

TALLER DE PETROLOGÍA: ENSEÑANZA DE LA PETROLOGÍA CON EL MICROSCOPIO PETROGRÁFICO

Workshop of Petrology: Teaching Petrology with the petrographic microscope

María Piedad Franco y Juan Carlos Gonzalo (*)

RESUMEN:

Las rocas son masas o agregados de uno o varios tipos de minerales o materia orgánica, que se han formado como resultado de la actuación de uno o varios procesos geológicos. Todos los datos necesarios para conocer su origen y evolución, cómo se han formado y las transformaciones que han sufrido hasta que las vemos actualmente, están en la propia roca, en su composición química y mineralógica y en su geometría, tanto interna (textura y estructura) como externa. La descripción, clasificación y nomenclatura de los distintos tipos de rocas requiere, para hacerlo de manera precisa y rigurosa, utilizar criterios texturales y/o composicionales que sólo son observables al microscopio, sin desestimar aquellos aspectos que puedan observarse a simple vista o con la ayuda de una lupa, y que son de gran utilidad para el estudio previo de las rocas en el campo.

ABSTRACT:

Both one or several minerals and/or organic matter constitute the rocks. The geologic processes that contribute in the formation of rocks are different. The aim of this workshop is to show the data recorded in the rocks as they are necessary to know its origin and evolution. Description, classification and nomenclature of rocks will be also treated through the textural and compositional criteria from the direct and microscopic observation.

Palabras clave: Rocas, textura, composición, clasificación, microscopio petrográfico.

Keywords: Rocks, texture, composition, classification, petrographic microscope.

INTRODUCCIÓN

Concepto de roca.

Una roca puede definirse como una masa o agregado de uno o varios tipos de minerales o materia orgánica, que se ha formado como resultado de la actuación de uno o varios procesos geológicos y que constituyen la litosfera terrestre. La Petrología es la parte de la Geología que se encarga del estudio de las rocas: su descripción y clasificación, su composición química y mineralógica, y su origen o génesis.

El estudio de las rocas se inicia en el campo, observando su aspecto y disposición y se completa en el laboratorio donde son analizadas las muestras recogidas en el campo. Se determina su mineralogía y textura, mediante el uso del microscopio petrográfico, se establece su clasificación, y se realizan análisis químicos de roca total. En algunos casos se analiza también la composición química de alguno de los minerales que constituyen la roca, e incluso se reproducen experimentalmente algunos procesos geológicos. Todos los datos obtenidos se relacionan entre sí y se comparan con los conocimientos teóricos físico-químicos. Podemos así determinar no sólo de qué roca se trata sino comprender su origen, cómo, dónde y cuando se ha formado, y qué transformaciones ha sufrido desde que se formó hasta que

la observamos actualmente. El estudio completo de una roca supone por tanto reconstruir su historia.

Todos los datos y la información necesarios para conocer el origen y la evolución de las rocas, es decir su historia, están en las propias rocas: en su composición y en su geometría (Fig. 1).

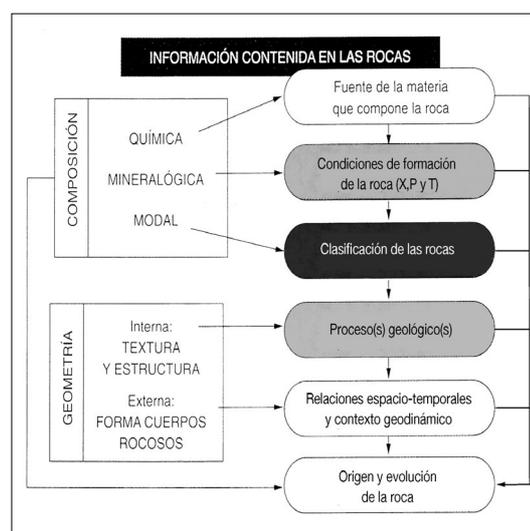


Figura 1. Información contenida en las rocas.

(*) Departamento de Geología. Universidad de Salamanca. Facultad de Ciencias. Plaza de la Merced s/n. 37008 SALAMANCA. Tel. 923294498. E-mail: piti@gugu.usal.es / jcgonzalo@gugu.usal.es.

Composición

– *Composición química*: es el porcentaje en peso de los elementos químicos esenciales en forma de óxidos. La composición química de la roca nos indica la fuente de la que procede la materia que constituye la roca.

– *Composición mineralógica*: incluye tanto los distintos tipos de minerales que constituyen la roca, como la composición química de estos. Los minerales que constituyen una roca dependen de la composición química de la roca y de las condiciones de presión y temperatura a las que se ha formado la roca, o a las que ha sufrido la última transformación.

