



Yacimientos Minerales

BLOQUE I. CONCEPTOS GENERALES



Gema Fernández Maroto

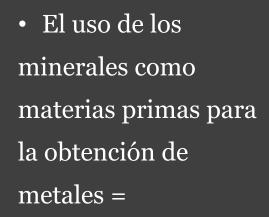
Departamento de Ciencias de la Tierra Y Física de La Materia Condensada

Este material se publica con licencia: Creative Commons BY-NC-SA 4.0









ENORME
IMPORTANCIA EN
NUESTRA
SOCIEDAD.









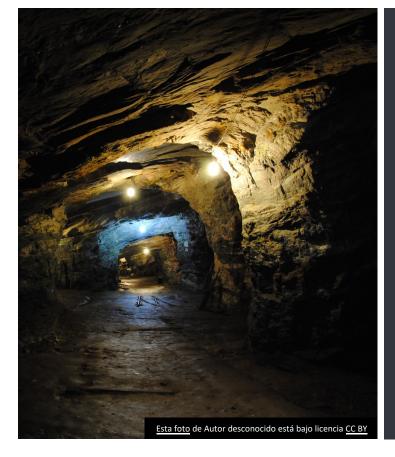
0



YACIMIENTOS MINERALES







La mayoría de los metales que nos rodean proceden directa o indirectamente de las minas.

Materias primas minerales:

- Metálicas
- No metálicas
- Energéticas







YACIMIENTOS MINERALES

Desarrollo tecnológico de la humanidad

- Prehistoria
 - Edad de Piedra
 - Edad del Bronce
 - Edad del Hierro











Recursos renovables: Son aquellos materiales, utilizados por el hombre, que se reponen a medida que se destruyen, tal es el caso de la madera, los alimentos o energías como la eólica, de las mareas etc. que, con un consumo equilibrado, se reponen a medida que se consumen y, pueden considerarse inagotables. La conservación de los recursos renovables viene determinada por su capacidad de regeneración por procesos biológicos.

Recursos no renovables: Materias primas utilizadas por el hombre que en el ciclo de su vida no pueden utilizarse más que una vez, agotándose sus reservas con el consumo. Tal es el caso de los minerales metálicos o los combustibles fósiles.



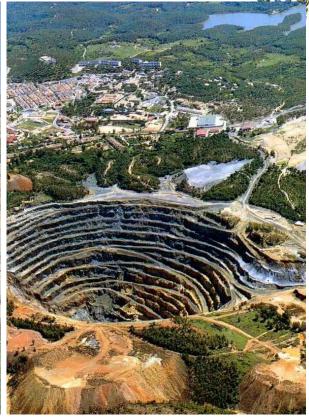


RECURSOS RENOVABLES







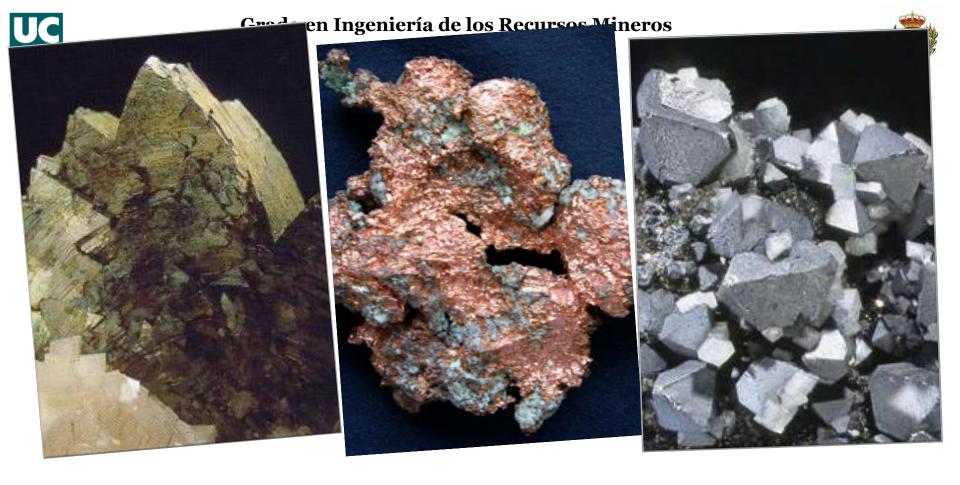


RECURSOS NO RENOVABLES

Agotamiento del recurso.



RENOVACIÓN DE LOS RECURSOS NO RENOVABLES: Prospección Minera

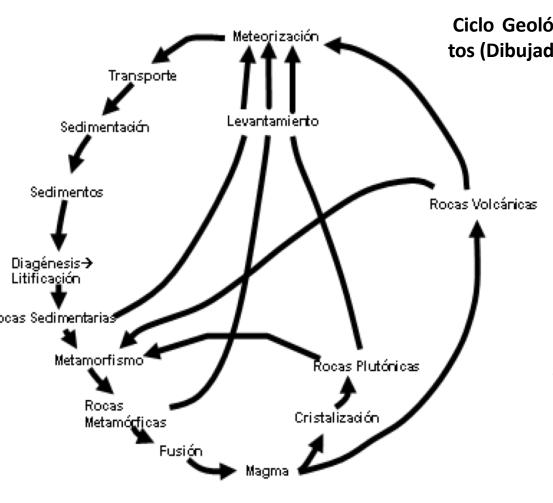


RECURSOS NO RENOVABLES: Minerales Metálicos





EL CICLO GEOLÓGICO Y LA GÉNESIS DE YACIMIENTOS



Ciclo Geológico en la formación de yacimientos (Dibujado a partir de Monroe et al., 2008).

En el ciclo geológico, adaptado a la génesis de yacimientos, los materiales primarios vienen directamente del manto por medio de diversos procesos geológicos, forman nuevos yacimientos, los cuales son de nuevo elevados a la superficie terrestre, erosionados, transportados redepositados, cerrando el ciclo geológico.





GEOLOGÍA ECONÓMICA: rama de la Geología que estudia la aplicación de la Geología con beneficio económico en las distintas especialidades de la misma.



Estudio de los Yacimientos Minerales: criterios económicos (explotación comercial y beneficio económico).





Laboreo de Minas



Mineralurgia



Geología Minera: estudia los Yacimientos Minerales desde su génesis hasta su exploración, explotación y aprovechamiento. **Mineralogía**

