blanco para cauchos y en la fabricación de grifos para agua y gas.

En el yacimiento de Pb y Zn de Rubiais, a unos kilómetros de Pedrafita do Cebreiro (Lugo), la blenda es el mineral más abundante, acompañado por la **galena**. Siendo movilizados durante los procesos metamórficos de los metasedimentos paleozoicos, el cinc y el plomo se precipitaron de las soluciones hidrotermales en una zona muy tectonizada formando las mineralizaciones de blenda y galena. (Se ofrecen más detalles de este yacimiento de Pb y Zn al hablar de la galena).

Vetas de plomo y cinc se observan también cerca de Fornaza, al sudeste de A Fonsagrada, al norte de Meira, en un filón de cuarzo mineralizado cerca de A Ermida, y en los filones mineralizados de Riotorto y Navallo (Lugo). Mineralizaciones de blenda aparecen además con **plata nativa** en Bolaño (Lugo).

La blenda acompaña también los minerales de **wolframita** y **casiterita** en los filones pegmatíticos-neumatolíticos en muchos yacimientos de Galicia. Se describió

FLUORITA

La fluorita o "espato flúor" es un mineral que se puede formar en condiciones geológicas muy variadas. Se emplea como fundente en la fabricación de aceros, en esmaltados, vidrios opalescentes y para la fabricación de ácido fluorhídrico

Fluorita bien cristalizada en cubitos característicos que forman preciosas probetas escalonadas.

Fluorita compacta violeta formando parte de la ganga de cuarzo en un filón pegmatítico mineralizado de scheelita.

Cuadro 125

Fluorita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Azulado, verde, amarillo, rojo, violáceo, incoloro	Cúbica	4	3'1-3'2 g/cm³	Blanca

BLENDA

La blenda o "esfalerita" es el mineral de cinc más importante. El cinc se emplea para el recubrimiento de metales, para canales de desagüe, en baterías, en la fabricación de grifos para agua y gas...

Blenda marrón tectonizada.

Cuadro 126

Blenda

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Amarillo, pardo, rojo, verdoso o negro	Cúbica	3'5-4	3'9-4'1 g/cm³	Blanca pardusca

como mineral acompañante en las antiguas explotaciones de W y/o Sn de la zona de Beariz (Magros y Marcofán), de Lobios (mina As Sombras), en la provincia de Ourense, y en la mina antigua de Monte Neme (A Coruña).

En los yacimientos de **calcopirita** de Piquito, A Barqueira, Arinteiro y Fornas de las Unidades Básicas y Ultrabásicas, la blenda se observa como mineral de traza.

GALENA

La galena (PbS) es el único mineral importante para la extracción industrial de plomo. Otros minerales frecuentes (hay más de 130 minerales de plomo) son la cerusita ($PbCO_3$) y la anglesita ($PbSO_4$). En las rocas el plomo se encuentra también en muy pequeñas concentraciones en micas y feldespatos potásicos. La galena contiene un 86'6% de plomo con más o menos pequeñas cantidades de Zn, Cd, Sb, Bi y Cu. Lo que es importante para la minería de galena es que puede llevar bastante cantidad de plata asociada, que se beneficia como subproducto valioso.

La galena es cúbica y su forma más corriente de presentarse es el cubo, el cual aparece muchas veces con aristas biseladas o vértices truncados, tanto que puede llegar a pasar a la forma octaédrica. Como es un mineral muy frágil, que presenta una exfoliación fácil y marcada, aflora frecuentemente en masas masivas que se formaron bajo la presión tectónica en la corteza terrestre.

La metalogénesis de la galena está principalmente relacionada con los procesos hidrotermales de temperatura media, ya sea en el sentido estricto o en procesos metamórficos regionales o de contacto. Hoy en día muchos yacimientos de galena estratiformes se relacionan con procesos volcano-sedimentarios submarinos. También se observa en yacimientos pegmatíticos y en el entorno sedimentario.

El plomo es un metal pesado, blando y de color gris ligeramente azulado. Un 35% de la producción mundial de plomo se emplea en la fabricación de baterías y acumuladores. También se necesita el plomo en la industria química, en la fabricación de pinturas, para el revestimiento de cables eléctricos y para materiales de protección contra la radiación.

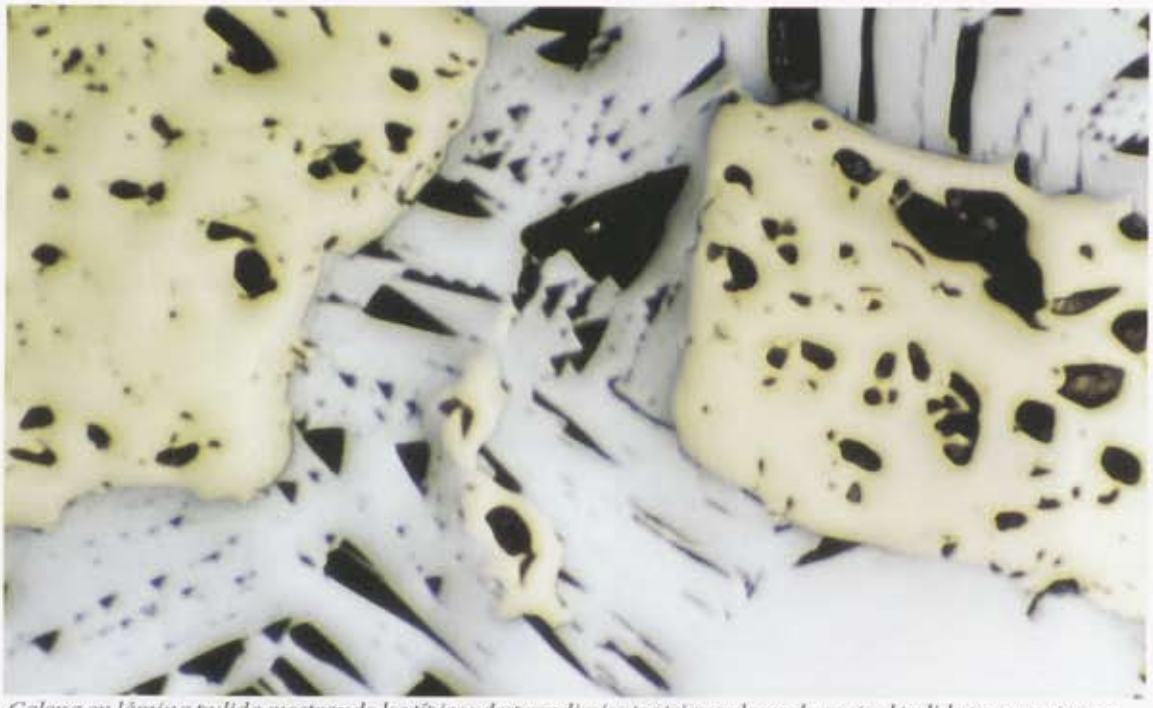
Hasta hace unas décadas, el ramo minero de plomo no tenía mucha importancia en Galicia. En la provincia de Lugo se explotaron, en el siglo XIX y a principios del siglo XX, yacimientos de galena en O Courel, por las parroquias de Seara, Visuña, Hórreos y Seoane, en las minas Constancia, Rioseco, Lolita, Amalia y otras, muchas veces denunciadas como concesiones de hierro por tener también indicios de este metal.

En Abadín se encontró, al reconocer unos afloramientos de hierro, un pequeño filón de galena argentífera, en las minas Cleopatra, Eureka y Tres Amigos. Todavía se puede encontrar galena en Fornaza (A Fonsagrada), cuya explotación dio lugar a la construcción de una fábrica de fundición en las orillas del Navia, quedando como recuerdo algunos restos de los hornos, de la chimenea y de la mina con el nombre de Prudencia. En la provincia de Ourense existía una concesión de plomo en Castrelo do Val.

En 1967 la empresa minera Exminesa investigó en Toral de los Vados y Rubiais (Distrito minero de Lugo) al antiguo Grupo Santa Bárbara y encontró ahí una de las más importantes minas de plomo en España: las mineralizaciones de Pb-Zn asociadas espacialmente a la denominada Caliza de Vegadeo. El depósito mineral se sitúa, dentro de una serie cámbrica de calizas, areniscas y piza-

GALENA

Éste es el único mineral importante para la extracción industrial de plomo, pues tiene un 86'6% de dicho elemento; puede llevar asociada bastante cantidad de plata, un valioso subproducto para su minería.
El uso del plomo está centrado en la producción de baterías, acumuladores, pinturas, revestimiento de cables eléctricos y materias primas contra la radiación



Galena en lámina pulida mostrando los típicos desprendimientos triangulares durante el pulido por su extrema fragilidad.

Cuadro 127

Galena

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Gris	Cúbica	2'5	7'5 g/cm³	Gris oscura

Galena en probeta de filoncito de cuarzo.

rras, en el flanco este de una gran estructura anticlinal que cabecea unos 15 grados. La paragénesis está constituida por **blenda**, galena y **baritina**, fundamentalmente, y por **fluorita**, **calcopirita** y **mercurio** esporádicamente. El cuerpo mineralizado tiene una forma tabular, con unos 800 m de corrida, 650 m de profundidad y potencia de unos 10-30 m, limitada lateralmente por dos grandes fracturas, y aparece principalmente en calizas silificadas. El yacimiento se clasifica como hidrotermal de segregación tectónica en zona de cizalla. La litología más favorable, por su permeabilidad y su capacidad de reaccionar con los fluidos mineralizantes, fue proporcionada por los niveles calcáreos, situados entre pasadas pizarrosas, impermeables e inertes prácticamente. Por ello se podía formar este gran cuerpo mineralizado, producido por las alteraciones hidrotermales de las calizas.

CLAUSTHALITA

La clausthalita (PbSe) es del tipo PbS (galena). Se presenta siempre muy diseminada en pequeños granos de aspecto masivo.