– *Composición modal*: es la proporción en volumen de los minerales, granos u otros componentes que constituyen la roca. La utilidad de la moda es esencialmente sistemática, para clasificar y dar nombre a las rocas y sirve para establecer comparaciones y para diferenciar distintos tipos de rocas dentro de un mismo grupo.

Geometría.

La geometría de una roca se refiere a todos los aspectos no composicionales de ésta, incluyendo tanto la geometría interna (textura y estructura) como la externa (forma de los cuerpos rocosos).

– La *textura* se refiere a las relaciones geométricas entre los minerales, granos u otros constituyentes de la roca, atendiendo esencialmente a su tamaño, forma y distribución, tanto a escala de muestra de mano como al microscopio.

– La *estructura* se refiere a relaciones mutuas de grupos o agregados de granos o cristales, tales como bandeo, foliaciones, esquistosidad, lineaciones, etc. que se observan a escala mesoscópica, es decir, en los afloramientos en el campo.

La textura, y también la estructura, de las rocas proporcionan información sobre la naturaleza del proceso o los procesos geológicos que han intervenido en la formación de la roca. Por eso, si clásicamente se han dividido las rocas en función del proceso geológico responsable de su formación, la textura de una roca será el primer criterio para su clasificación.

– La *forma externa* de los cuerpos rocosos, incluidos su tamaño y dimensiones, es la forma de yacer o de presentarse la roca en el campo. Estas relaciones de campo que mediante la cartografía quedan reflejados en mapas geológicos, nos aportan datos sobre los aspectos y características espacio-temporales de las rocas.

Tipos de rocas

Clásicamente las rocas se han dividido en tres tipos principales en función del proceso geológico dominante en su formación:

– *Rocas ígneas o magmáticas*, formadas por la solidificación y cristalización de material silicatado parcial o totalmente fundido (*magma*).

– *Rocas metamórficas*, las que se deben a cam-

bios texturales y mineralógicos de rocas preexistentes, como respuesta a cambios en las condiciones de presión, temperatura o ambiente químico. Estos cambios consisten en la recrystalización de minerales ya existentes o en la cristalización de otros nuevos y el proceso (*metamorfismo*) se realiza esencialmente en estado sólido (*blastesis*)

– *Rocas Sedimentarias*, formadas la consolidación de *sedimentos*, constituidos tanto por acumulación de partículas transportadas por distintos agentes como por la precipitación química o bioquímica de sustancias disueltas en el agua.

Puesto que los procesos geológicos quedan reflejados en la textura de la roca podemos utilizar ésta como base de la clasificación de las rocas. La textura es además un dato objetivo e inmediato que podemos obtener en muchas ocasiones de la observación directa de la roca a simple vista o con ayuda de una lupa, y, en otros casos, con el estudio al microscopio. Consideremos pues la textura como primer aspecto a tener en cuenta para dividir las rocas en los tres tipos principales (Fig. 2).

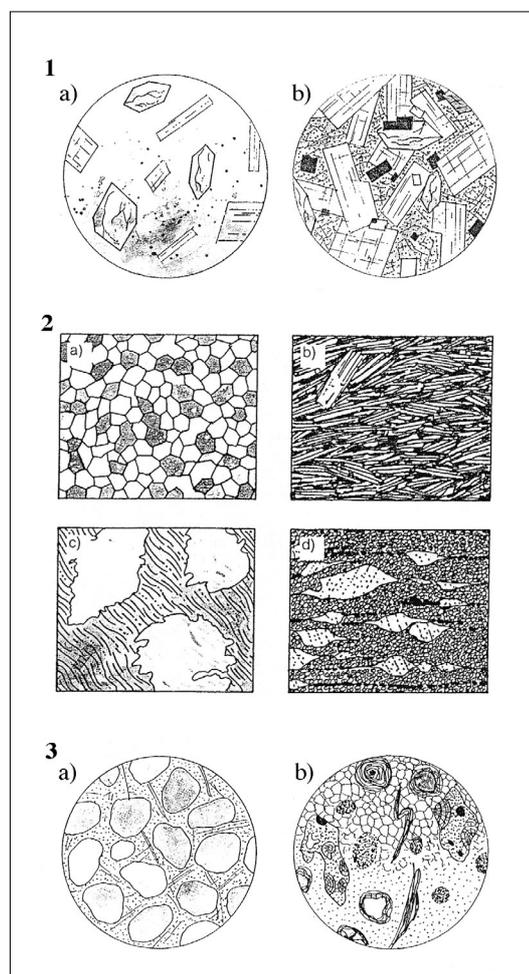


Figura 2.- Texturas características de los distintos tipos de rocas: 1. a) vítreas, b) cristalinas. 2. Blásticas: a) granoblástica, b) lepidoblástica, c) poiquiloblástica y d) cataclástica. 3. Clásticas: a) detrítica y b) bioclástica.