Estratigrafía

₹Geofísica

→Geoquímica

Economía

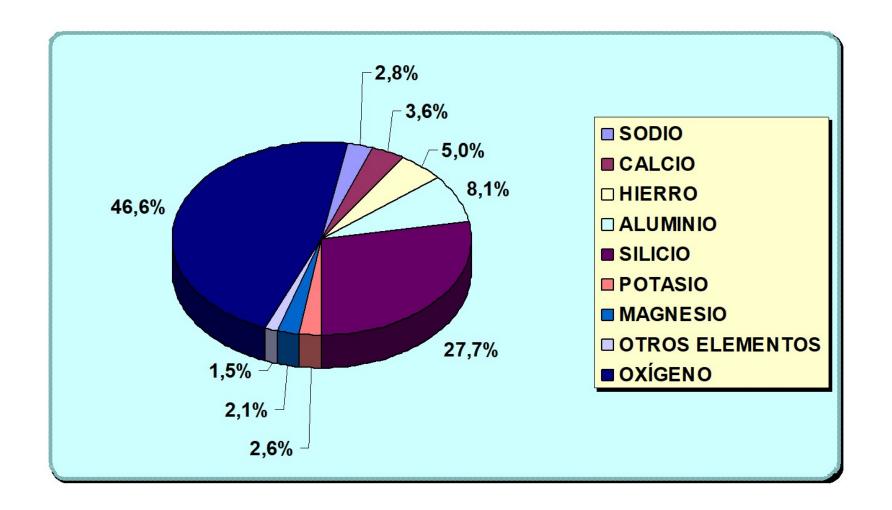
Mineralurgia

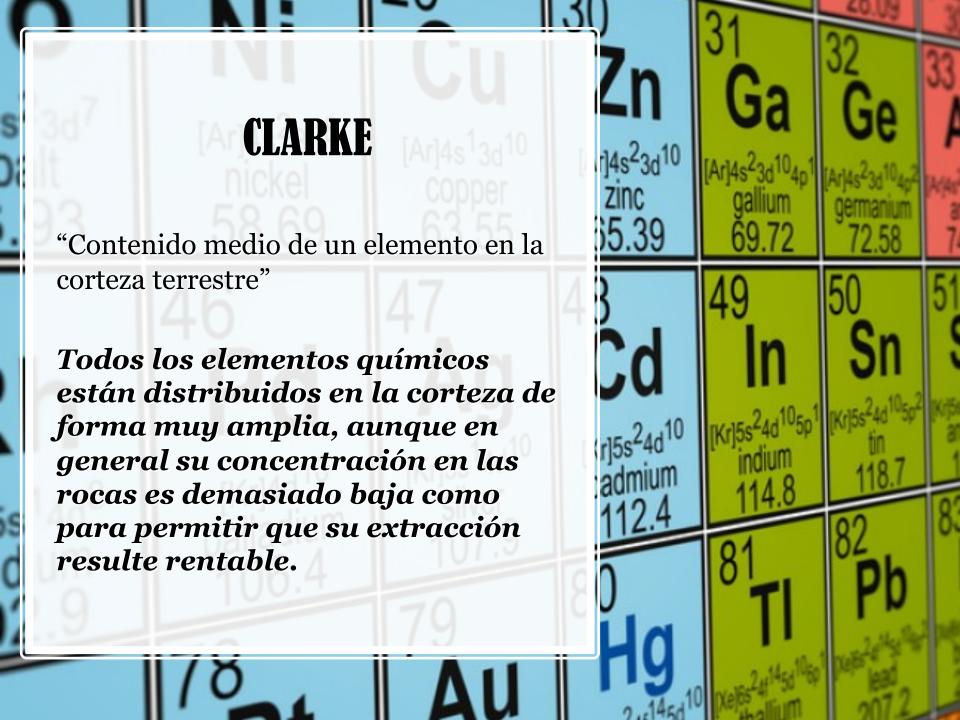
Ecología





Distribución de los elementos químicos en la corteza terrestre









Afinidades entre los elementos que componen la Tierra

- Los trabajos de Goldschmidt, basados en la observación de las distribuciones de elementos en meteoritos y en fusiones metalúrgicas, así como en el conocimiento de sus propiedades químicas, a la luz del sistema periódico, ha permitido clasificar los elementos de la Tierra en comparación con tres de ellos: el Fe que es el elemento más abundante sirve de comparación para los demás metales, lo mismo que el oxígeno O y el azufre S.
- Los demás elementos se denominan **siderófilos**, **calcófilos o litófilos**, según manifiesten más tendencia a asociarse con el Fe, con el S o con el O.
- Los elementos **enriquecidos en la atmósfera y en la biosfera** se denominan **atmófilos y biófilos**, respectivamente.





Afinidades entre los elementos que componen la Tierra

Los elementos químicos reaccionan entre sí de acuerdo con sus afinidades y siempre que las condiciones del medio lo permitan.

CLASIFICACIÓN DE GOLDSMICHTD:

- **SIDERÓFILOS**: Aquellos que tienen afinidad por **el hierro nativo**, con el que forman aleaciones. Tienen poca afinidad por el O y el S, dominan en el núcleo terrestre, y cuando se presentan en la superficie terrestre lo pueden hacer en forma nativa.
- CALCÓFILOS: Aquellos que tienen afinidad **por el azufre**, se encuentran como sulfuros en los depósitos minerales y, en menor, cantidad formando parte de muchos tipos de rocas. Pueden encontrarse también en el interior de la Tierra, en la parte profunda del manto o en el núcleo.
- LITÓFILOS: Aquellos que tienen gran afinidad por el Oxígeno, son frecuentes en los silicatos y predominan en la corteza y el manto.
- BIOFILOS: Elementos que intervienen en los compuestos orgánicos de la vida.
- ATMÓFILOS: Aquellos que se encuentran en **estado gaseoso** en las condiciones de presión y temperatura de la Tierra.





Factores

Algunos elementos tienen propiedades intermedias, y reaccionan con uno u otro elemento en orden a su concentración y a las condiciones del medio, pudiendo variar su afinidad si cambian dichas condiciones. Estas condiciones son **factores geoquímicos** que influyen notablemente en la formación de yacimientos minerales.

Otro factor importante es el "tiempo geológico". Dentro de un espacio de tiempo muy dilatado las condiciones físico-químicas se modifican y puede variar la constitución de los fluidos mineralizantes y las condiciones físico-químicas del medio.





MINERALES PRIMARIOS/ SECUNDARIOS

Los minerales que se forman en las condiciones iniciales se denominan "minerales primarios".

Si varían estas condiciones físico-químicas iniciales, los minerales pueden volverse inestables a las nuevas condiciones, cambiando de composición química, textura, etc., formando los que se denominan "minerales secundarios" que, incluso, contienen elementos distintos a los iniciales.





Clasificación Geoquímica de los elementos

SIDERÓFILOS	CALCÓFILOS	LITÓFILOS	ATMÓFILOS
Fe Co Ni Ru Rh Pd Re Os Ir Pt Au Mo Ge Sn C P (Pb) (As) (W)	Cu Ag (Au)* Zn Cd Hg Ga In Tl (Ge) (Sn) Pb As Sb Bi S Se Te (Fe) (Mo) (Re)	Li Na K Rb Cs Be Mg Ca Sr Ba B Al Sc Y Tierras raras (C) Si Ti Zr Hf Th (P) V Nb Ta O Cr W U (Fe) MnF Cl Br I(H)(Tl)Ga)(Ge)(N)	H N (C) (O) (F) (Cl) (Br) (I) Gases nobles

Clasificación geoquímica de los elementos según Goldschmidt(1954): entre paréntesis se indican los elementos cuyas propiedades les permiten asociarse en más de un grupo.



Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros

Ejemplos

- El **oro**, dominantemente siderófilo, puede aparecer también en el grupo calcófilo porque muchas veces se encuentra en filones de sulfuros.
- En condiciones físico-químicas idénticas, un elemento fuertemente litófilo como el Mn se oxidará, en contacto con el oxígeno, más rápidamente que el elemento Zn, y éste llegará a oxidarse sólo cuando quede oxígeno residual que hayan dejado todos los elementos que sean más litófilos que él.







Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros



Concentración mínima de elementos metálicos para constituir yacimientos

Elemento	Contenido promedio de la corteza	Ley promedio mín.explotable
Al	8%	30%
Fe	5%	25%
Cu	50ppm	0.4%
Ni	70ppm	0.5%
Zn	70ppm	4.0%
Mn	900ppm	35%
Sn	2ppm	0.5%
Cr	100ppm	30%
Pb	10ppb	4.0%
Au	4ppb	1g/t





Concentración mínima de elementos metálicos para constituir yacimientos

UN YACIMIENTO MINERAL REPRESENTA UNA ANOMALÍA GEOQUÍMICA DENTRO DE LA CORTEZA TERRESTRE





¿QUÉ ES UN YACIMIENTO MINERAL?

 Acumulación de uno o más **minerales** útiles (metálicos o no) en ciertos lugares de la corteza terrestre, de forma que los **elementos** en ellos contenidos puedan ser extraídos con beneficio económico



YACIMIENTO MINERAL/EXPLOTACIÓN MINERA

• La Mina de Cala, es un yacimiento de tipo "skarn", constituido principalmente por materiales calcosilicatados que se formaron por la interacción de fluidos hidrotermales de origen magmático y rocas carbonatadas. Explotada para hierro (magnetita) y cobre (calcopirita).



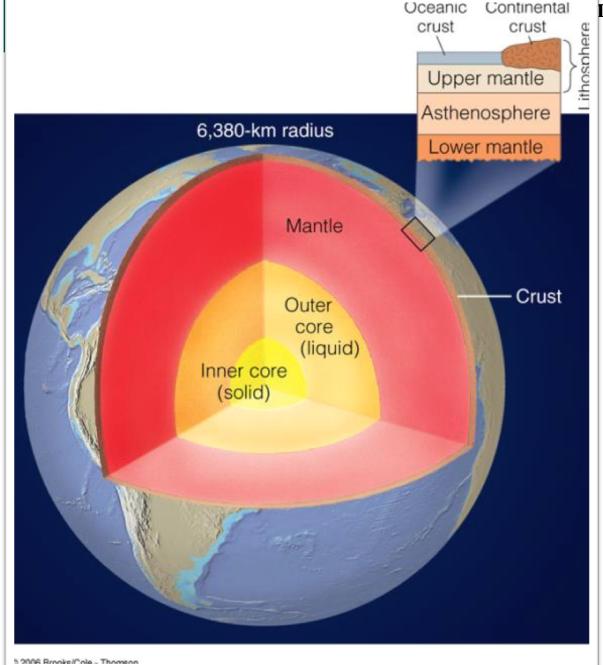
lineros



LA TIERRA

¿Por qué en ciertos puntos de la corteza terrestre tienen lugar estas raras acumulaciones de minerales llamadas Yacimientos Minerales?