Es un mineral hidrotermal, muchas veces asociado a calizas dolomitizadas o depósitos metamórficos de contacto. En Galicia está mencionada en San Xulián de Sante (Lugo).

MINERALES DE ALTERACIÓN DE LAS MENAS DE PLOMO Y CINC

ANGLESITA

La anglesita ($PbSO_4$) se presenta en cristales con hábito semejantes a la baritina y celestina. Las más frecuentes son formas prismáticas, pero también las formas terrosas, granulares o compactas. Muy característico es su gran peso específico entre los minerales de aspecto no metálico. Con luz ultravioleta presenta una fluorescencia de color amarillo. Es un mineral de alteración supergénica de plomo y se puede encontrar en las partes superiores de los filones de plomo oxidados. Ejemplares cristalizados se han encontrado en A Teixeira (Ourense).

Cuadro 128

Clausthalita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Gris plomo	Cúbica	2'5	8 g/cm³	Gris oscura

Cuadro 129

Anglesita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Incoloro, blanco amarillento o grisáceo	Rómbica	3	6'3 g/cm³	Blanca

Cuadro 130

Goslarita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Blanco, con varios tonos	Rómbica	2-5	1'9-2 g/cm³	Blanca

Cuadro 131

Piromorfita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Verde, marrón, incoloro	Hexagonal	3'5-4	6'7-7 g/cm³	De blanca a gris

GOSLARITA

La goslarita ($ZnSO_4$) forma agregados aciculares o capilares, costras y masas compactas, conservando a veces la forma de la esfalerita de donde procede. Se disuelve ligeramente con la humedad en contacto con el aire. Su origen se debe a la oxidación de la esfalerita en presencia de sulfuros de hierro. Se emplea como astringente en medicina.

La **cerusita** ($PbCO_3$) y la **smithsonita** ($ZnCO_3$) se han descrito con los otros carbonatos en el apartado de los minerales sedimentarios. Trazas de estos cuatro minerales se han encontrado muy escasamente como mineral de alteración supergénica en el yacimiento de Pb y Zn de Rubiais (Pedrafita do Cebreiro, Lugo) y cerca de la superficie en el filón de cuarzo mineralizado de Pb y Zn de A Ermida, unos 7 kilómetros al norte de Meira (Lugo).

PIROMORFITA

Este fosfato de plomo $Pb_5[Cl \mid (PO_4)_3]$ pertenece al grupo del apatito-piromorfita. Los cristales son del hábito prismático. También puede presentarse granular, fibroso y acicular.

Es un mineral supergénico que se forma en las zonas oxidadas de los yacimientos de plomo, donde se encuentra con las menas de plomo y cinc. Cristales estriados se han encontrado sobre las cuarcitas de Mondoñedo y Riotorto (Lugo).

MINERALES DE HIERRO

Las menas más importantes son la magnetita y la hematita. La magnetita se ha descrito en el apartado de las rocas básicas y ultrabásicas. Pertenece al grupo de las espinelas y es un mineral accesorio muy extendido en la mayoría de las rocas ígneas y metamórficas. La alteración de la magnetita da hematita y/o limonita.

HEMATITA (O HEMATITES)

La hematita (Fe_2O_3), u **oligisto**, es la mena más importante del hierro. Ya desde la prehistoria, es un pigmento natural importante para el color rojo. Se presenta en cristales tabulares y masas con estructura radiada,

hojosa o terrosa (ocres). La variedad hojosa se llama también **especularita**. La **martita** es una seudomorfosis de magnetita. La hematita parda se denomina también **limonita**. La forma de yacer de la hematita es muy variada. Es un mineral abundante hidrotermal, de baja a muy alta temperatura (pegmatítico-neumatolítico) o se forma por metasomatismo de contacto. En rocas ígneas se puede presentar como mineral accesorio o exhalativo--neumatolítico en rocas efusivas. Las rocas sedimentarias oolíticas (con granitos de estructura concéntrica) que contienen hematita pueden encerrar también minerales de arcillas. De gran importancia es su proveniencia de minerales y rocas ferruginosas, como la magnetita como producto de la meteorización. La hematita se altera a goethita o limonita.

La distribución de la hematita en Galicia está muy relacionada con la de la **magnetita**, muy frecuente por las unidades ultrabásicas, por ejemplo por la zona de Ortigueira (A Coruña), y por las formaciones metasedimentarias ricas en minerales de hierro que forman las montañas de la parte oriental de Galicia, desde Viveiro (Lugo) hacia el sudeste de Becerreá. Los yacimientos de hierro se han descrito con más detalle con la **magnetita**.

HEMATITA

Ésta es la mena más importante del hierro y se emplea, ya desde la prehistoria, como pigmento natural para el color rojo

Hematita con su brillo metálico característico.

Cuadro 132

Hematita (o hematites)

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De rojo a gris	Trigonal	5'5-6'5	5'26 g/cm³	Roja

MINERALES DE ALTERACIÓN DE LAS MENAS DE HIERRO (HIDRÓXIDOS DE HIERRO)

GOETHITA

La goethita (FeOOH), llamada así en honor del poeta (y mineralogista aficionado) alemán Johann Wolfgang Goethe, es a veces difícil de diferenciar de la **limonita** $FeO(OH) \times nH_2O$. La goethita se forma por meteorización de minerales férricos, como la pirita, magnetita, siderita y glauconita. Por lo general, se presenta en forma masiva, fibrosa u oolítica.

La goethita se forma también en ambientes hidrotermales de baja temperatura. Pero normalmente se encuentra en yacimientos residuales de hierros pardos y minerales de hierro, en lateritas (suelos de color rojizo), en pantanos, fuentes y monteras. Goethita existe en la antigua mina Sar (Santiago de Compostela) y en casi todos los yacimientos de **magnetita** y **hematita**.

LIMONITA

La limonita $FeO(OH) \times nH_2O$ es un producto de la meteorización de otros minerales de hierro o minerales ricos en hierro. Se puede precipitar en lagos, pantanos y

GOETHITA

La goethita recibe su nombre en honor al poeta alemán (y mineralogista aficionado) Johann Wolfgang Goethe

La goethita tiene colores marrones de herrumbre.

Cuadro 133

Goethita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De pardo oscuro a amarillo	Rómbica	5-5'5	4'3 g/cm³	Marrón amarillenta

LIMONITA

La limonita es producto de la meteorización de otros minerales de hierro o ricos en hierro. En realidad no es un mineral, sino una masa no cristalina con contenidos variables de agua mezclada con minerales arcillosos, cuarzo, óxidos de magnesio y otros minerales secundarios

En lámina delgada la limonita da característicos tonos rojos, melados y amarillos.

Cuadro 134

Limonita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Amarillo negro	Amorfa	1-1'5	3'8 g/cm³	Amarilla

manantiales formando enriquecimientos secundarios. Siempre acompaña a los óxidos y sulfuros de hierro.

En el fondo no es un mineral, sino una masa amorfa (no cristalina) con contenidos variables de agua mezclados con minerales arcillosos, cuarzo, óxidos de magnesio y otros minerales secundarios. Con la **goethita** forma el *gossan*, la montera de hierro alterada en la superficie encima de yacimientos primarios de hierro, a los que cierra y protege como el corcho a la botella.

En Galicia la limonita acompaña como producto de alteración superficial a todas las mineralizaciones de **pirita**, **siderita**, **magnetita** y **hematita**. Como ejemplos se pueden citar las mineralizaciones constituidas por nódulos y concreciones piritosas, normalmente oxidadas, e indicios siderosos, que se extienden en una alineación desde Ansar (Lugo), al norte, a las proximidades de Murias, al sur. Fueron explotadas en el pasado y los minerales extraídos eran tratados en un horno en la ferrería que existía en Murias. Hacia el sur, al oeste del granito de Os Ancares, por Robledo, Donís y Castelo (Lugo), aflora una serie de mineralizaciones de limonita con carácter brechoide. La limonita y, en algunos casos, la **goethita**, interestratificada dentro de las pizarras con potencias variables de medio metro a dos metros, se encontraron por la zona de Paradela y Mazaira (Lugo).

DUFRENITA

La dufrenita $Fe^{2+}_3Fe^{3+}_6[(OH)_3 \mid PO_4]_4$ muy rara vez está cristalizada; forma más bien agregados masivos, costras y masas fibrorradiadas. Por oxidación de la superficie da un aspecto pardo. La kraurita es una dufrenita con algo de Mn sustituyendo parte del Fe^{2+}.

Es un mineral de origen secundario que se forma como producto de alteración de los minerales de hierro. En muchos yacimientos acompaña a la **limonita**. En Galicia se ha encontrado por la zona de Boiro (A Coruña).

EVANSITA

Este fosfato tiene la fórmula química $Al_3[(OH)_6 \mid PO_4]$ x $6H_2O$. Se presenta en masas terrosas, pulverulentas o estalactíticas y no se conoce su clase cristalina.

Es un mineral secundario que se puede encontrar en yacimientos de hidróxidos de hierro (por ejemplo, acompañando la **limonita**). En Galicia se ha observado por Entrimo (Ourense).

VIVIANITA

La vivianita $Fe^{2+}_3(PO_4)_2$ x $8H_2O$ es blanca o incolora en estado fresco, cambiando el color de un azul verdoso a índigo cuando se pone en contacto con el aire por oxidación del Fe^{2+} a Fe^{3+}. Los cristales son prismáticos con estrías verticales. También se presenta en formas radiales o nodulosas con aspecto terroso.

De origen hidrotermal, se encuentra en filoncitos y grietas o resulta de la alteración de los fosfatos de hierro y manganeso en pegmatitas. Se ha observado junto a la **zaratita** en los yacimientos de **magnetita** y menas niquelíferas de Teixedelo por Cabo Ortegal (A Coruña).