Rocas con texturas vítreas a cristalinas

Son texturas propias de las *rocas ígneas o magmáticas*, que se forman por la solidificación y cristalización a partir de un fundido (magma). El principal factor que condiciona estas texturas es la velocidad de enfriamiento, que es función esencialmente de la profundidad a la que se produce la cristalización. Por ello, las rocas ígneas pueden dividirse a su vez en función de la profundidad a que se forman en:

– *Rocas con texturas vítreas*, constituidas totalmente o en parte por vídrio, es decir por una sustancia amorfa, no cristalina, ópticamente isotrópica. El vídrio se forma por enfriamiento muy rápido de magmas que salen a la superficie (*lavas*) sin que haya tiempo para que los átomos del fundido silicatado se organicen para formar cristales. Las texturas vítreas son propias de las *rocas volcánicas (extrusivas o efusivas)*.

– *Rocas con texturas faneríticas*, formadas por un agregado de cristales de igual o de distinto tamaño pero todos visibles a simple vista. Son texturas formadas por enfriamiento lento de magmas en profundidad, y son características de las *rocas plutónicas o intrusivas*.

– *Rocas con texturas afaníticas*, es decir, texturas cristalinas pero en las que el tamaño de los cristales es tan pequeño que sólo se ven con ayuda de una lupa o al microscopio. Estas texturas indican un enfriamiento relativamente rápido en condiciones no muy profundas, próximas a la superficie, y son propias de *rocas hipoabisales o subvolcánicas*. Este tipo de rocas tienen, por lo tanto, características intermedias entre las rocas plutónicas y volcánicas y normalmente se presentan en *diques* (cuerpos tabulares de poca potencia o espesor).

Rocas con texturas blásticas (cristaloblásticas)

Las texturas blásticas resultan de la recristalización en estado sólido. Son propias de las *rocas metamórficas* y se deben a cambios en la presión y la temperatura. Según el factor más determinante las rocas metamórficas se pueden dividir en:

– *Rocas con texturas lepidoblásticas*, constituidas por la disposición y crecimiento paralelo de los minerales, que recristalizan con formas planares y orientadas, sobre todo los de hábito laminar como las micas. La roca adquiere un aspecto foliado o esquistoso. Estas texturas se desarrollan como consecuencia del aumento tanto de la presión como de la temperatura y son propias de rocas de metamorfismo regional o dinamo-térmico.

– *Rocas con texturas no orientadas*. Pueden ser *texturas granoblásticas* en las que un agregado de cristales equidimensionales, no orientados, dan a la roca un aspecto granudo y que son propias tanto del metamorfismo regional como del metamorfismo de contacto. O bien *texturas poiquiloblásticas* por la recristalización estática de grandes cristales no orientados que engloban a otros de menor tamaño

dando a la roca un aspecto noduloso y borrándose la foliación previa. Son características del metamorfismo de contacto.

– *Rocas con texturas cataclásticas*, son originadas por fracturación y trituración de los minerales, produciendo su fragmentación y granulación, con lo que la roca tiene un aspecto brechoide, de grano fino o muy fino, a veces bandeada. Estas texturas se producen como respuesta a la deformación, bajo presión dirigida y a temperaturas relativamente bajas, y son propias de rocas de metamorfismo dinámico o dinamo-metamorfismo.

Rocas con texturas clásticas

Son texturas propias de las rocas sedimentarias y en concreto de las *rocas sedimentarias clásticas (o detríticas)*. Las texturas clásticas se caracterizan por estar constituidas por fragmentos rotos (clastos) de cristales o rocas preexistentes ígneas, metamórficas o sedimentarias, de tamaños variables, con formas más o menos redondeadas, que han sido transportados mecánicamente, y que pueden estar englobados por material mucho más fino que constituye la *matriz*. Si este material intersticial entre los clastos se forma por precipitación química de sustancias disueltas se denomina entonces *cemento*.

Hay otro grupo de rocas sedimentarias formadas por la precipitación de materia en disolución y/o por la acumulación de restos de organismos, que a su vez habían fijado en sus esqueletos o partes duras las sustancias disueltas, y que se denominan *rocas sedimentarias químicas o bioquímicas*. Dependiendo de la proporción de restos de organismos o de material precipitado pueden tener *texturas clásticas (bioclásticas) a cristalinas*. Las rocas sedimentarias químicas o bioquímicas más comunes y abundantes son las *rocas carbonatadas*, en las que tanto los restos de organismos como el material que precipita están compuestos por carbonato, bien de calcio (calcita) o de calcio y magnesio (dolomita), pero hay también otros tipos, como se verá más adelante.