Procesos geológicos muy localizados y raros en el tiempo: condicionados por la **Tectónica de Placas**









FACTOR DE ENRIQUECIMIENTO

 Porcentaje metálico de un yacimiento, en comparación con el contenido medio de este metal en la corteza terrestre

TIPOS DE FACTORES DE ENRIQUECIMIENTO:

- PRIMARIOS:
 - relacionados con la génesis del yacimiento→
 - PROCESOS MAGMÁTICOS
 - COMPOSICIÓN
 QUÍMICA DE LOS
 TERRENOS
 ATRAVESADOS

- **SECUNDARIOS**: Una vez formados los yacimientos, pueden sufrir enriquecimientos posteriores debido a causas relacionadas con fenómenos tectónicos, de disolución, meteorización y removilización.
 - **Internos**: min en grietas redisueltos
 - Externos: meteorización y erosión..
 - **Metamórficos**: removilización
 - **Tectónicos**: dinamometamorfismo





YACIMIENTOS MINERALES: Aflorantes/Ocultos



Hasta principios del siglo XX, la mayoría de las explotaciones mineras procedían de yacimientos aflorantes que eran reconocidos en el exterior debido a la existencia de la capa de oxidación de sus componentes.

Con el incremento de la tecnología, se pudieron explotar yacimientos cada vez más profundos y de menor ley.

Para la localización de yacimientos no aflorantes se aplican métodos de investigación minera.

Los métodos de investigación se fundamentan en las propiedades físicas y químicas de las mineralizaciones, que son adquiridas durante su formación.



Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros





Tamaño: cantidad de mineral

Tamaño de la explotación Tm anual Duración de la explotación





Composición del mineral: Mineralogía. El valor del mineral depende del tipo de metal que contiene. Aprovechamiento.



Ley media: cantidad de metal contenido en la mineralización.

Ley Minera: ley geológica + dilución.



Recuperación: procesos mineralúrgicos: cantidad de metal que contienen los concentrados: "metal pagable".



Explotabilidad: posibilidades de puesta en marcha de un yacimiento: tamaño, mineralogía, leyes, características geotécnicas de la mineralización y de los hastiales.



Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros





Profundidad de la mineralización:

Yacimientos aflorantes: explotación a cielo abierto.

Yacimientos profundos: explotación de interior.



Factores tecnológicos: los avances tecnológicos permiten explotar y tratar mineralizaciones de baja ley.



Inversiones: cuantiosas, factor que debe ser minimizado disminuyendo el riesgo con el estudio de costes y gastos de puesta en marcha.



Mercado: las transacciones de minerales se rigen por la ley de la oferta y la demanda. LME.



Situación geográfica: transporte planta mineralurgica-Fábrica

\$

Factores Socioeconómicos: estabilidad del país, inflación....



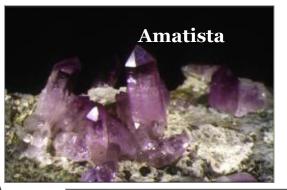


MINERAL/MINERALIZACIÓN

- La formación de concentraciones de minerales se debe a la reacción entre los elementos químicos existentes en los fluidos mineralizantes, cuando las condiciones físico-químicas son las adecuadas.
- Fluidos mineralizantes: aguas, magmas (líquidos, vapor)
- La composición de los fluidos mineralizantes depende, además de su origen, de las variables de P y T^a y de las rocas que atraviesan.

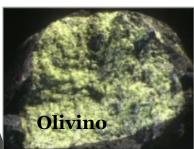
PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MINERALES: RECONOCIMIENTO DE MINERALES

- COLOR
- RAYA
- BRILLO
- DUREZA
- EXFOLIACIÓN
- FRACTURA
- FLUORESCENCIA
- ASPECTO









Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MINERALES:

INVESTIGACIÓN DE YACIMIENTOS, LABOREO Ó CONCENTRACIÓN MINERAL

- DENSIDAD
- MAGNETISMO
- CONDUCTIVIDAD
- HUMECTABILIDAD
- RADIACTIVIDAD
- SOLUBILIDAD







Magnetita



Autunita



Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros

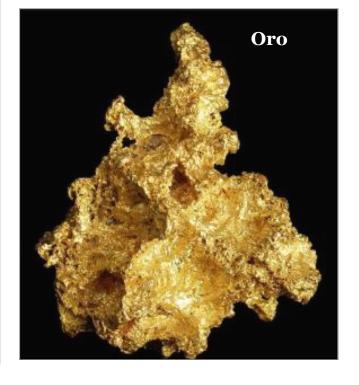
PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MINERALES:

INVESTIGACIÓN DE YACIMIENTOS, LABOREO Ó CONCENTRACIÓN MINERAL

- **MAGNETISMO:** prospección geofísica y separación de minerales.
- **CONDUCTIVIDAD:** capacidad que tiene un mineral de transmitir la corriente eléctrica. Métodos geoeléctricos

El oro es blando, muy pesado y el más dúctil y maleable de los metales. Es **buen conductor del calor y de la electricidad**, insoluble en los ácidos y sólo se disuelve en agua regia (mezcla de los ácidos nítrico y clorhídrico concentrados).







Grado en Ingeniería de los Recursos Mi<u>neros</u>

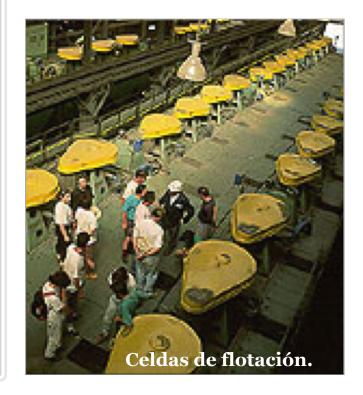
PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MINERALES:

INVESTIGACIÓN DE YACIMIENTOS, LABOREO ó CONCENTRACIÓN MINERAL

- **HUMECTABILIDAD:** comportamiento de un mineral respecto a la humedad ambiental.
- Minerales **Hidrófilos**
- Minerales Hidrófobos

La **flotación** es un proceso fisicoquímico de tres fases (sólido-líquido-gas) que tiene por objetivo la separación de especies minerales mediante la adhesión selectiva de partículas minerales a burbujas de aire.









PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MINERALES

- RADIACTIVIDAD: Al transformarse espontáneamente algunos isótopos pesados en isótopos de otros elementos más estables, emiten partículas alfa, beta y radiaciones gamma.
- Métodos radiactivos
- **SOLUBILIDAD:** propiedad que tienen algunos minerales de disolverse en grandes proporciones en un disolvente determinado (agua, ácidos, alcohol).









PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MINERALES

- **SOLUBILIDAD:** propiedad que tienen algunos minerales de disolverse en grandes proporciones en disolvente determinado (agua, ácidos, alcohol).
- **Metales**: son solubles en ácidos salvo los más nobles como el oro que lo son únicamente en el agua regia.
- **Halogenuros:** como los cloruros son solubles en agua con la excepción de los de plomo y plata.
- Sulfuros y Sulfosales: son solubles débilmente en ácido.
- Óxidos: son parcialmente solubles en los ácidos.
- **Carbonatos:** muchos de los carbonatos son fácilmente solubles en ácido.

eniería de los Recursos Mineros



Muchas de estas **propiedades** se adquieren en la formación de los minerales y se corresponden con las afinidades de los elementos en condiciones físico-químicas determinadas.



La alteración de estas condiciones implica un cambio de minerales y de sus propiedades.