MINERALES DE ANTIMONIO

El antimonio (y sus minerales) es un elemento del ambiente hidrotermal de bajas temperaturas. Se forma al final de los procesos hidrotermales, cuando los fluidos mineralizados (de origen magmático tardío, metamórfico-hidrotermal o metasomático) ya han perdido sus elementos y metales que se precipitaron a temperaturas más elevadas (por encima de los 300 °C). Después quedan en solución los elementos Sb, Hg, As, Au y otros. Las mineralizaciones de este tipo se encuentran frecuentemente en metasedimentos que han sufrido un metamorfismo regional de bajo grado. En Galicia se observan preferentemente en los estratos metasedimentarios del extremo oriente que forman las montañas altas de Lugo y Ourense.

ANTIMONITA

La antimonita (Sb_2S_3) se llama también **estibina** o "brillo de antimonio". Es el mineral más importante para la extracción de antimonio. Se presenta en cristales prismáticos delgados que presentan estriaciones características y cierta curvatura. También puede formar hojas y masas masivas o granudas. El antimonio se utiliza para productos de soldadura, en los acumuladores de plomo y en las aleaciones para la fabricación de caracteres de imprenta. Se aplica también en detectores infrarrojos y como material de maquillaje-máscara de ojos.

Es un típico mineral hidrotermal de bajas temperaturas en filones metalíferos de granitos, gneis, pizarras y calizas. Se observa también como producto metasomático en la zona de contacto en calizas. En Galicia existen importantes yacimientos en los montes de Cervantes (Lugo). Masas granosas cristalinas se encuentran en los alrededores de Castroverde, Pandelo, San Pablo de Muradela, Vilapún, Sangullo y Montes de Oca. Las antimonitas de Bolaños, Santa Eufemia y Biobra se encuen-

Cuadro 135

Dufrenita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De verde a negro	Monoclínica	3'5-4'5	3'2 g/cm³	Verde clara

Cuadro 136

Evansita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Blanco amarillento o verdoso	Amorfa, formando geles	3'5-4'5	3'2 g/cm³	Verde clara

Cuadro 137

Vivianita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Incoloro, blanco, azul	Monoclínica	2'5	2'68 g/cm³	Incolora, blanca, azul índigo

Cuadro 138

Antimonita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Gris plomo	Rómbica	2	4'6-4'7 g/cm³	Gris plomo

Cuadro 139

Senarmontita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De blanco a amarillento	Cúbica	2	5'2-5'3 g/cm³	Incolora

Cuadro 140

Berthierita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Gris de acero	Rómbica	2-3	3'8-4'3 g/cm³	Gris pardusca

tran encajadas entre la caliza marmórea y las pizarras en los términos de Vilarbacú y O Courel. En la provincia de Ourense hay indicios de antimonita en forma de masas compactas en Biobra, A Pobra de Trives y Vilar de Silva. La antimonita se ha explotado en la antigua mina de Pandeiro, al oeste de Ordes (A Coruña). Otro indicio de antimonio que se conoce se sitúa también cerca de Ordes.

PLUMBOESTANNITA

La plumboestannita es un antimoniosulfuro de plomo, estaño y hierro cuya fórmula, aunque sea dudosa su homogeneidad, corresponde a $Sn_2Sb_2S_{11}Pb_2(Fe, Zn)_2$. También se puede considerar como mezcla de los minerales de **galenita** y **estannina**. Se encuentra esporádicamente en los filones típicos de antimonio, como, por ejemplo, en los montes de Cervantes (Lugo).

SENARMONTITA

La senarmontita (Sb_2O_3), cuyo nombre tiene su origen en honor del señor Senarmont (profesor francés de Mineralogía), es un óxido de antimonio. Como los minerales **estibiconita** ($Sb_3O_6|OH$), **cervantita** (Sb_2O_4) y **valentinita** (Sb_2O_3), es un producto de alteración de la antimonita (Sb_2S_3) que se forma en la zona de oxidación de los yacimientos primarios de antimonio.

Estos minerales (los ocres de antimonio) se presentan generalmente en forma masiva todos juntos o individualmente recubriendo cristales de antimonio. Los ocres de antimonio sirven también como menas de antimonio.

Cuadro 141

Bournonita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De gris a negro	Rómbica	3	5'7-5'9 g/cm³	Gris

En Galicia los ocres de antimonio se encuentran sobre todo en las zonas de Seara, Visuña, Folgoso do Courel y Cervantes (provincia de Lugo), donde la **valentinita** es muy minoritaria. En las provincias de Pontevedra y Ourense se pueden observar esporádicamente acompañando a algunos sulfuros. La **cervantita** aparece en unos indicios de Sb-Cu-Hg que siguen la estructura anticlinal de Cervantes-Vilameá, desde Vilaxoán a Riamonte de Arriba (Lugo).

BERTHIERITA

La berthierita ($FeS \times Sb_2S_3$) se parece mucho a la antimonita o estibina. Forma agregados bacilares fibrosos y tiene una composición química muy variable.

Es de origen hidrotermal de baja temperatura y se observa acompañando a la estibina y sus ocres, también con galena y esfalerita. En Galicia se ha encontrado con **antimonita**, **sulfuros** y **tetraedrita** en la mina Pandeiro por la carretera de Ordes a Portomouro (A Coruña). En el yacimiento de Vilarbacú (Lugo) está asociada a la mineralización de **antimonita**.

BOURNONITA

La bournonita ($2PbS \times Cu_2S \times Sb_2S_3$) es un mineral de plomo y cobre de la familia de los cobres grises, a la que pertenece también la jamesonita. Muy característicos son los cristales prismáticos o tabulares, presentando maclas en forma de rueda, por lo cual recibe también el nombre de "mineral en rueda".

Está presente en filones hidrotermales de alta o moderada temperatura y sirve como mena de plomo, cobre y antimonio. En Galicia es un mineral muy escaso. Se ha observado en los filones mineralizados de sulfuros de Basadre, sobre el río Ulla al norte de Barilongo (extremo nordeste de la provincia de Pontevedra).

JAMESONITA

La jamesonita ($4PbS \times FeS \times 3Sb_2S_3$) forma cristales aciculares o capilares. La capilaridad de los cristales es

Cuadro 142

Jamesonita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Gris de plomo	Monoclínica	2-2'5	5'7 g/cm³	Gris

una propiedad muy característica y es la razón de que se llame también **plumosita**.

Este mineral hidrotermal de baja o moderada temperatura sirve como mena de plomo y de antimonio. En Galicia se ha encontrado en los filones mineralizados de Sn y W de Monte Neme (A Coruña) y asociado a las mineralizaciones de oro de Corcoesto. Microscópicamente se ha observado también en los filones de Toxeiros Vellos al sur de Castro de Rei (Lugo).

TENNANTITA

La tennantita ($Cu_3AsS_{3.25}$) y la tetraedrita ($Cu_3SbS_{3.25}$) forman una serie isomorfa de sulfoarsénidos y sulfoantimónidos. Se llama también "cobre gris arsenífero" y tiene frecuentemente el hábito tetraédrico; también puede ser granular o masivo.

Se encuentra en filones mineralizados hidrotermales de temperatura baja o moderada y se busca como mena de cobre o de plata (la **freibergita**). Muy escasamente se presenta en los filones mineralizados de sulfuros de Basadre, sobre el río Ulla al norte de Barilongo (extremo nordeste de la provincia de Pontevedra).

TETRAEDRITA

Este cobre gris antimonial ($Cu_3SbS_{3.25}$) es generalmente de hábito tetraédrico o se presenta en formas masivas o granosas diseminadas. El cobre puede ser sustituido por Fe, Ag, Pb, Zn, Hg, Ni y Co. Cuando es rico en plata se llama **freibergita**. Es un mineral hidrotermal de baja o moderada temperatura. Se presenta asimismo en sedimentos en las zonas de cementación. También se observa en filones pegmatíticos-neumatolíticos.

Las variedades ferríferas y argentíferas de la tetraedrita se han encontrado en As Nogais, asociadas con la **bartina**, y en las antiguas minas de Toxeiros Vellos, al sur de Castro de Rei (Lugo), asociadas a la **arsenopirita**. Muy raras veces la **freibergita** acompaña a otros sulfuros, como en un filón de cuarzo cerca de la aldea de Tixoa, entre Silleda y Forcarei (Pontevedra). Relacionada

Cuadro 143

Tennantita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Gris oscuro de acero	Cúbica	3-4	4'4-5'4 g/cm³	De negra a marrón rojiza

Cuadro 144

Tetraedrita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Gris claro	Cúbica	3-4	4'4-5'4 g/cm³	De gris rojiza a roja oscura

con las mineralizaciones de **calcopirita** y **pirita**, la tetraedrita se encuentra en la zona de Valdeorras (Ourense). Como mineral muy escaso, se ha descrito en la antigua explotación de **antimonita** de Pandeiro, al oeste de Ordes, y como mineral muy escaso acompañando a las mineralizaciones de W y Sn de Santa Comba y Barilongo (A Coruña).

OTROS MINERALES DEL MERCURIO Y DEL ARSÉNICO

CINABRIO

Este sulfuro de mercurio (HgS) es el mineral más importante de mercurio y forma capas delgadas o masas granulares. Los cristales son normalmente trigonales con maclas de penetración. Presenta una buena exfoliación. La forma de yacer es hidrotermal de baja temperatura. Contiene hasta un 86'2% de mercurio. El mercurio se utiliza para amalgamaciones de metales, en la preparación

Cuadro 145

Cinabrio

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Rojo escarlata--púrpura	Trigonal	2-2'5	8'1 g/cm³	Roja

Cuadro 146

Domeikita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Blanco de estaño	Cúbica o hexagonal	3-3'5	7'2-7'5 g/cm³	Blanco de estaño

Cuadro 147

Escorodita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Verde	Rómbica	3'5-4	3'1-3'3 g/cm³	Verde clara

de concentrados de oro para la extracción de oro y para aparatos científicos.