ESTUDIO DE LAS ROCAS CON EL MICROSCOPIO PETROGRÁFICO

Características y manejo del microscopio petrográfico.

Un microscopio petrográfico (Fig. 3) tiene los dispositivos ópticos de cualquier otro microscopio (fuente de iluminación, objetivos y oculares) que sirven para aumentar el tamaño de la imagen. Su particularidad es que utiliza luz polarizada, que es aquella que vibra en un solo plano, a diferencia de la luz ordinaria o blanca que vibra en todas las direcciones alrededor de la línea de propagación. Para la obtención de esta luz polarizada se utilizan dos prismas (nícoles) de calcita, colocados uno por debajo (el polarizador) y otro por encima (el analizador) de la muestra de roca que se va a estudiar. Los planos de vibración (de polarización) del polarizador y del analizador son perpendiculares entre sí.



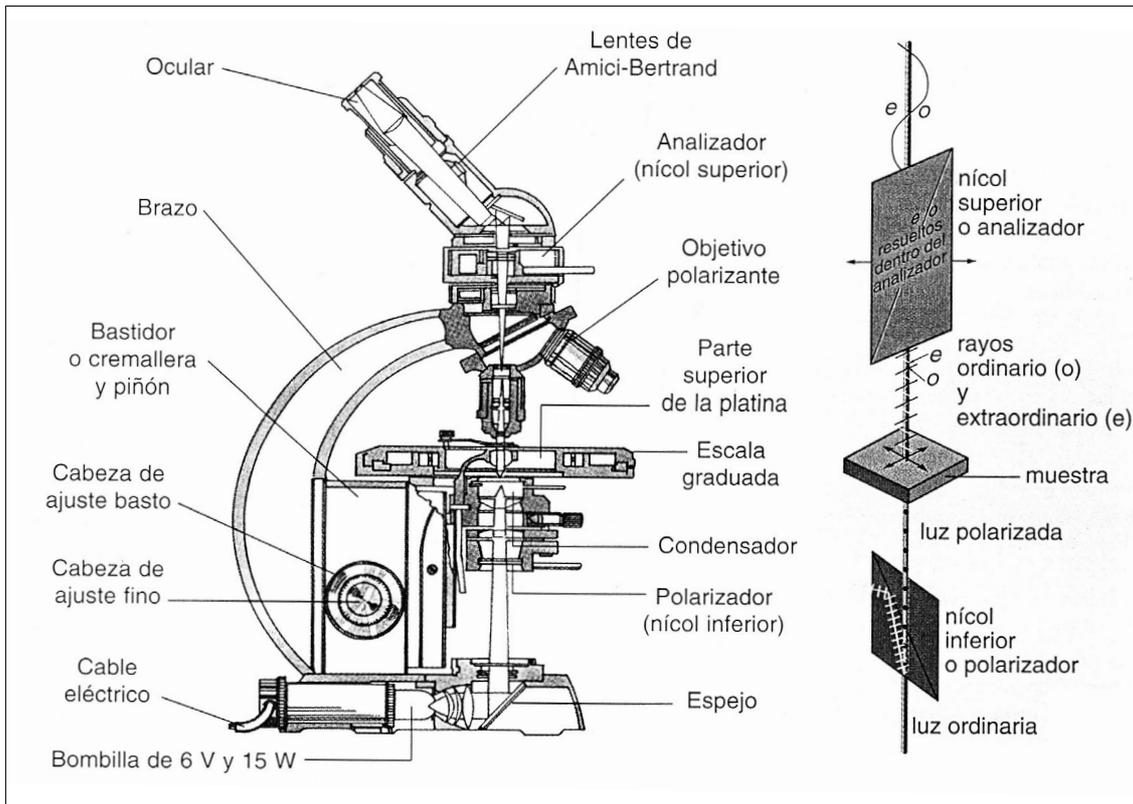


Figura 3.- Sección de un microscopio polarizante de investigación y esquema de la trayectoria de la luz.

El microscopio petrográfico se utiliza para examinar e identificar los minerales transparentes y translúcidos en sección delgada, basándose en sus propiedades ópticas, y es igualmente útil para la interpretación de la textura de las rocas. Las láminas delgadas son secciones de roca de un espesor de 0,03 mm y unas dimensiones aproximadas de 5 cm de largo por 3 cm de ancho, que se pegan sobre un vidrio y se cubren con una lámina también de vidrio más delgado. Los minerales opacos (metales nativos, óxidos y sulfuros metálicos, grafito, etc.) se estudian con microscopios de luz reflejada.