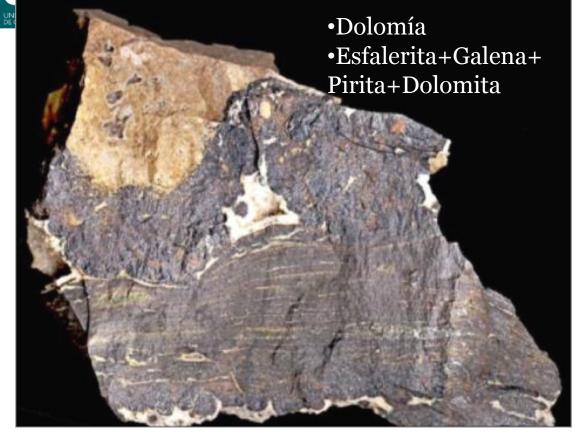


Los **minerales metálicos** son muy escasos en la corteza → acumulación debida a procesos geológicos complejos.



PARAGÉNESIS: asociaciones de minerales que se han originado por un mismo proceso geológico y que caracterizan a un tipo determinado de yacimiento.





La **mineralización** no es un bloque homogéneo, existen partes más **ricas** con otras **estériles** sin que se puedan separar directamente en la explotación

- MENA: toda
 sustancia mineral
 de la que se
 pueden extraer
 uno o más
 productos
 vendibles en el
 mercado, después
 de uno o varios
 procesos previos
 de preparación
- GANGA: estéril compuesto por minerales o rocas que acompañan a la mena, y no tienen valor económico.





CLASIFICACIÓN DE LAS MENAS:



•MENAS COMPLEJAS:

compuestas de dos ó más minerales difíciles de separar.

•MENAS SIMPLES: acumulaciones de un solo mineral.





•MENAS PRIMARIAS: originadas durante el período de metalización.

•MENAS SECUNDARIAS:

producto de alteración





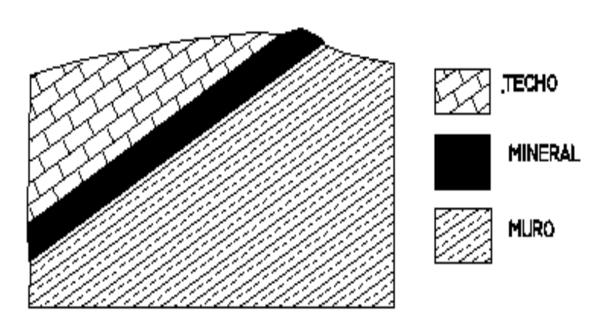
Rocas encajantes

• Los "yacimientos o depósitos minerales" son cuerpos irregulares formados por mena y ganga, situados entre rocas estériles. Estas rocas estériles en contacto con la mineralización constituyen las denominadas "rocas encajantes o hastiales" de los yacimientos. Las rocas encajantes pueden formarse al mismo tiempo que el yacimiento, yacimientos singenéticos, y en este caso son concordantes con la mineralización, con características parecidas, aunque de composición diferente (en el caso de yacimientos sedimentarios las rocas de la caja pueden ser distintas entre sí, areniscas y pizarras por ejemplo de una capa de carbón), mientras que en los yacimientos epigenéticos las rocas encajantes son anteriores a la mineralización y los hastiales pueden ser discordantes (los filones penetran en las rocas sin adaptarse a su estratificación) y no tener relación con la misma.





HASTIALES DE UNA MINERALIZACIÓN



Los hastiales de los yacimientos, o rocas encajantes, se denominan "muro" y "techo". El "muro" o "yacente" es el nombre que recibe el hastial inferior sobre el que se sitúa la mineralización, mientras que el "techo" es el contacto superior, teniendo en cuenta el buzamiento de la mineralización.



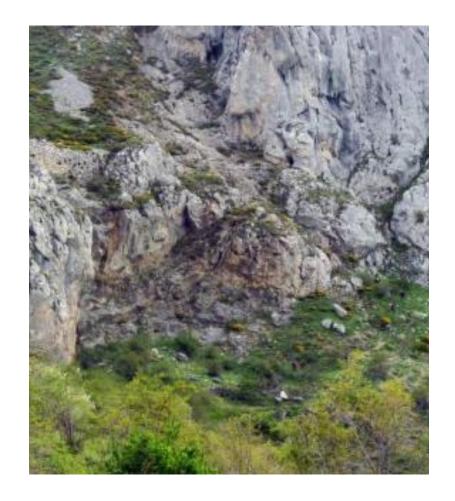


ALTERACIÓN DE LAS ROCAS ENCAJANTES

ORÍGENES

- HIPOGÉNICO: causada por soluciones hidrotermales ascendentes que reaccionan con los minerales de las rocas encajantes.
- SUPERGÉNICO:

 alteración debida al agua
 meteórica que reacciona con los minerales de las rocas encajantes.







CLASIFICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS MINERALES

 SEGÚN SU MORFOLOGÍA

 SEGÚN SU RELACIÓN CON LA ROCA ENCAJANTE

 SEGÚN LOS PROCESOS GEOLÓGICOS DE FORMACIÓN





SEGÚN SU MORFOLOGÍA



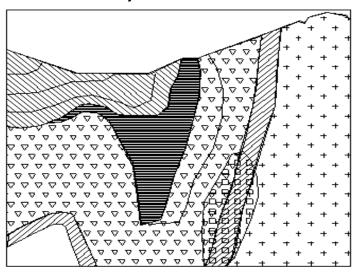




YACIMIENTOS MASIVOS

El término de yacimientos masivos no se corresponde directamente con una morfología. Se trata de concentraciones de mineral sin prácticamente ganga. El mineral suele utilizarse directamente sin tratamientos previos.

Modelo de yacimiento masivo. Masa San Dionisio en el yacimiento de Riotinto.



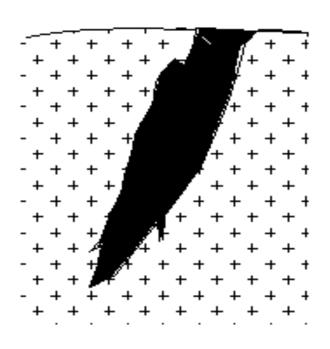


La génesis de los yacimientos masivos es variada, de origen sedimentario (óxidos de hierro, calizas), volcanogénico (pirita), metamórfico (mármoles). Su volumen y densidad (en los minerales metálicos) en relación con las rocas encajantes, los hace muy adecuados para la prospección geofísica (especialmente la gravimetría), si la topografía del terreno lo permite.





YACIMIENTOS LENTICULARES



La morfología lenticular es una de las más frecuentes en los yacimientos de minerales metálicos, sobre todo en los yacimientos masivos, bien sean sedimentarios o exhalativo-volcanogénicos, o filonianos. Se trata de depósitos que tienen forma lenticular, aproximadamente biconvexa, en ellos la extensión superficial es bastante mayor que la potencia.

Morfología lenticular influida:

- •Paleogeografía: relieve previo
- •Presiones tectónicas: materiales compactos
- •Procesos secundarios: erosión de yac. preexitentes

En Yacimientos de:

- Reemplazamiento de karts
- De sulfuros masivos
- De cromita en diabasas

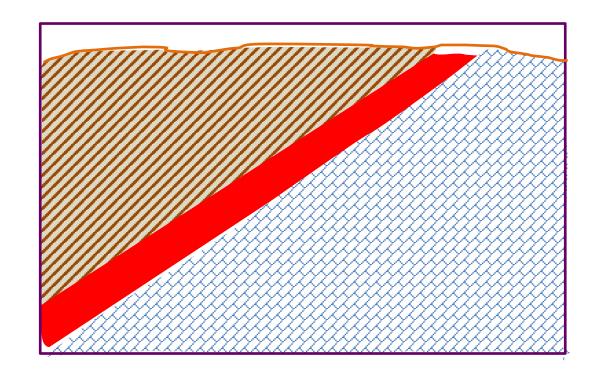




YACIMIENTOS TABULARES

Capa de carbón como ejemplo de un yacimiento tabular estratiforme

- Cuerpos de caras paralelas de poca potencia
- Yac.Sedimentarios.
- Filones hidrotermales