En Galicia el cinabrio se ha descrito en antiguas minas en la Serra do Courel (Lugo) acompañando a la **antimonita**. También se puede observar muy escasamente en las zonas más bajas del yacimiento de Pb y Zn de Rubiais (Lugo) asociado a la **clorita** y el **cuarzo**.

DOMEIKITA

La domeikita (Cu_3As) es un miembro del grupo de aleaciones de metales (cobre, plata, níquel) con los semimetales As, Sb y Bi. Se presenta raras veces en cristales. Más frecuentes son pequeñas masas reniformes.

Es un típico mineral hidrotermal asociado a **sulfuros** de cobre (por ejemplo: la **calcopirita**). En Galicia se ha encontrado en filones de sulfuros de cobre en la zona de O Seixo y Carballal, cerca de A Rúa, y por Valdeorras (Ourense). Muy diseminado se ha observado en algunos lugares de la provincia de Pontevedra.

ESCORODITA

La escorodita $Fe(AsO_4) \times 2H_2O$ pertenece al grupo de las variscitas, unos fosfatos rómbicos. Los cristales son pequeños y seudohexagonales. También se presenta en agregados pulverulentos y en costras.

Es un mineral escaso que se forma como producto de alteración de las piritas arsenicales (**arsenopirita**). En Galicia se ha encontrado en algunos yacimientos de **arsenopiritas**: por ejemplo, por O Carballiño (Ourense)

Cuadro 148

Farmacosiderita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De verde a pardusco	Cúbica o monoclínica	2'5	2'82 g/cm³	Verde clara

y en las antiguas minas de O Pereiro (norte de Valdoviño) y de Imende (Carballo, provincia de A Coruña).

FARMACOSIDERITA

La farmacosiderita es probablemente una parasimplesita de fórmula química $Fe_3(AsO_4)_2 \times 8H_2O$. Presenta un brillo de diamantino a graso. Es terroso, granular, o forma cristales tedraédricos o cúbicos. La forma depende de las sustituciones que puede sufrir el hierro y del contenido de hidróxido.

Es un mineral hidrotermal, incluso en pegmatitas. También se forma como producto de oxidación de minerales ricos en arsénico. Abundantemente se halla asociada a la **escorodita**. En Galicia se ha encontrado en Arzúa (A Coruña) y Celanova (Ourense).

ELEMENTOS NOBLES

ORO

El oro es un metal amarillo, ligeramente rojizo por reflexión. Químicamente se representa por la fórmula Au (del latín *aurum)*. El oro cristaliza en el sistema cúbico, apareciendo en el estado nativo con típica forma de pepitas. En la naturaleza siempre se encuentra aleado con otros metales (por ejemplo: con la plata, el platino, etc.), por lo que su peso específico varía entre 19'3 y 19'5 g/cm³. Cuando el porcentaje de plata es superior al 20%, se denomina a esta aleación natural **electro**.

Originalmente, el oro aparece asociado a la arsenopirita o nativo en filones hidrotermales de cuarzo, en rocas eruptivas y rocas sedimentarias. Por alteración de los yacimientos auríferos primarios —los procesos de meteorización que se han descrito antes— se forman placeres auríferos que contienen oro diseminado en forma de polvo, granitos u hojitas. Las zonas de cizalla (zonas de fallas o zonas muy tectonizadas) constituyen un metalotecto estructural muy importante —sobre todo

para la exploración de yacimientos de oro—, por desempeñar un papel esencial como vía de circulación de fluidos hidrotermales y como zona de precipitación.

Este metal noble es bastante blando y el más dúctil de todos los metales. Ya en la antigüedad se empleó en joyería, y más tarde como patrón monetario. En nuestro mundo de realidad virtual el oro y sus aleaciones se consumen en cantidades considerables como contacto eléctrico en los ordenadores. También se utiliza todavía en la odontología, defendiéndose contra los nuevos materiales cerámicos.

Los preciosos torques de oro de época celta, de los que quedan impresionantes ejemplos en los Museos Provinciales de Lugo y Pontevedra, hacen sospechar que el oro fue objeto de explotación minera ya en tiempos prerromanos. También las explotaciones romanas en Galicia (Covas, Ribas de Sil, etc.) lo manifiestan. En realidad, hay muchos indicios de oro en las cuatro provincias gallegas con la mayor densidad en el área de O Carballiño (Ourense). En Galicia predominan los yacimientos auríferos del tipo filón y placer. Por su historia geológica, Galicia alberga un gran número de yacimientos de mineralizaciones auríferas localizadas en zonas de cizalla o falla. Las zonas más destacables son los lineamientos (importante elemento tectónico alargado o línea estructural de cizalladura) de Montefaro-Covas-Corcoesto-Santa Comba-Noia-Tomiño (A Coruña-Pontevedra) y de O Pereiro-Pontedeume-Aranga-Roñón (A Coruña).

Las mineralizaciones auríferas en la comarca del Xallas (A Coruña) se explotaron a principios del siglo XX por la compañía The Sagasta Gold Mines Ltd. en labores superficiales, como también subterráneas. En los años setenta y ochenta se estudió de nuevo su potencial minero. Es un típico yacimiento relacionado con una zona de cizalla muy milonitizada (tectonizada), donde se precipitaron los fluidos hidrotermales cargados de oro y otros metales.

Filones auríferos se encuentran en los términos municipales de Baio, Covas de San Martiño, Serantes, Valdoviño, Monfero, Ponte Aranga, Curtis, Sobrado, Carballo, Santa Comba, Zas, Outes, Cabanas, Coristanco (A Coruña), San Cristovo, Chantada (Lugo), Lalín (Pontevedra), O Carballiño, Borborás, San Amaro, Maside, O Irixo (Ourense). El contenido medio de oro en estos filones auríferos puede alcanzar hasta unos 5 y 20 g/t. Por la zona de O Carballiño (Ourense) los yacimientos de oro se encuentran, tanto en metasedimentos como en granitos, en zonas de fallas y otras estructuras producidas por el emplazamiento de los granitoides que aportaron también la actividad hidrotermal. El oro está asociado a los sulfuros, en especial a la **arsenopirita** y en la ganga de **cuarzo**, en filones y filoncillos.

Placeres fluviales con indicios de oro, de los cuales se han explotado algunos esporádicamente, se sitúan en O Pindo, Carral (A Coruña), Ribadeo, Castro de Rei, Quiroga, San Clodio, Ribas de Sil, Montefurado (Lugo), Viana do Bolo, por los ríos Eo y Louro (Ourense), y en O Rosal (Pontevedra). En los placeres auríferos la ley de oro es normalmente 100 veces más bajo que en los filones auríferos.

Cuadro 149

Oro

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Amarillo	Cúbica	2'5	19'3-19'5 g/cm³	Amarilla

Cuadro 150

Plata

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Blanco de plata	Cúbica	2'5-3	9'6-12 g/cm³	Blanca

PLATA

Las características importantes son la pátina negra en la superficie, la maleabilidad y la muy buena conductividad eléctrica. Está asociada al cobre y el oro, aunque sea plata pura. Menos frecuentes son aleaciones con el mercurio, platino, antimonio y bismuto.

La plata nativa es muy escasa y se forma en yacimientos hidrotermales y en la zona de oxidación de los depósitos de minerales de plata. Normalmente se encuentra en yacimientos de plomo y cinc donde está ligada a la **galena**. Se emplea en joyería y en el pasado era un metal noble importante para la fabricación de monedas. En Galicia la plata nativa se ha encontrado por la zona de Bolaño (Lugo).

CUENCAS TERCIARIAS

Durante el Mioceno (Terciario Superior, hace de unos 7 a 15 millones de años) se desarrollaron en Galicia (como en toda la Península) una tectónica de fractura, originándose una serie de fosas tectónicas, y una sedimentación que rellenó estas fosas (o cuencas). Estas cuencas de pequeñas dimensiones, de pocos kilómetros, hasta de unos 10 a 20 km de largo, se formaron sobre un subsuelo que fue hundiéndose lentamente a lo largo de varios millones de años y, en consecuencia, se rellenaron de materiales arrastrados por los ríos desde las cercanas áreas graníticas meteorizadas, con arcillas, caolines y material orgánico en zonas de pantanos, formando el lignito.

LIGNITOS

El lignito representa un carbón pardo terroso, en parte fibroso. El **azabache** es una variedad de lignito, negro y lustroso, que se usa para hacer botones, dijes, etc.

En sentido estricto, el lignito no es un mineral sino una roca sedimentaria que se originó al descomponerse sustancias vegetales (plantas pantanosas, coníferas, palmeras, etc.) sin entrada de aire por carbonización. En el lignito pardo gallego se distinguen tres variedades fundamentales: el lignito común (el más abundante), el lignito xiloide (con restos de troncos y raíces) y la piropisita (materias resinosas fósiles). Los yacimientos están normalmente constituidos por intercalaciones de los diferentes tipos de lignitos, arcillas, caolines y capas arenosas. El lignito gallego puede tener un 40-60% de humedad, un 15-25% de cenizas, hasta un 15% de carbono, un 20-25% de volátiles y un 2-3% de azufre. Su valor calorífico llega por término medio a unas 1.800 kcal/kg.