En un microscopio polarizante la luz pasa a través del nícol inferior o polarizador donde se difracta y sale un único haz de rayos que vibra en un solo plano. Este haz de luz polarizada pasa a través de la lámina delgada y se divide en dos series de rayos que vibran en dos planos perpendiculares entre sí, el rayo ordinario y el extraordinario, y con velocidades diferentes que son específicas de cada mineral. La observación de las rocas en estas condiciones, es decir con nícoles paralelos (NP ó LPP=luz polarizada paralela), permite determinar algunas características de los minerales, como su color, pleocroísmo, relieve, etc. Cuando introducimos el analizador la observación es entonces con nícoles cruzados (NC ó LPX=luz polarizada cruzada), y los dos rayos que proceden de la lámina delgada pasan a vibrar en un mismo plano, pero conservan la diferencia de velocidad inicial y en consecuencia llegan al observador con un desfase, que es la causa de

otras propiedades, como los colores de interferencia, que son también propios de cada mineral. Con algunas lentes accesorias se pueden determinar otras características ópticas de los minerales que a veces son necesarias para su identificación.

Los minerales translúcidos o transparentes pueden dividirse según sus propiedades ópticas en isótropos y anisótropos. Los isótropos son los que con nícoles cruzados quedan totalmente oscurecidos, como los minerales que cristalizan en el sistema cúbico (granate, sales, etc.) o sustancias no cristalinas como el vidrio volcánico o el ópalo. Para estos minerales isótropos sólo se pueden observar sus propiedades en nícoles paralelos (forma, color, relieve, et.). Los minerales anisótropos son los que en la posición de nícoles cruzados muestran diferentes colores de interferencia.

Puesto que los minerales que componen esencialmente las rocas pueden agruparse en félsicos (feldespatos y silice, que son de color claro) o máficos (ricos en magnesio y hierro, y generalmente de colores oscuros), podemos resumir brevemente algunas de las características que presentan éstos minerales al microscopio.

Los minerales félsicos (cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y feldespatoideos) son incoloros en nícoles paralelos y con nícoles cruzados tienen colores de polarización en tonos grises más o menos oscuros. Algunas características también visibles en nícoles cruzados como las maclas polisintéticas de las plagioclasas o las pertitas en el feldespato potásico permiten diferenciarlos del cuarzo.



Los minerales máficos (micas, anfíboles, piroxenos y olivino) son por lo general coloreados en nícoles paralelos, excepto la moscovita y el olivino que son incoloros; marrón-rojizo la biotita, verdes los anfíboles, verdes a marrones claros los piroxenos. Las formas de los cristales y las líneas de exfoliación son otras características observables en nícoles paralelos para diferenciar los minerales máficos. Con nícoles cruzados presentan colores de interferencia muy variados y cuya intensidad y viveza dependen de cada mineral, siendo especialmente llamativos en la moscovita y el olivino, pues al ser éstos incoloros con nícoles paralelos, los colores propios del mineral no enmascaran los de interferencia.

Gráficos auxiliares de clasificación.

Aunque en el estudio sistemático de todas las rocas se incluye la textura y la composición, en cada grupo los criterios utilizados para la clasificación y nomenclatura son diferentes. Sin embargo, en la mayoría de los casos se utilizan proporciones modales (% en volumen) de minerales o de distintos componentes de la roca que en muchas ocasiones son representados en diagramas triangulares. Por ello, los gráficos de estimación visual de porcentajes y los diagramas triangulares (de proporciones de tres componentes) de la Fig. 4 son herramientas de gran utilidad y de manejo por el petrólogo.

Rocas Ígneas.

El estudio sistemático de las rocas ígneas incluye la textura y la composición tanto química como mineralógica.

Texturas

La textura de las rocas ígneas se determina atendiendo a tres criterios (Fig. 5):

- Según la *proporción de cristales y vidrio (cristalinidad)*

- Según el *tamaño de grano (granularidad)*, tanto el tamaño de grano relativo como el tamaño absoluto de los cristales

- Según las *relaciones mutuas* de los cristales entre sí o entre éstos y el vidrio.

El principal factor, aunque no el único, que influye en la textura de las rocas ígneas es la *velocidad de enfriamiento*, la cual depende esencialmente de la profundidad a la que se produce la cristalización, pero también de la forma y el tamaño de los cuerpos magmáticos que se están enfriando. Así, podemos tener cuerpos plutónicos intruidos cerca de la superficie con bordes afaníticos o diques con texturas porfídicas con mesostasis afaníticas o incluso bordes vítreos. O por el contrario potentes coladas que en su interior presenten texturas holocristalinas, tanto afaníticas como incluso hasta faneríticas. Por lo tanto, la división clásica de las rocas ígneas en función de su textura no deja de ser una simplificación, que la mayoría de las veces es correcta, pero que hay que observar con cuidado y completar con los criterios de geología de campo (la forma del cuerpo rocoso).