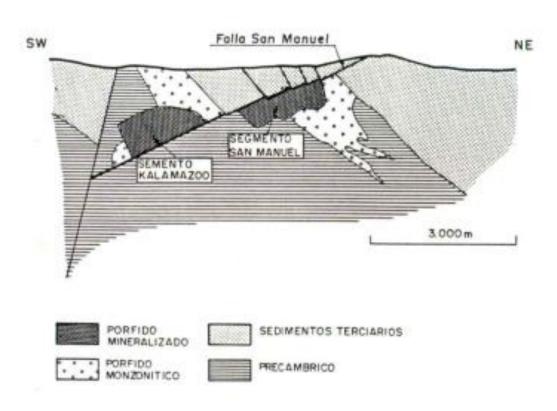






YACIMIENTOS IRREGULARES

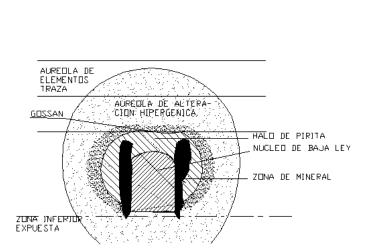
- Mineralizaciones sin control estructural, de forma irregular, denominados "yacimientos irregulares", porque su morfología no tiene formas geométricas definidas.
- Mineralizaciones ígneas de alta temperatura









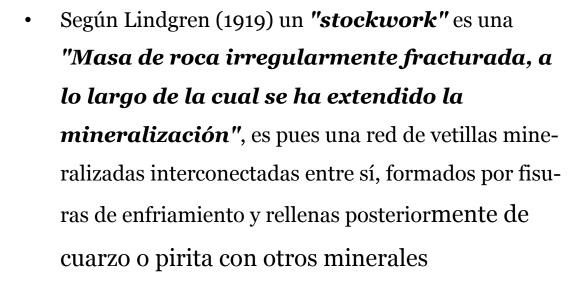


YACIMIENTOS DISEMINADOS

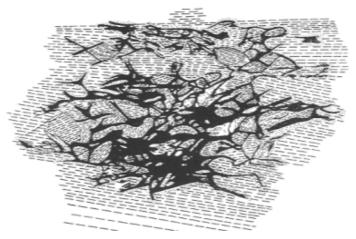
- Cristales aislados o microfisuras rellenas de mineral → mineralización difusa
- Se pasa del yacimiento a los hastiales
- Según el carácter de las diseminaciones, los yac. pueden ser de:
- 1) Diferenciación magmática: Cromita
- Pórfidos de metales base: granodiorita o cuarzomonzonita con minerales básicos, Cu, Mo, Sn, etc.. → producción mundial de Cu.
- 3) Sedimentarios: modernos/ antiguos → placeres de oro, estaño... Baja ley y fácil explotación. Laiswal, Witwatesrand.







- Cuerpos aislados o asociados con otros tipos de yacimientos.
- Producen minerales de Sn, Au, Ag, Cu, Mo, Co, Pb,
 Zn, Hg y asbestos.









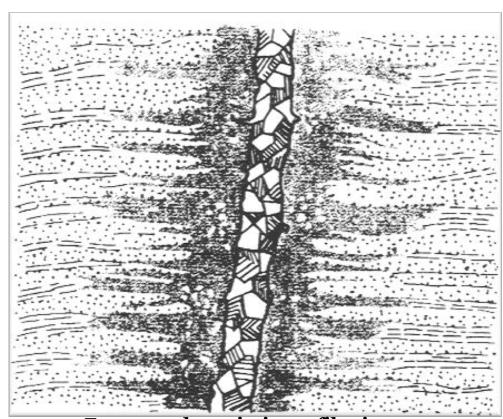
YACIMIENTOS ESTRATIFORMES Y ESTRATOLIGADOS

- Yacimiento estratiforme: mineralización con la misma forma de los estratos. Capas de carbón.
- Yacimiento estratoligado: mineralización adaptada a la estratificación de la roca pero su génesis no tiene relación directa con la formación de la roca.





- FILÓN: depósito epigenético mineral, irregularidad en su mineralización, de poco espesor, discordante...
- Se definen por el mineral principal que contienen



Esquema de yacimiento filoniano



XX

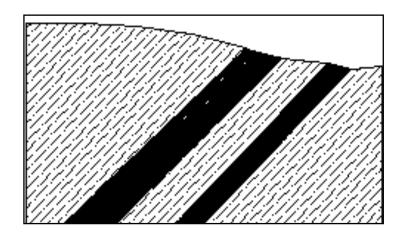
MORFOLOGÍA DE LOS YACIMIENTOS MINERALES

YACIMIENTOS FILONIANOS

Se dividen por su estructura en:

FILÓN CAPA: son intrusiones epigenéticas concordantes con la estratificación.

FILÓN BRECHA: los fluidos mineralizantes rellenan y cementan los espacios existentes entre los cantos y las grietas producidas por fallas.







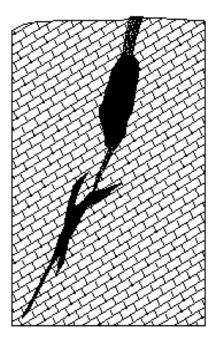
- Se dividen por su estructura en:
- FILÓN CAPA: son intrusiones epigenéticas concordantes con la estratificación.
- FILÓN BRECHA: los fluidos mineralizantes rellenan y cementan los espacios existentes entre los cantos y las grietas producidas por fallas.





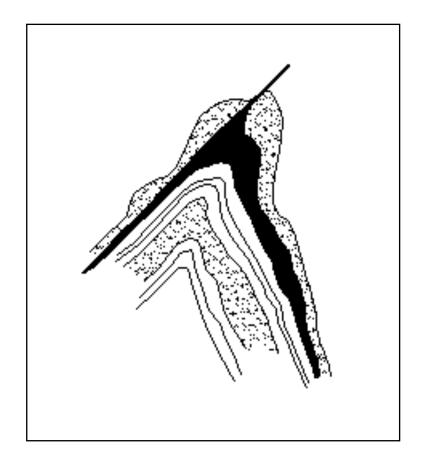
Se dividen por su estructura en:

FILONES EN ALABARDA: relleno de huecos de crestas anticlinales de un plegamiento.



FILONES DE FISURA:

depósito
mineral
epigenético,
tabular o
irregular que
ocupa fracturas
o fallas.

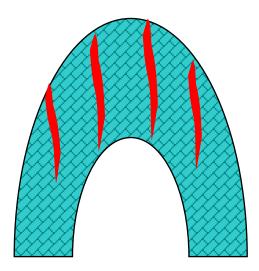


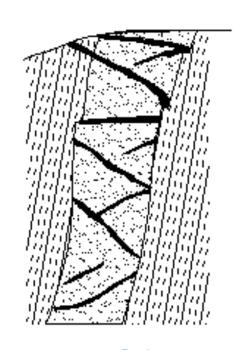




Se dividen por su estructura en:

VENAS ESCALONADAS: fracturas transversales cortas y espaciadas que se encuentran en los diques intrusivos.



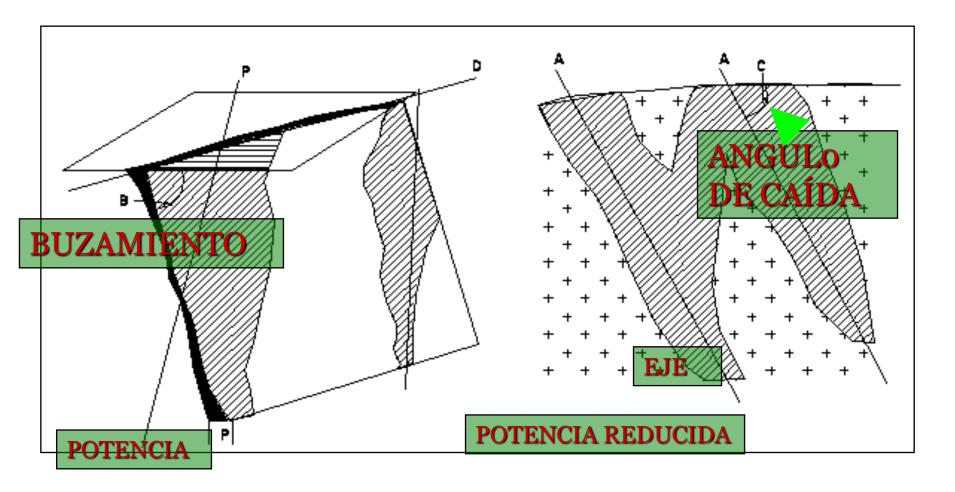


GRIETAS DE PLEGAMIENTO: producidas por fuerzas tectónicas. Poca extensión.