En Galicia el lignito se explota en As Pontes de García Rodríguez y en Meirama (A Coruña), agotándose las reservas en la actualidad. Los yacimientos de lignito de Meirama (unos 25 km al sudoeste de A Coruña) se han desarrollado a lo largo de una falla de desgarre hercínica que ponía en contacto una granodiorita con esquistos paleozoicos. A lo largo de la falla se produjo un proceso de subsidencia y comenzó en el Mioceno que continúa hasta hoy. El valle donde se encuentra la explotación a cielo abierto tiene una longitud de 3'5 kilómetros y una anchura de 1 km aproximadamente. El tramo explotable tenía un potencia variable de hasta unos 320 metros. En As Pontes de García Rodríguez existieron 19 paquetes ligníferos con una potencia media total de 117 metros. La cuenca, en conjunto, tiene una longitud de 8 kilómetros por 2'5 kilómetros de anchura. La profundidad es variable, alcanzando máximos de unos 320 metros.

En los años ochenta del siglo XX se descubrió otro yacimiento importante en Xinzo de Limia, a unos 40 kilómetros al sudoeste de Ourense. Es una cuenca pequeña con una longitud de 6 y 4 kilómetros de ancho con unas reservas de unos 270 millones de toneladas. La masa de carbón se sitúa en una profundidad de unos 100 metros. Otras cuencas del Terciario con indicios de lignito se encuentran por las zonas de Xubia-Narón, Lendo, Boimil-Boimorto y Lañoa (A Coruña), Viacambre-Baldaio, río Boedo, río Louro-O Porriño (Pontevedra).

Estratos de lignitos negros en la explotación a cielo abierto de As Pontes de García Rodríguez. A Coruña.

GRUPO DE LOS MINERALES DE LAS ARCILLAS

Los minerales de las arcillas tienen una variación bastante amplia en composición y los miembros del grupo son difíciles de identificar por métodos ópticos debido a su pequeño tamaño y grano, las impurezas, la presencia de combinaciones de capas mezcladas y su similitud óptica. Aparte de la definición mineralógica, para los sedimentólogos cualquier sedimento clástico con granulometría por debajo de los 0'01-0'02 mm se especifica como arcilla.

Las industrias cerámicas que fabrican materiales de construcción (ladrillos, tejas, bovedillas, azulejos...), junto con la industria alfarera y de tierra cocida, utilizan lo que se llama genéricamente "arcillas cerámicas" en el

sentido amplio. Las arcillas cerámicas pueden presentar una gran variedad con respecto a su composición mineralógica. Normalmente contienen illita y montmorillonita, cuarzo muy fino y cantidades variables de caolinita, clorita y vermiculita. Los óxidos de hierro les dan a las arcillas el color rojo u ocre característico, y el contenido de materia orgánica la tonalidad grisácea. Las arcillas refractarias son arcillas altamente caoliníferas impurificadas con illita y cuarzo. Se pueden considerar como caolines impuros.

CAOLINITA

La caolinita $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ es un filosilicato de aluminio y principal componente del caolín, la "tierra de porcelana". Se presenta típicamente en escamas aplastadas (de seis o tres lados) u ovillos finos; puede ser también de grano fino y de contorno irregular. Las escamas y laminillas muy finas forman masas terrosas o compactas. Los cristales alargados pueden ser de forma retorcida o vermicular, o forman agregados plumosos.

La caolinita es un producto de la meteorización de rocas ígneas y metamórficas, principalmente por alteración de los feldespatos y la moscovita u otros silicatos alumínicos. También puede ser sedimentario, a partir de la erosión de rocas ácidas caolinizadas y la concentración de los productos de la meteorización en cuencas y depresiones.

La caolinita se emplea fundamentalmente en la fabricación cerámica (loza y porcelana), papelera, de plásticos y de refractarios. El caolín es un material muy usado como ganga por ser muy inerte (por ejemplo, en plástico y caucho). Es un importante pigmento blanco en pinturas y papel. La producción mundial de caolín llegó casi a unos 40 millones de toneladas en 1997.

Galicia es una región muy rica en caolinita debido a la gran extensión de rocas graníticas ricas en feldespatos que se meteorizaron a caolinita durante millones de años, sobre todo en épocas con un clima tropical. El término "caolín" puede presentar dificultades cuando no se utiliza en el sentido estricto mineralógico, sino como denominación comercial que incluye también las "arcillas caoliníferas". Las arcillas caoliníferas son siempre una mezcla de los muy numerosos tipos de arcillas. Las arcillas refractarias son arcillas altamente caoliníferas impurificadas con illita y cuarzo. Se pueden considerar como caolines impuros.

Cuadro 151

Grupo de los minerales de las arcillas

Subgrupo	Minerales	Fórmula química
Caolinitas	Caolinita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
	Dickita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
	Haloisita hidratada	$Al_2Si_2O_5(OH)_4 \times 2H_2O$
Montmorillonoides (o esmectitas)	Montmorillonita	$(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2[Ca, Na, K]$
Illita	Illita o hidromoscovita	$(K, Na, H_3O)_2(Al, Mg, Fe)_4(Si_{7-}, Al)O_{20}(OH)_4$
Palygorskita	Palygorskita	$Mg_5Si_8O_{20} \times 4H_2O$
	Sepiolita	$Mg_9Si_{12}O_{30} \times 5H_2O$
	Attapulgita	$Al_2Si_4O_{10} \times 6H_2O$

Cuadro 152

Caolinita

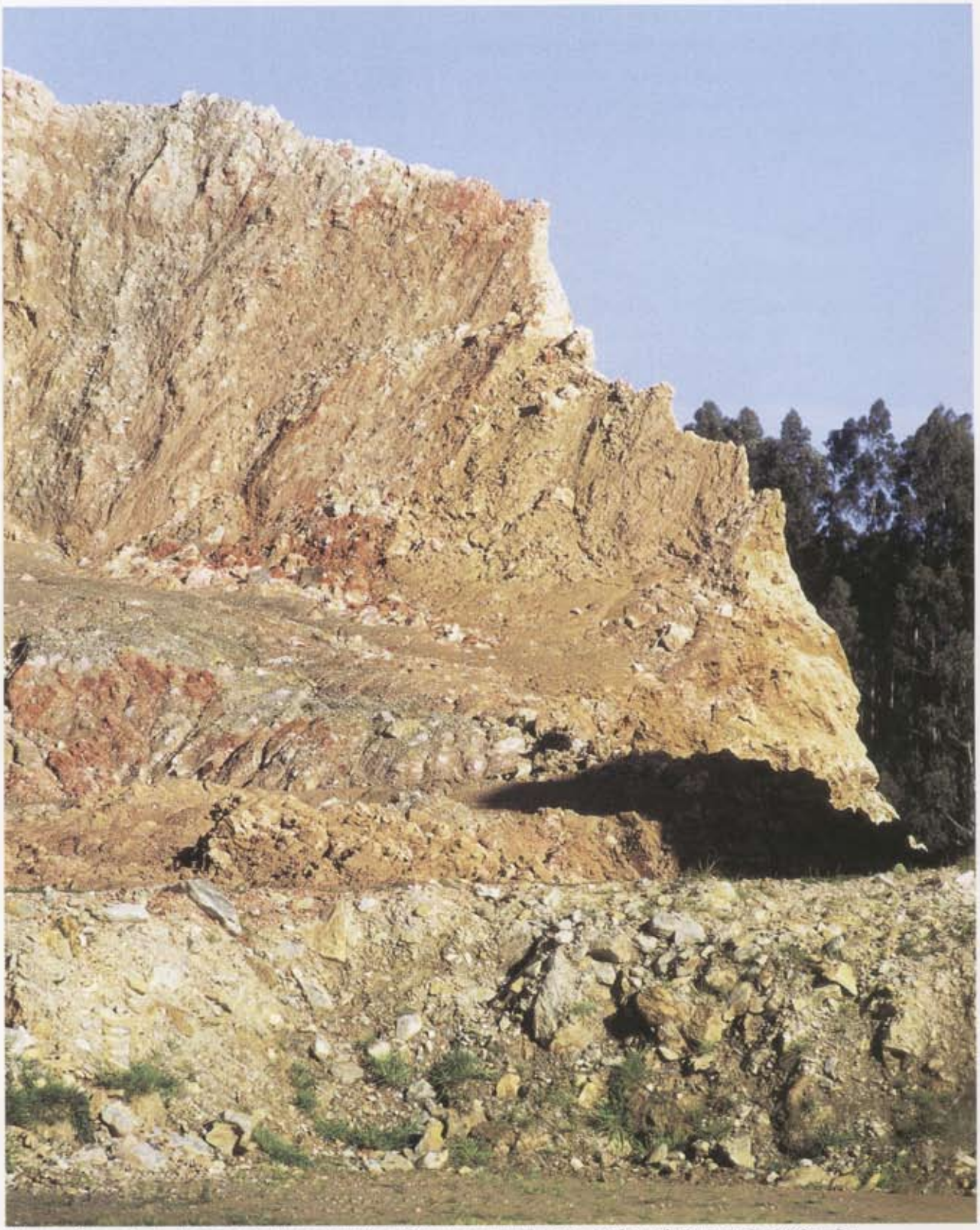
Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De incoloro a amarillo pálido	Triclínica	2-2'5	2'6 g/cm³	Blanca

En Galicia se diferencian tres tipos de depósitos caoliníferos: los del tipo *in situ*, como residuos de la meteorización de rocas graníticas y gneis, los depósitos hidrotermales, también *in situ*, con alguna meteorización sobrepuesta, y los depósitos sedimentarios. Yacimientos sedimentarios de caolín, y especialmente las arcillas caoliníferas, pueden encontrarse en casi todas las cuencas terciarias de Galicia (junto al **lignito**, como, por ejemplo, en: las cuencas de Meirama, As Pontes de García Rodríguez, Xinzo de Limia, etc.). Sedimentos cuaternarios pueden contener arenas y conglomerados caoliníferos, arrastrados de las áreas graníticas meteorizadas cercanas.