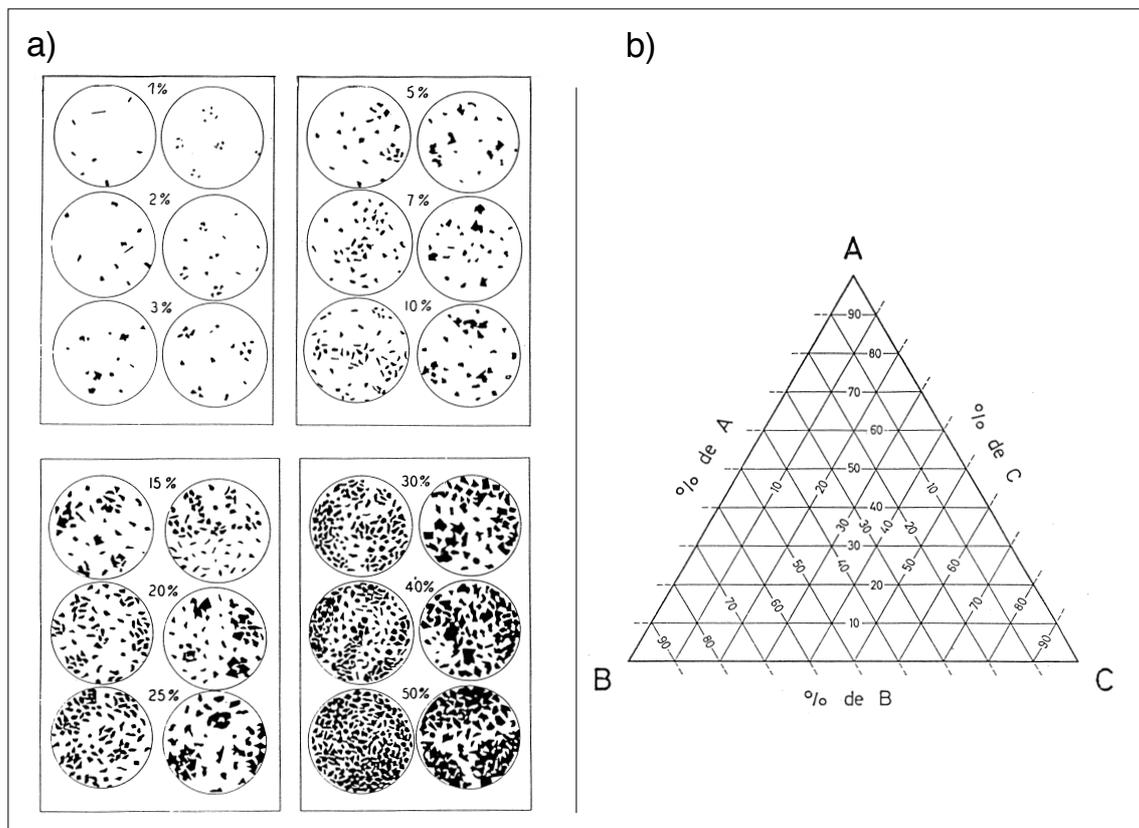


Figura 4.- a) Gráficos de estimación visual de porcentajes. b) Diagramas triangulares.

TEXTURAS ROCAS IGNEAS

TERMINOS ESPECIFICOS DE OBSERVACION VISUAL	1. CRISTALINIDAD	2. TAMAÑO DE GRANO		3. RELACIONES MUTUAS ENTRE LOS CRISTALES O DE LOS CRISTALES CON EL VIDRIO.
		Tamaño Relativo	Tamaño Absoluto	
Fanerítica	Holocristalina	Equigranular	Grano grueso (>5 mm) Grano medio (5-1 mm) Grano fino (<1 mm) Microcristalina (<0.01 mm)	Fluidal
Afanítica				Gráfica
		Inequigranular	Porfídica [Fenocristal (Megacristal) / Mesostasis - Microporfídica [Microfenocristal (0,5-0,05)]] Poiquilítica	Ocelar / Orbicular
				Vacuolar (Vesicular) / Amigdaloides
Vítrea	Hipocristalina		Vitrofídica	
	Holohialina			
Piroclástica				

Figura 5.- Texturas de las rocas ígneas.

Composición

Los minerales que constituyen la roca pueden agruparse, a efectos de clasificación y nomenclatura de la roca, según dos criterios: abundancia y composición y color.