ELEMENTOS MORFOLÓGICOS DE UN FILÓN







SALBANDA

Capa generalmente arcillosa que separa el filón de la roca estéril



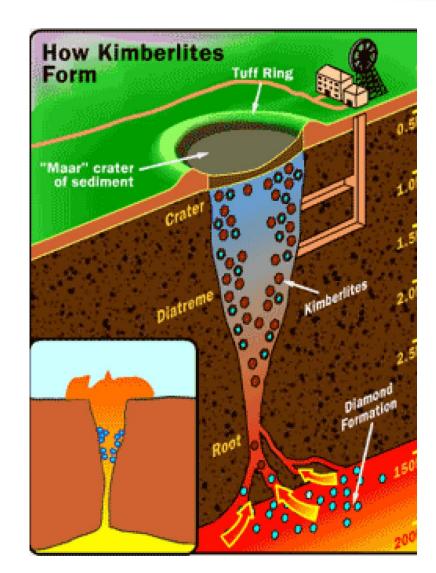




CHIMENEAS Y PIPAS

Mineralizaciones de forma cilíndrica, verticales o subverticales, con génesis diversa:

- 1.- Pipas de remplazamiento: metasomatismo en calizas con formas de conos.
- **2.- Pipas en stockwork:** zonas fracturadas con formas más o menos cilíndrica y subvertical
- 3.- Pipas de colapso: desmoronamiento de rocas, rellano posterior de mineral.
- 4.- Pipas de explosión: formadas por la explosión de los gases ascendentes debido a las altas presiones que rompen violentamente la corteza superficial.



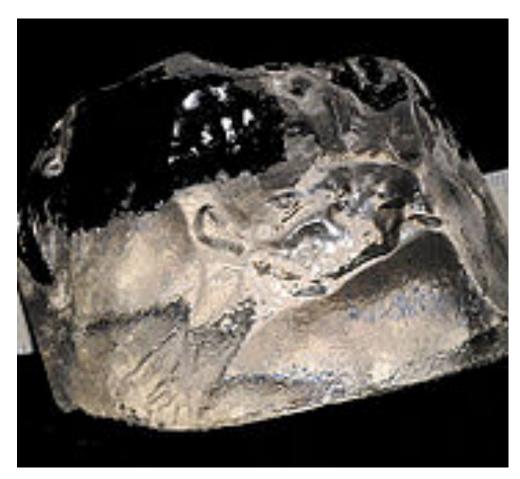




El Diamante Cullinan

El diamante más grande jamás descubierto fue bautizado como Cullinan. Encontrado en Sudáfrica en 1905, tenía un peso de 3106 quilates y una longitud de alrededor de 10.5 centímetros.

El Cullinan fue llevado a Inglaterra y en ese país y bajo la propiedad de la familia real fue cortado en nueve piezas, pasando a formar parte de las joyas de la corona.





Los nueve pedazos mayores tras la rotura.





CLASIFICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS MINERALES

YACIMIENTO SINGENÉTICO: la mineralización es contemporánea y se forma por procesos semejantes a los de las rocas encajantes.





Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros

YACIMIENTO EPIGENÉTICO:

cuerpos intrusivos y filones hidrotermales.





Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros



MORFOLOGÍA	GÉNESIS	MINERALOGÍA	TAMAÑO	EJEMPLOS
Masivos	Metamórficos Sedimentarios Volcanogénicos Magmáticos	Pirita Hierro sedimentario	Grande a muy grande	Riotinto Kiruna
Diseminados	Porfídicos Hidrotermales Sedimentarios	Co, Mo, Cu, Sn.	Muy grande	Chuquicamata Endako Laisvall
Stockworks	Hidrotermales Volcanogénicos Metamórficos	Metales base Refractarios	Grande Muy grande	Altenberg Victoria
Estratiformes Estratoligado	Sedimentarios Mississippi Hidrotermales	Carbón Hierro sedimentario Metales base	Medio Grande Muy grande	Asturias Itabirit Reocín
Lenticular	Volcanogénicos Hidrotermales Intrusivos	Pirita Metales base	Pequeño-Grande Muy grande	Neves Corvo Veta Madre
Tabulares	Hidrotermales Intrusivos Sedimentarios	Metales base Cr, Ni, Fe	Todos los tamaños	
Filonianos	Intrusivos Hidrotermales	Todos los metales base	Pequeños Muy pequeños	
Pipas y Chimeneas	Explosiones Karst	Diamantes Bauxitas	Pequeños	Kimberley Grecia

Tabla 2.- Tipos morfológicos simples de yacimientos minerales, relacionados con sus posibles génesis, mineralogía y tamaño.





FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA FORMACIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES







Factores que intervienen en la formación de Yacimientos Minerales

- **PRIMARIOS**: mineralizaciones que se forman directamente de los procesos genéticos primarios.
- SECUNDARIOS: actúan sobre los minerales ya formados. Las condiciones físico-químicas en superficie afectan a minerales inestables a esas nuevas condiciones, originando nuevos yacimientos minerales por procesos de oxidación, disolución y alteración de minerales y rocas encajantes





Factores que intervienen en la formación de Yacimientos Minerales

- **PRESIÓN:** tiene influencia en el equilibrio termodinámico del sistema, en el desarrollo y hábito de los cristales. Una disminución de P favorece la precipitación de minerales.
- TEMPERATURA: los minerales fundidos en un magma cristalizan a medida que alcanzan su punto de fusión. El aumento de T^a aumenta la solubilidad de las sales minerales y disminuye el punto de precipitación. Una disminución de la T^a provoca la precipitación de los compuestos solubles.





Formación de Yacimientos Minerales

La formación de Yacimientos Minerales se basa en dos principios:

> EXISTENCIA DE FLUIDOS MINERALIZANTES

> > EXISTENCIA DE HUECOS DONDE DEPOSITARSE

Los fluidos procedentes del interior de la Tierra ascienden a través de conductos preexistentes y se **depositan en huecos creados por ellos mismos o formados anteriormente**



Los yacimientos originados por relleno de cavidades, implican dos procesos distintos:

- · Formación de las aberturas
- · Deposición de los minerales

Proceso de relleno de cavidades

Ambos procesos pueden ser **simultáneos ó independientes** (apertura y relleno) separados por considerable espacio de tiempo.

Pueden repetirse varias veces, en distintas épocas, con soluciones semejantes o diferentes.

Las cavidades provocadas pueden ser **fisuras, fallas o brechas**.







Brechas volcánicas

Relleno de Brechas

Las brechas, son cavidades de disolución o de explosión que contienen cantos.

Brechas de hundimiento

Brechas tectónicas

La caótica disposición de los fragmentos angulosos que conforman las brechas da origen a numerosos huecos que permiten la entrada, paso y deposición de las soluciones mineralizadoras:

Relleno de Brechas.





Rellenos de espacios porosos y vesiculares

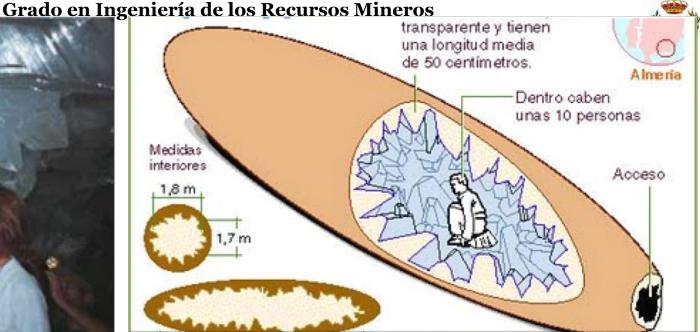
Los espacios porosos de las rocas son conductos muy estrechos, situados al azar, por los cuales circulan muy lentamente los fluidos cargados de iones depositando los minerales metálicos o no. **Porosidad/Permeabilidad**

La velocidad de los fluidos a su paso por los espacios porosos depende del gradiente de presión y del tamaño de los poros y fisuras.

Cuando en un yacimiento la mineralización rellena los poros de la roca encajante, huecos fisurales, espacios intergranulares o intercristalinos, se denomina "yacimiento de impregnación".