Yacimientos de caolín se encuentran en las zonas de Laxe, Irixoa, Monte Salgueiro-Aranga, Vimianzo-Baiñas, Carballo, Meirama, Pontedeume, Santa Comba, Olveira

LOS MINERALES DE LAS ARCILLAS

Las industrias cerámicas que fabrican materiales de construcción, junto con la industria alfarera y de tierra cocida, utilizan lo que se llama genéricamente "arcillas cerámicas" en sentido amplio, las cuales pueden presentar una composición mineralógica muy variada



Barrera (lugar de donde se extrae el barro para los alfares y otros usos). Buño. Malpica de Bergantiños, A Coruña.

Industria de teja y cerámica. Buño. Malpica de Bergantiños, A Coruña.

Capa de arcillas caoliníferas.

Estratos caoliníferos en la explotación de lignito de As Pontes de García Rodríguez. A Coruña.

(A Coruña), Xove-Lago, San Cibrao-Paraños, Vicedo--Negradas, Burela-Sargadelos, Burela-Fazouro, Cervo, Foz, Guitiriz (Lugo), Penouta, Laza, Verín, Vilar de Cervos (Ourense), A Guarda, O Porriño y Tui (Pontevedra). La **dickita**, de forma monoclínica, se ha observado en Chantada (Lugo). Hasta la actualidad se están explotando los yacimientos de Vimianzo, Burela y Xove.

HALOISITA

La haloisita (o **halloysita**) hidratada es un hidrato de silicato de aluminio $Al_2Si_2O_5(OH)_4 \times 2H_2O$. Por deshidratación de la variedad hidratada se puede producir la metahaloisita $Al_2Si_2O_5(OH)_4$. Forma masas de grano extremadamente fino, capas y filoncillos. Es un mineral de la arcilla hidrotermal en yacimientos minerales y rocas encajantes alteradas. Sustituye al feldespato, y es sustituida por la sericita. Se encuentra también en algunos depósitos residuales de arcilla con caolinita. Se utiliza, como la caolinita, para la cerámica y como material de carga.

En Galicia es un mineral accesorio y raro en los depósitos caoliníferos de origen sedimentario a partir de rocas ácidas alteradas: por ejemplo, en los del sudeste de la provincia de Pontevedra (A Guarda, O Rosal, Tomiño, O Porriño, Tui). La haloisita de Burela y Foz (Lugo) se formó por la alteración de felsitas y albititas (véase: **albita**). Otros afloramientos en Lugo se encuentran por las zonas de Xove y Guitiriz. En los yacimientos de **caolines** y arcillas caoliníferas de la zona de Laxe y Santa Comba (A Coruña) se puede observar también la haloisita.

MONTMORILLONITA

La montmorillonita, o **smectita**, es el mineral principal de la arcilla y se presenta en agregados laminares o en masas suaves y blandas.

Se forma por alteración de varios minerales, como, por ejemplo: cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, etc. Se origina en los suelos de las regiones templadas o áridas, en forma de filoncillos hidrotermales y como sustitución en pegmatitas, como componente de diversos yacimientos minerales hidrotermales y sus rocas encajantes alteradas. Se altera a caolinita. Se emplea en: lodos de sondeos, arenas de moldeo, como carga en cauchos, jabones, productos cosméticos, papel, insecticidas, para la clarificación de vinos, etc.

ILLITA

La illita, o hidromoscovita, aparece en masas escamosas blandas y grasosas o en agregados hojosos y plumosos. La illita es un término amplio que incluye no sólo la hidromoscovita, sino también los minerales illíticos relacionados con la biotita. Puede formar crecimientos íntimos paralelos con la caolinita.

Es un mineral de la arcilla que se encuentra frecuentemente en muchas arcillas y sedimentos arcillosos transportados con caolinita, cuarzo, feldespatos, montmorillonitas, calcitas y limonitas. También puede ser de origen hidrotermal en yacimientos minerales y especialmente en sus rocas encajantes alteradas. Es un componente importante en muchas pizarras.

SEPIOLITA

La sepiolita ($Mg_8Si_4O_{11}$ x $5H_2O$) forma masas terrosas, porosas o finamente nodulares. La **palygorskita** ($Mg_5Si_8O_{20}$ x $4H_2O$) tiene una composición similar pero es monoclínica y suele presentarse en agregados microscópicamente fibrosos. La **attapulgita** ($Al_2Si_5O_{13}$ x $6H_2O$) es la variedad de aluminio en vez de magnesio.

Estos minerales se encuentran en cuencas sedimentarias y se forman por precipitación directa, o por alteración de otros minerales, especialmente a partir de **serpentinas**. Se usan como absorbentes (entre otros, para retrete de gatos domésticos), decolorantes, para lodos de sondeos, etc.

Las arcillas cerámicas se encuentran, y se producen, en las cuatro provincias de Galicia. Muchas de las arcillas, empleadas normalmente para la fabricación de ladrillos y otros materiales de construcción, se pueden considerar como arcillas caoliníferas. Las capas altas de las cuencas terciarias son fundamentalmente illíticas (As Pontes, Meirama, Laracha, Boimorto, Ourense, Monforte de Lemos, Maceda, Cerceda). Las arcillas de la cuenca de Roupar y Sarria (Lugo) contienen notables cantidades de sepiolita y de attapulgita. Las arcillas cerámicas de la zona de O Porriño-Tui (Pontevedra) son caoliníferas. Las arcillas procedentes de la alteración de los esquistos paleozoicos son esencialmente montmorilloníticas y sericíticas.

Aunque todas las cuencas terciarias y cuaternarias han sido explotadas con mayor o menor intensidad en distintos tiempos, actualmente sólo son objeto de aprovechamiento industrial una serie de ellas. En la provincia de Ourense se explotan los depósitos arcillosos localizados en la Cuenca de Maceda-Xunqueira de Espadanedo; en la provincia de Lugo, las cuencas de Monforte de Lemos, Foz-Benquerencia, Guitiriz y A Pastoriza; en A Coruña, los depósitos en la zonas de Narón, Malpica, Mesía y Boimorto; y, finalmente, en la provincia de Pontevedra, las cuencas de Tui-A Guarda, O Porriño-Salceda de Caselas, Sanxenxo y Valga.

Cuadro 153

Haloisita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Blanco	Monoclínica	1'2	2-2'2 g/cm³	Blanca

Cuadro 154

Montmorillonita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Muy variado, desde blanco grisáceo, azulado, rosado y amarillo hasta verde	Monoclínica	1-2	2-3 g/cm³	Blanca

Cuadro 155

Illita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Incoloro	Monoclínica	2-2'5	2'7-2'8 g/cm³	Blanca

Cuadro 156

Sepiolita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Blanco, gris, amarillento	Rómbica	2-2'5	2-2'3 g/cm³	Blanca

Cuadro 157

Gibbsita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Blanco	Monoclínica	2'5-3'5	2'4 g/cm³	Blanca

Cuadro 158

Diásporo

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
De blanco rosado a pardo rojizo	Monoclínica	1'2	2-2'2 g/cm³	Blanca

MINERALES DE LA BAUXITA

La bauxita, el hidróxido de aluminio natural (Al_2O_3 x H_2O), es terrosa y generalmente férrica. El uso apropiado de la palabra "bauxita" es solamente como nombre de roca, ya que está compuesta de una mezcla de varios minerales, como la gibbsita y el diásporo. La bauxita debe su origen a la meteorización de rocas ricas en arcillas bajo condiciones climáticas subtropicales. Es un importante mineral de aluminio y la fuente natural más importante para la obtención de aluminio. En Galicia no hay yacimientos notables de bauxita, pero los minerales de bauxita, la gibbsita y el diásporo, acompañan a la caolinita y las arcillas en muchos yacimientos sedimentarios de edad terciaria.

GIBBSITA

La gibbsita, o hidrargillita $Al(OH)_3$, muestra una perfecta exfoliación de tipo mica y se presenta en pequeñas laminillas de aspecto hexagonal y fibroso. Contiene hasta un 65% de aluminio con pequeñas cantidades de hierro.

Se origina por procesos de meteorización química profunda e intensiva, como la laterización y la bauxitización. Estos procesos de meteorización son característicos de regiones tropicales o húmedas. Al alterarse los silicatos de arcillas, desaparecen los ácidos silícicos y se acumulan las arcillas y los hidróxidos de hierro rojos, dando el color característico de los residuos (la laterita o la bauxita). Se encuentran principalmente en la bauxita arcillas residuales y lateritas. Es una mena importante de aluminio.

DIÁSPORO

El diásporo (AlOOH) contiene alrededor del 85% de aluminio. Es algo fibroso o escamoso. Como la gibbsita, es un producto de la meteorización o de origen hidrotermal de baja temperatura. Está muy extendido en rocas sedimentarias como componente de la bauxita, arcillas alumínicas y algunas lateritas. Se explota como importante mena de aluminio.

Aparte de los yacimientos caoliníferos y arcillosos, el diásporo se puede encontrar en algunas pegmatitas de la provincia de Pontevedra. Se ha hallado, por ejemplo, en unas pegmatitas de Goián (Pontevedra), en masas cristalinas azuladas y en cristalitos incoloros acompañados de **moscovita**. Pero siempre se presenta sólo como constituyente minoritario o accesorio.

FORMACIONES CUATERNARIAS Y RECIENTES

El Cuaternario es el capítulo actual de la historia geológica de nuestro planeta y comprende los más recientes 1-2 millones de años. Esta —geológicamente— muy corta época se subdivide en varios períodos de glaciaciones, con la formación de glaciares que cubrieron amplios espacios de la Tierra (también algunas partes de Galicia). Había actividades volcánicas, temporalmente de mayor intensidad que en la actualidad, y seguía —y sigue— la elevación de montañas, su erosión, por los procesos de meteorización, y la acumulación (sedimentación) de los materiales desmontados en los valles, ríos, lagos y mares. En tierra, por ejemplo, las playas y terrazas naturales son formaciones cuaternarias. De origen cuaternario, y por supuesto reciente, son los suelos. Los suelos se forman en la superficie de rocas y sedimentos, transformándolos por la acción de diversos procesos físicos, químicos y biológicos, y están constituidos por minerales y componentes orgánicos. La mineralogía presente en un suelo depende en gran medida de la composición inicial de la roca madre, predominando en los suelos gallegos el **cuarzo**, las **micas** y las **arcillas**. La Edafología, la ciencia de los suelos, se ocupa en detalle de las propiedades, componentes, distribución, clasificación y cultivo de los suelos.