1- Por su *abundancia* los minerales son: *Esenenciales*, los que están en más del 5 % en volumen (se utilizan para la clasificación y nomenclatura de la roca), *Accesorios* si están en menos del 5 % en volumen y *Secundarios* cuando se han formado por transformación y/o alteración de otros anteriores.

2.- Por su *composición y color* tenemos:

- *Minerales félsicos* (feldespatos y sílice) o de colores claros, que incluyen los siguientes minerales o grupos de minerales: *Cuarzo* (Q) (incluyendo tridimita y cristobalita), *Feldespato alcalino* (A) (ortosa, microclina, sanidina, anortoclasa y plagioclasa albitica), *Plagioclasa* (P) y *Feldespatoides* (o Foides) (F) (leucita, nefelina, hüyna, sodalita o noseana).

- *Minerales máficos* (M) (con magnesio y hierro) u oscuros, que incluyen el olivino, todos los piroxenos, anfíboles y las micas así como otros minerales normalmente accesorios.

Una primera clasificación de las rocas ígneas se puede hacer en función de su *índice de color*, que es la proporción en volumen de minerales máficos (M), según el cual pueden ser; *Leucocráticas o félsicas* (M <35), *Mesocráticas* (M >35 <65), *Melanocráticas o máficas* (M >65 <90) y *Ultramáficas* (M >90).

Pero la clasificación sistemática de las rocas ígneas se hace en función de la *composición mineralógica modal* (% en volumen) de los minerales esenciales que las constituyen.

Las rocas ultramáficas, en las que no se observa a simple vista ningún mineral félsico, son sólo plutónicas y se clasifican en función de los minerales máficos en el triángulo Ol (Olivino), Opx (Ortopiroxeno), Cpx (Clinopiroxeno), (Fig. 6.a).

Todas las demás rocas ígneas, tanto plutónicas como volcánicas, se clasifican en función de los minerales félsicos en el doble triángulo QAPF (Fig. 6.b) en el que la suma de Q+A+P=100 ó A+P+F=100, ya que Q y F se excluyen mutuamente, si hay cuarzo no hay feldespatoides y viceversa.

En este diagrama las líneas horizontales indican el % de Q (o de F) y las líneas verticales indican la relación de P respecto a A [$100 \times P / (P+A)$]. A medida que nos desplazamos hacia el vértice P no sólo aumenta la cantidad de plagioclasa, sino que ésta es cada vez más rica en Ca (más contenido en Anortita) y la roca en general tiene una mayor cantidad de minerales máficos, aumenta su índice de color.

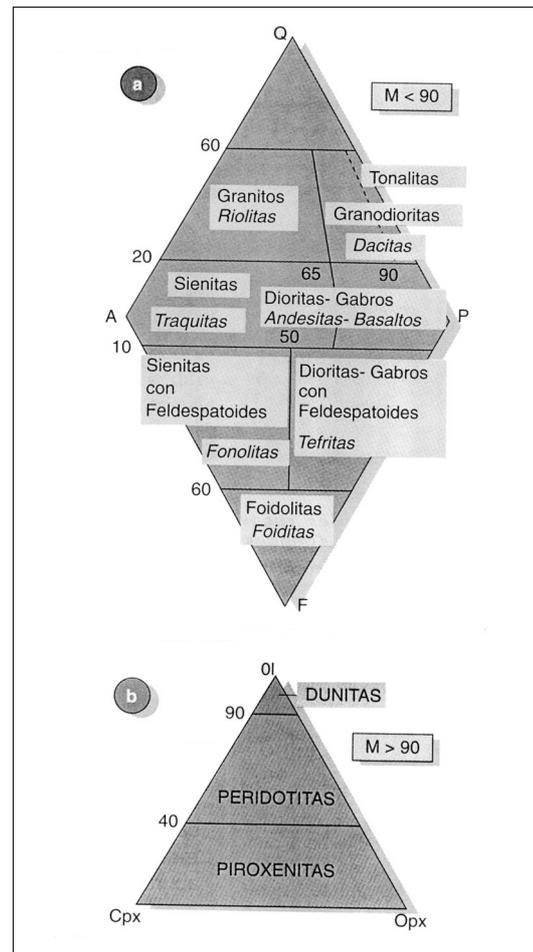


Figura 6.- Clasificaciones mineralógicas simplificadas de las rocas ígneas; plutónicas y volcánicas (en cursiva). a) Rocas ígneas con M < 90. b) Rocas ultramáficas con M > 90.



Rocas Metamórficas

Los criterios de clasificación y nomenclatura de las rocas metamórficas son esencialmente cuatro:

1. La *textura y estructura* de la roca.

Es uno de los principales y primeros criterios para clasificar las rocas metamórficas según en *foliadas* y *no foliadas*.