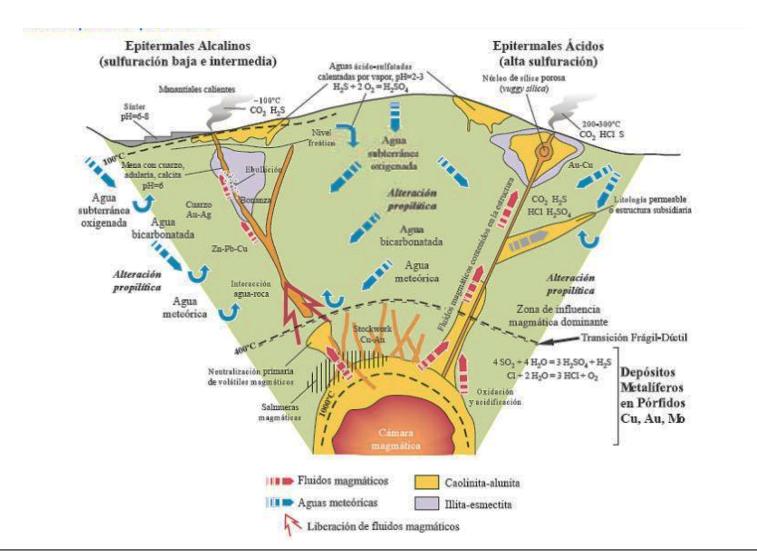


Pilar de Jaravía, Pulpí (Almería). Geoda gigante de yeso.





FLUIDOS FORMADORES DE YACIMIENTOS MINERALES









Fluidos formadores de Yacimientos Minerales

Los **Fluidos** en la formación de yacimientos minerales actúan como:

- Agentes de movilización
- Transporte de todo tipo de sustancias
- Precipitación de dichas sustancias

Esto ocurre aún cuando los fluidos se encuentran sometidos a condiciones físico-químicas muy diversas y cambiantes.

Los diferentes fluidos naturales (incluidos los magmas) actúan bien como solventes, bien acarreando el material mediante tracción.





Los fluidos son el principal agente formador de Yacimientos Minerales (principalmente acuosos)ya que :

Fluidos formadores de Yacimientos Minerales

- 1. Capacidad de transporte
- 2. Capacidad de reaccionar con las sustancias más diversas por medio de los aniones o grupo aniónicos que transportan (Complejantes), pueden formar complejos en solución de todo tipo de metales.

Hay una gran variedad de especies aniónicas complejantes en la corteza para el transporte de metales. Las más efectivas para la formación de yacimientos son las especies conformadas por S y Cl.





Fluidos formadores de Yacimientos Minerales

- Las soluciones mineralizantes son entidades cambiantes en el tiempo:
 - Debido a reacciones químicas que implican disolución o precipitación con las rocas a través de las que circulan.
 - Debido a condiciones físicas de estabilidad de los complejos químicos para el transporte de metales en solución.

Los **mismos metales** pueden ser transportados por **diferentes especies complejantes** antes de ser depositados.





Fluidos formadores de Yacimientos Minerales

- Las soluciones mineralizantes pueden entrar en contacto con otras soluciones y mezclarse con ellas, lo que constituye otro de los factores de cambio de composición química de los fluidos.
- La **presencia de complejantes** es decisiva en la **movilización de metales en solución acuosa** y su transporte hasta ambientes geológicos propios para la precipitación mineral.
- No siempre está claro de dónde provienen tanto los complejantes como los metales.

S y Cl





FORMACIÓN DE UN YACIMIENTO MINERAL

Para la **formación de un yacimiento** mineral se requiere:

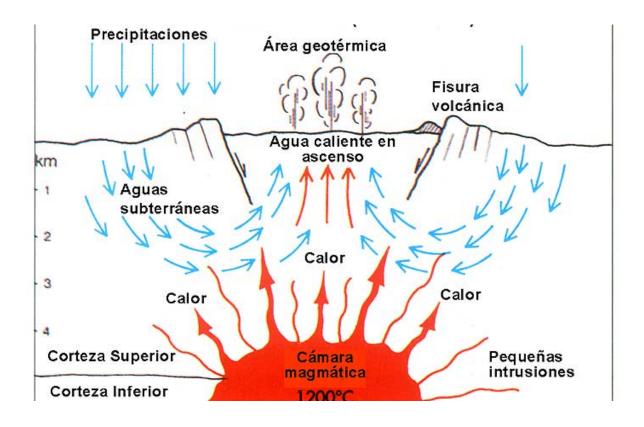
- Espacios
- Fluidos mineralizantes que transporten los iones:
 - Origen y composición
 - Migración
 - Procesos de deposición
- Roca encajante
- Tiempo





Fluidos Hidrotermales

Agua en estado líquido, gaseoso o hipercrítico más elementos químicos que en condiciones f^o-q^{as} determinadas precipitarán formando concentraciones minerales









- FLUIDOS MAGMÁTICOS: o fluidos liberados por magmas en el proceso de cristalización. Potenciales formadores de yacimientos en función del tipo de magmas (ácidos, básicos o intermedios) de acuerdo con el contexto geotectónico en el que los magmas se formaron (intraplaca, arcos isla, arcos continentales, dorsales oceánicas...).
- Se trata de salmueras hidrotermales y de gases volcánicos a temperaturas relativamente elevadas.
- **Aguas juveniles** son las que provienen del manto y jamás han entrado con la hidrosfera.
- El fluido magmático tiene su origen en el magma pero puede tener mezcla de otros fluidos y aguas.





- FLUIDOS METAMÓRFICOS: o fluidos liberados como consecuencia de reacciones y procesos metamórficos, que pueden ser tan variados como las rocas metamórficas y sus condiciones de formación.
- **METEÓRICAS** AGUAS **SUPERFICIALES:** o "aguas de lluvia" aguas subterráneas, que interactuado relativamente poco con las rocas circundantes, suele ser aguas poco salinas o dulces y relativamente frías, pero pueden llegar profundidades considerables a través de fallas donde es probable que alcancen temperaturas elevadas y así transformarse **Soluciones** en Hidrotermales.





- AGUAS METEÓRICAS CIRCULACIÓN PROFUNDA: se trata de aguas meteóricas superficiales que han circulado a través de la corteza terrestre en profundidad o por fracturas cuencas sedimentarias, con tiempos de residencia prolongados y que, por tanto, han adquirido ciertas características químicas derivadas de la interacción con las rocas. Su salinidad y temperatura pueden ser muy variables.
- AGUAS CONNATAS: aguas atrapadas en los sedimentos.





- FLUIDOS DIAGENÉTICOS: derivados de los procesos y reacciones que se dan en la diagénesis. Se trata de un fluido intermedio entre aguas de cuenca o connatas y fluidos metamórficos, también con características físicoquímicas intermedias.
- AGUA MARINA u OCEÁNICA:
 rellena los diversos mares y océanos
 terrestres; de baja temperatura,
 pero variable junto con la salinidad
 en función de la profundidad y la
 presencia o ausencia de corrientes
 marinas.





AGUAS FORMADORAS DE YACIMIENTOS MINERALES

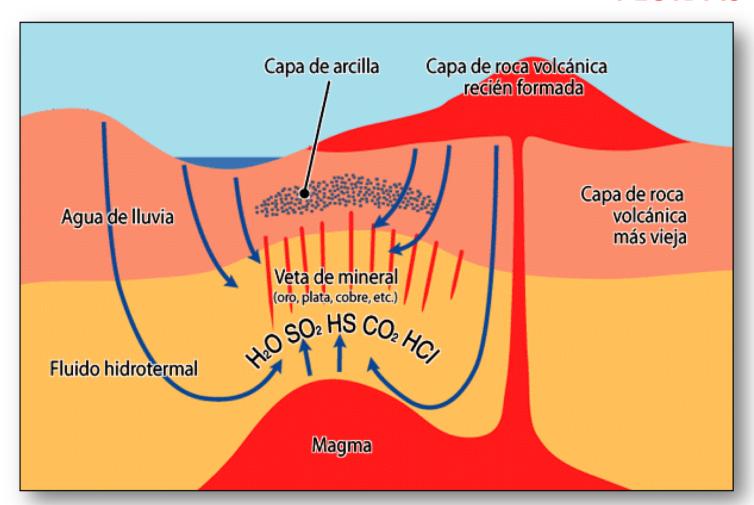
- Antiguamente se creía que todos los fluidos líquidos formadores de minerales estaban constituidos esencialmente por aguas por aguas procedentes del magma, las denominadas "aguas juveniles".
- Estudios recientes: < 10% de los yac. están formados por aguas magmáticas. Importancia de las aguas meteóricas.
- El agua formadora de yacimientos minerales no tiene un origen único.
- La causa principal del origen de yacimientos hidrotermales es la **circulación convectiva** de aguas subterráneas, superficiales y profundas.