ALUMBRE

El alumbre $KAl_3(OH)_6 \mid (SO_4)_2]$ es un producto de alteración supergénica y aparece en eflorescencias rellenando fracturas en rocas arcillosas y pizarras. También se

presentan formas masivas y granulares. Tiene un sabor amargo característico. Donde aparece en grandes volúmenes se puede aprovechar como abono. En Galicia se observa en las metasedimentitas del Paleozoico en el extremo este del país (por ejemplo, en Valdeorras, Quereño, Norario y los confines de El Bierzo).

BOLIVARITA

La bolivarita $Al_3[(OH)_3 | PO_4] \times 5H_2O$ se presenta en costras criptocristalinas y masas botroidales. No es cristalina sino amorfa.

La bolivarita se forma en cavidades de rocas graníticas. En Galicia se ha observado en ciertos granitos de la provincia de Pontevedra, concretamente a lo largo de la carretera de Pontevedra a Campo Lameiro.

FORMAS DEL SÍLICE

En el apartado de los minerales que forman las rocas graníticas se ha descrito el **cuarzo**, que es un mineral importante y abundante en muchas rocas. Por los procesos químicos de alteración, el cuarzo y los silicatos ricos en SiO_2 se pueden disolver y dar origen a soluciones ácidas ricas en silicio, que se precipitan bajo ambientes favorables formando nuevas mineralizaciones de sílice y de silicatos.

SÍLEX

El sílex o pedernal es una variedad criptocristalina de **cuarzo** (SiO_2). Como roca compacta que tiene varias coloraciones, está compuesta de microorganismos o granos silíceos precipitados. El sílex aparece como nódulos, lentejones o capas en calizas y pizarras. La variedad negra del sílex, denominada **lidita**, se encuentra fácilmente con restos fósiles en cuencas cuaternarias.

ÓPALO

El ópalo es una variedad amorfa del cuarzo y tiene la fórmula química $SiO_2 \times H_2O$. Presenta colores diversos, a veces muy finos y tornasolados.

Como el subsuelo gallego es muy rico en rocas y sedimentos constituidos por cuarzo y silicatos, el silicio es un componente importante de la carga llevada en solución por las aguas superficiales. Una parte del silicio en solución se precipita cerca de —o en la superficie— donde se forman de nuevo distintas variedades del sílice, abundantemente acompañado de óxidos del hierro (por ejemplo: **goethita**), en los suelos, en costras de endurecimiento, a lo largo de las grietas, y en fisuras y cavidades en las rocas meteorizadas.

Cuadro 159

Alumbre

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Transparente, blanco	Trigonal seudocúbico	3'5-4	2'6-2'8 g/cm³	Blanca

Cuadro 160

Bolivarita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Amarillo verdoso	Amorfa	2'5-3'5	2 g/cm³	Verde

Cuadro 161

Sílex

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Diversos colores, blanco	Cúbica	7	2'2-2'6 g/cm³	Incolora

Cuadro 162

Ópalo

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Diversos colores, blanco	Amorfa	5'5-6'5	2'1-2'2 g/cm³	Incolora

TURBA

La turba se origina de la descomposición de restos vegetales acumulados en pantanos turbosos. Es de color pardo o negro. Como el lignito, no es un mineral en el sentido estricto sino un sedimento orgánico. Está aún poco carbonizado y contiene hasta un 95% de agua.

Formación de sal de roca en una pila de granito en el litoral.

En estado seco (25-30% de agua) sirve como combustible (poder calorífico de 9.000 a 15.000 kcal/kg) o para mejorar los suelos hortícolas. Está compuesta de ácidos húmicos (hasta un 50%), resinas, cera y sedimentos anorgánicos. A veces se forman de nuevo minerales como la calcita, la limonita y otros.

En Galicia, los yacimientos e indicios de turba se encuentran principalmente en las provincias de Lugo (Serra do Buio y Serra do Xistral al sur de Viveiro, Cabradoiro cerca de Mondoñedo) y de Ourense (zona de Chaguazoso).

SALES

El origen de las sales como sedimento químico se ha analizado en el apartado de las rocas sedimentarias. Aquí se describe la halita como formación reciente relacionada con la evaporación del agua salada en cavidades en inmediata cercanía del mar.

Cuadro 163

Halita

Color	Forma	Dureza (Mohs)	Peso específico	Raya
Blanco	Cúbica	2	2'1-2'2 g/cm³	Blanca

HALITA

La halita es la sal de roca (NaCl) y se precipita en cuencas por evaporación de aguas saladas. Se presenta en cristalitos de hábito cúbico bien formados o masas y costras microcristalinas.

La halita (NaCl) no se encuentra en Galicia de forma masiva formando capas de rocas salinas, pero en salmueras pequeñas, lagunas secas o rosquillas y pilas en rocas graníticas que se llenan con el agua salada de mareas altas, se pueden observar temporalmente costras blancas de sales compuestas principalmente de halita. Cuando se evapora el agua del mar, la halita se forma como precipitado principal formando pequeños cristalitos o costras blancas.

MINERALES PESADOS

Los minerales pesados son minerales muy resistentes a la alteración con un peso específico superior a 4 g/cm³, entre otros la ilmenita, el circón, el granate, la titanita, la magnetita y el rutilo, que se concentran en sedimentos arenosos de las cuencas y las playas fluviales y litorales (marinas). Minerales pesados son minerales que originalmente se encontraron como componentes accesorios en rocas magmáticas (granitos, basaltos y sus equivalentes metamórficos). Los típicos minerales pesados se han tratado en los apartados correspondientes de las rocas granitoides y las rocas básicas y ultrabásicas.

Durante los procesos metamórficos el contenido de estos minerales accesorios puede aumentar, por lo cual las rocas metamórficas de alto grado (de metamorfismo) tienen las mayores concentraciones de estos minerales. Como las metasedimentas, los gneis y metabasitas, son muy abundantes en Galicia; hoy y en épocas geológicas anteriores, la meteorización de estas rocas ha liberado volúmenes altos hacia las cuencas del Terciario, los ríos, las rías y las costas del Atlántico.

Las rocas, después de ser atacadas por las fuerzas de la dinámica externa (agua, viento y sol) y descarga de presión y temperatura, se integran por exfoliación, siguiendo la exfoliación de sus componentes (por ejemplo, los minerales mayoritarios, como los feldespatos, piroxenos, etc.). De esta forma se van dejando paulatinamente en libertad los minerales accesorios, de gran dureza y muy resistentes a los ataques de los agentes exteriores. En comparación con los minerales de buena exfoliación (feldespatos, piroxenos, etc.), que se des-

componen con mayor rapidez a gránulos muy finos y que se lleva el viento y el agua, los minerales pesados han resistido con ventaja el desgaste y se acumulan en lechos arenosos de los ríos o en las playas formando placeres.

En muchas playas de Galicia se pueden observar estos placeres, o capas y lazos ricos en minerales pesados, que se distinguen fácilmente de la arena blanca constituida de cuarzo, por el color de rojizo a rosado (**granate**), marrón (**rutilo**) o negro (**magnetita**, **ilmentita**). Pero, en general, son yacimientos muy pequeños que no tienen importancia industrial. Sin embargo, hubo épocas en las que se lavaron las arenas de varios ríos gallegos en la búsqueda de la casiterita —por ejemplo, en el río Deza (Pontevedra) hasta el último cuarto del siglo XX— y del **oro**, que ya se buscaba en época romana.

La **ilmenita**, como mineral pesado, es muy abundante en depósitos de productos de la meteorización en la cercanía de los yacimientos primarios. En la provincia de A Coruña es la zona de Santa Comba donde la ilmentita se encuentra en forma de placeres en las arenas del río Dubra, arroyo de Rebordelos, reguero de O Porto, río Mira, río Grande, arroyos de A Ponte, Amboade y Sabaceda, y por el arroyo de Bazar.

Placeres fluviales con indicios de **oro**, de los cuales se explotaron algunos esporádicamente, se sitúan en O Pindo, Carral (A Coruña), Montefurado (cerca de Quiroga), San Clodio (cerca de Ribas de Sil), Castro de Rei, por el río Navia (Lugo), Oira (cerca de Ourense), Pradocabalos (al sur de Viana do Bolo), Corgomo (al oeste de O Barco de Valdeorras, Ourense) y O Rosal (Pontevedra).

3. CONCLUSIÓN Y PERSPECTIVA

Como hemos visto, el subsuelo de Galicia ofrece una gran variedad de minerales basada en una historia geológica muy compleja. Eso fue —y es— beneficioso para generaciones de aficionados y coleccionistas de minerales y geocientíficos. Con la autonomía de la educación universitaria en Galicia y la fundación de nuevos Departamentos de Ciencias Naturales en las Universidades de A Coruña, Lugo y Vigo, ha aumentado también considerablemente el número de proyectos y trabajos del estudio de la naturaleza de Galicia. Este desarrollo positivo da también impulsos al mejor conocimiento de la formación y distribución de los minerales, suelos y rocas en Galicia.

Desde los primeros asentamientos en Galicia el hombre se ha aprovechado de esta riqueza en minerales, rocas y metales, sea para la construcción de algo que le protege contra la lluvia, el viento y el frío, o sea para formar recipientes, cuencos, vajillas, etc., tal vez utilizando también un colorante mineral. Asociados a las rocas graníticas afloran numerosos filones y pegmatitas con sus mineralizaciones de raros metales (por ejemplo: W, Sn, Nb, Ta, tierras raras) y minerales industriales (por ejemplo: cuarzo, feldespato). Los granitos *per se* se utilizan como áridos o piedras naturales en el sector de la construcción y como rocas ornamentales bellas que se exportan al mundo entero. Las rocas básicas y ultrabásicas también sirven como áridos en la construcción y como piedra ornamental, y las variedades especiales por su contenido mineral, como fundentes, en la metalurgia (por ejemplo: olivino y serpentina). Además, se caracterizan por sus mineralizaciones de sulfuros (por ejemplo: Cu, Cr, Ni) y metales raros y nobles (por ejemplo: Pt).

En las Cuencas Terciarias se acumularon importantes volúmenes de lignito, arcillas y caolines que sirven para la generación de energía, como materia prima para la fabricación de productos cerámicos y refractarios respectivamente. La abundancia de minerales y rocas de origen sedimentario y sus equivalentes metamorfizados asegura la provisión de diversos materiales para el sector de la construcción, para la fabricación de cemento y hormigón, pizarras de tejar, piedras naturales, rocas ornamentales y otros más. Ya no es posible imaginarnos una vida sin los carbonatos (por ejemplo: la calcita y la magnesita), que se emplean en la industria química y agricultura, como fertilizante, alimentación animal, corrector de suelos, etc. Tampoco queremos olvidarnos de las mineralizaciones hidrotermales asociadas a las rocas metamórficas, como Pb y Zn, que se utilizaron en el extremo sudeste de la provincia de Lugo.

La minería metálica tiene una gran tradición en Galicia. Pero ha sufrido a lo largo de su desarrollo importantes oscilaciones en cuanto a su intensidad. Su historia se puede remontar a la época romana por la extracción del oro. El hierro se explotó durante muchos siglos hasta principios del siglo XX; después se apreció la riqueza de Galicia en los metales estratégicos de wolframio y

estaño. Un corto episodio fue la explotación del cobre en las cercanías de Santiago de Compostela, que fue reemplazada por la actividad extractiva de Pb y Zn en Rubiais. Desde mediados de los años ochenta del siglo pasado el sector de la minería metálica está pasando una época mala, pero en el mundo minero se comprende que las minas se abren y se cierran según suben y bajan los precios o la demanda de los metales y minerales en el mercado internacional. Desde entonces la situación no ha mejorado mucho; al contrario, desde la caída de la Unión Soviética y la apertura de la República Popular de China, estas grandes regiones ricas en recursos minerales y metales están compitiendo con sus bajos precios.

Pero la situación puede cambiar otra vez. Por nuevas aplicaciones de metales raros —como, por ejemplo, del tántalo—, la demanda puede subir, la situación de abastecimiento agravarse y el precio aumentar haciendo rentables antiguas explotaciones. Galicia tiene cierto potencial de yacimientos de sulfuros de varios metales asociados a las unidades básicas y ultrabásicas, incluso metales de aplicación moderna, como los platinoides. La Zanja Blastomilonítica es una zona muy milonitizada que abrió el camino a fluidos ricos en oro. ¿Quién puede negar con toda seguridad que no se encuentra ahí una mina de oro escondida, dormida como las del río Narcea en Asturias? A lo largo de la misma zona tan tectonizada que se extiende desde Malpica a Tui llaman la atención los indicios de minerales ricos en tierras raras, que son imprescindibles para los materiales nuevos que se aplican en las tecnologías avanzadas.

Durante las últimas décadas España —y Galicia— ha vivido un considerable crecimiento del sector de la construcción, lo que beneficia la extracción de materiales del subsuelo gallego para el uso como áridos, piedras naturales, materias primas para la fabricación de cemento y hormigón. Es destacable, y por eso satisfactorio, que las materias naturales —como el granito, la pizarra, las piedras naturales en general...— vuelvan a experimentar cierto auge como material de construcción. Al aumento de la población mundial y el desarrollo de las economías está ligada también la demanda para materias de construcción a escala internacional. Por los costes de transporte, sólo los materiales nobles, finos y preciosos de cierto valor pueden competir en los mercados internacionales. Galicia cuenta con grandes reservas y variedades comerciales, y de buena calidad, de material granítico y pizarras para tejar. Pero grandes reservas y variedades únicas en el mundo no bastan para poder competir hoy en día: hace falta también modernizar y optimizar las explotaciones, las plantas de tratamiento y embalaje, la infraestructura y los medios logísticos, como también el transporte y la comunicación.

Galicia tiene grandes reservas de minerales industriales (por ejemplo: cuarzo, feldespatos, silicatos aluminosos, magnesita, calcita, caolinita, grafito, granates, etc.). En los últimos años se ha observado un aumento en los requerimientos de calidad y reducción de tamaños de las materias. Ya se está hablando del gran futuro de los materiales con granulometría en el rango de los nanómetros (1 nm = 0'001 micra = 0'000001 mm = 10^{-9} m); por ejemplo, para aplicarlos en el gran campo del tratamiento de superficies para la mejora y el perfeccionamiento de las propiedades de los diversos materiales, como cerámicas, vidrios, metales y plásticos. Lo que significa que se atribuye cada vez más importancia a la preparación y al refinamiento de las materias primas. Para alcanzar las nuevas y futuras especificaciones, hay que invertir en la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías de tratamiento de minerales y de su control de calidad. Eso quiere decir que también la extracción de pequeños volúmenes o materias primas de bajo precio puede ser rentable por el valor añadido por "ennoblecimiento" del material extraído. Otro aspecto favorable es que la fabricación de productos muy especializados, los denominados productos "de nicho", tiene un potencial de gran rendimiento.

Un ejemplo es la industria de cerámica refractaria. Hasta los años ochenta del siglo XX España fue un país tradicionalmente importador de materiales. Pero la puesta en marcha de nuevas instalaciones, la mejora de la calidad y el descenso de los consumos siderúrgicos han permitido invertir la tendencia. En la actualidad España se ha colocado como quinto país europeo productor de refractarios. En Galicia el sector de las industrias cerámicas que elabora productos refractarios está muy avanzado por la excelente calidad y abundancia de las arcillas refractarias. Por la gran abundancia de intrusiones graníticas en Galicia, existen numerosas zonas que han sufrido un metamorfismo de contacto, provocando la formación de andalucita. La explotación de este mineral refractario podría verse potenciada.

En las explotaciones gallegas actuales los recursos de lignitos se están terminando. Quedan todavía las

reservas de la Cuenca Terciaria de Xinzo de Limia. Como fuentes alternativas para la producción de energía eléctrica, se han utilizado tradicionalmente la fuerza hidráulica y recientemente la energía eólica. Otro potencial para la generación de energía se encuentra en las aguas termales; por supuesto, no a la misma escala que en Islandia o Nueva Zelanda, pero en las zonas de manantiales termales la energía térmica se podría aprovechar localmente para la generación de energía eléctrica.

En Galicia los yacimientos de los minerales aprovechables no son de grandes volúmenes, salvo algunas excepciones, lo que da una gran oportunidad empresaria a la minería pequeña, familiar y manejable, apoyada no sólo en instituciones regionales y nacionales, sino también por medios de recursos europeos. Cuando se evalúa el aprovechamiento minero de minerales y metales, sea donde sea, la discusión aborda sin falta el impacto medioambiental que produce la extracción de materiales. No cabe duda de que el aspecto y la sensibilidad ecológica tienen que ser parte indispensable de cualquier actividad minera moderna. Sin embargo, pueden existir restricciones muy rígidas aprobadas por malas experiencias en el pasado. En algunos casos conviene revisar si todavía corresponden a la actualidad y necesidades futuras, porque se debe diferenciar bien entre el impacto estético en el paisaje, la amenaza a la flora y fauna y los riesgos para la salud, con máxima prioridad.

Hay que tener en cuenta que no hay prosperidad sin satisfacer la demanda de materias primas que entran en todos los productos que nos rodean, desde la pasta de dientes, las tazas y platos para tomar el desayuno, el coche, el tranvía, el tren que nos lleva al trabajo, la ventana en la oficina que nos protege del calor o frío pero nos deja disfrutar de la vista del sol fuera, el chocolate, el cigarrillo (su blanquísimo papel lleva caolinita, titanio, etc.), el papel que sale sin parar de la impresora, el móvil cada vez más pequeño para llamar a los seres queridos, el televisor o el buen libro en casa, el jabón en el cuarto de baño, el agua limpia tratada que sale continuamente del grifo, el propio grifo cromado y muchos más. Todos estos objetos contienen sustancias minerales, elementos o metales extraídos de minerales y menas. Por supuesto, hoy en día el reciclaje de materiales usados ha llegado a un muy alto nivel; pero eso no puede sustituir la necesidad de extraer nuevas materias primas. Además, los procesos de reciclaje consumen mucha energía, que tiene que generarse de alguna forma. Con un buen plan de recultivo y repoblación, las antiestéticas excavaciones mineras, similares a la caries, se pueden reintegrar en el entorno natural y la amenaza a la flora y fauna se puede evitar o minimizar.

Se desea que, con esta descripción de los minerales de Galicia, se pueda vivir con más intensidad la riqueza natural, disfrutar y sentir más la belleza y comprender mejor los diversos usos de los minerales que nos rodean. En nuestro mundo altamente tecnológico todos dependemos de ellos.

SENSIBILIDAD ECOLÓGICA

En nuestro mundo altamente tecnológico todos dependemos de los minerales, que forman parte de los productos más cotidianos (pasta de dientes, vajilla, medios de transporte, materiales de construcción, refrescos, electrodomésticos, etc.). Esa necesidad debe combinarse con la sensibilidad ecológica para evitar amenazar a la flora y la fauna, además de minimizar el impacto estético

Serra do Courel. Lugo.