CORRIENTES DE CONVECCIÓN

INCLUSIONESFLUIDAS

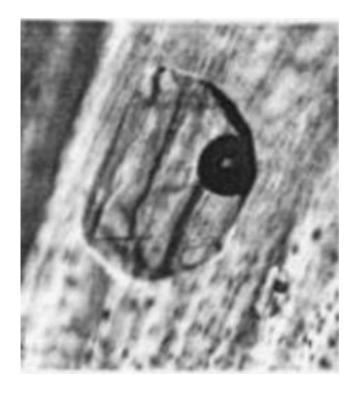




Inclusiones Fluidas

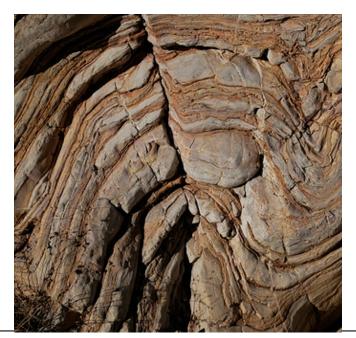
- El crecimiento de cristales a partir de un fluido hidrotermal puede llegar a atrapar gases o líquidos dentro de imperfecciones de la estructura cristalina, al formarse cavidades que se cierran y quedan selladas a medida que el cristal sigue creciendo.
- Las inclusiones fluidas ocupan cavidades microscópicas que quedan dentro de minerales depositados a partir de una solución hidrotermal.
- Las inclusiones fluidas acuosas: soluciones muy diluidas cloruradas.









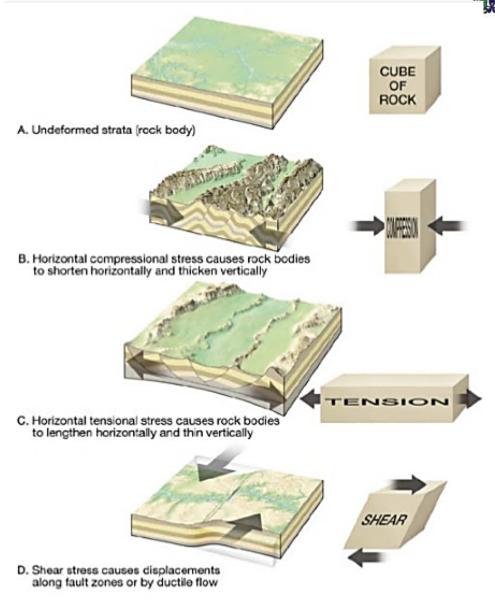


ESTRUCTURAS TECTÓNICAS **QUE AFECTAN A LOS YACIMIENTOS**



XX

ESTRUCTURAS TECTÓNICAS





- · Las estructuras tectónicas pueden ser anteriores o posteriores a la génesis de los yacimientos.
- Las **estructuras anteriores** condicionan el depósito del yacimiento, bien como conductos de circulación de fluidos mineralizantes o como relleno de cavidades.



Grado en Ingeniería de

Estructuras tectónicas que afectan a los Yacimientos Minerales

- Los efectos de las estructuras posteriores pueden ser:
 - Plegamiento: la mineralización se adapta a las estructuras creadas por los esfuerzos tectónicos cuando el mineral es aún plástico, con adelgazamientos y engrosamientos.
 - **Fracturas**: si el yacimiento se comporta como un cuerpo rígido, los esfuerzos tectónicos generarán fracturas que afectan al depósito produciendo un mineral brechoide o nuevos conductos.
 - **Fallas**: si se produce desplazamiento dentro del cuerpo mineralizado, produciendo una terminación brusca de la mineralización.







Esfuerzos Diferenciales

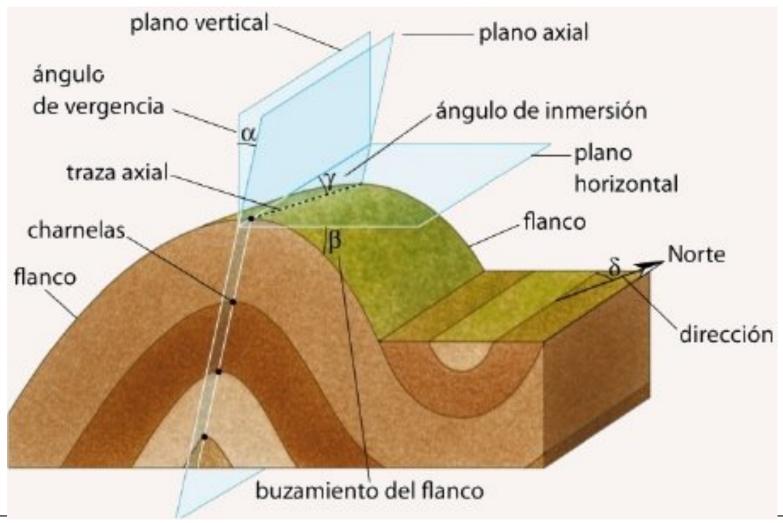
PLIEGUES: acortamiento y engrosamiento de la Corteza que bien puede originar ondulaciones aisladas o agrupaciones de ondulaciones denominadas TREN DE PLIEGUES.





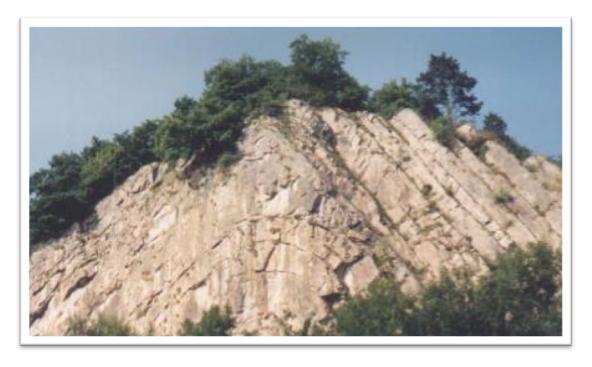


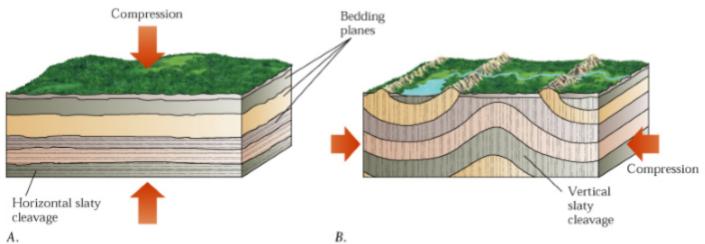
Partes de un pliegue























Pliegues que afectan a la mineralización



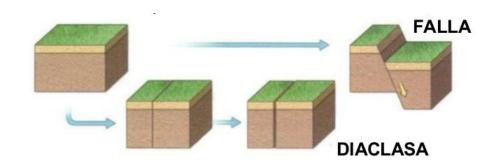
Tramo de sulfuros (pirrotina) plegado y afectado por recristalización y migración de la pirrotina hacia el plano axial. L'Alforja, Cataluña.

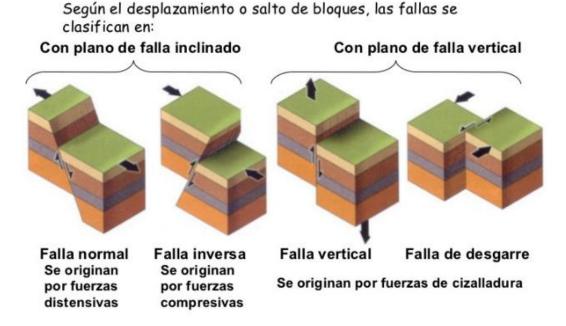




Deformación por fractura: diaclasas y

fallas









Relación de las fallas con la mineralización

- Preminerales: formadas con anterioridad a la mineralización, son los conductos por los que circulan los fluidos mineralizantes.
- Postminerales: afectan a los yacimientos plegándolos o fracturándolos con desplazamiento del mineral.









MINA
PANASQUEIRA
(Barranco
Grande,
Portugal). 2°
Nivel. La
tectónica afecta
al filón de
cuarzo.