Las *foliadas* tienen una disposición y crecimiento paralelo de los minerales, sobre todo los de hábito laminar como las micas, que marcan planos de discontinuidad de la roca y reciben distintos nombres en función del tamaño de grano de los minerales y el grado de desarrollo de los planos de foliación, los cuales aumentan a medida que aumenta las condiciones de P y T del metamorfismo (**pizarras, filitas, esquistos y gneises o migmatitas**), (Fig. 7a). Las **milonitas** son también rocas foliadas formadas en zonas de intensa deformación dúctil.

– para completar el nombre de la roca con el de uno o varios *minerales metamórficos significativos*, bien por su *abundancia* con lo que tenemos una clasificación mineralógica modal de la roca (un esquistos puede ser micáceo o cuarzo-feldespático, o un mármol puede ser fostenítico o diopsídico, etc) o bien por ser un *mineral índice* de las condiciones de metamorfismo, independientemente de su abundancia (esquistos sillimanítico, o mármol granatífero, etc.).

– para denominar la roca si ésta es monomineralica, en cuyo caso el mineral único o dominante que las constituye da nombre a la roca (**cuarcita, mármol, serpentinita**), independientemente de otros criterios. Así, pueden estar foliadas o no y pueden haberse originado tanto por metamorfismo regional como de contacto.

3. Las condiciones del metamorfismo (*facies metamórfica*, Fig. 7b).

Algunos de los nombres que designan las facies

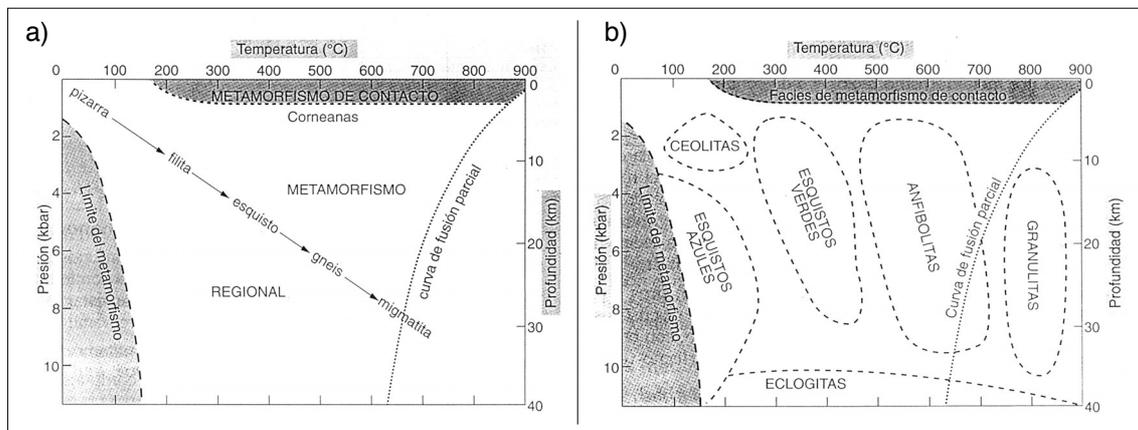


Figura 7.- a) Situación en un diagrama P-T de las rocas del metamorfismo regional y de las del metamorfismo de contacto. b) Diagrama de presión-temperatura con la localización de las distintas facies metamórficas.

Las rocas *no foliadas* en las que este criterio es determinante para su clasificación son las asociadas al metamorfismo de contacto, y se caracterizan por presentar un aspecto masivo, como agregados granudos o nodulosos, a veces de cristales equidimensionales o entrecruzados (**corneanas, esquistos y/o pizarras nodulosas, esquistos y/o pizarras moteadas**). Su composición mineralógica, y como consecuencia el aspecto y color, dependen de la roca original y de la proximidad al foco térmico. Hay otras muchas rocas metamórficas *no foliadas*, o que en ocasiones se presentan como no foliadas, y que pueden originarse en distintos tipos de metamorfismo. En la mayoría de los casos el carácter más significativo y distintivo para clasificarlas y asignarles un nombre no es la ausencia de foliación, sino otros criterios como composición mineralógica o condiciones del metamorfismo.

2. La *composición mineralógica*.

La clasificación y nomenclatura de las rocas metamórficas en función de su composición mineralógica se realiza en dos sentidos:

metamórficas se utilizan también de forma descriptiva para referirse a rocas con unas características texturales y mineralógicas determinadas, independientemente de que pertenezcan o no exactamente a las facies de la que toman el nombre.

Las rocas metamórficas más comunes que toman el nombre de alguna facies son las **anfibolitas, granulitas y eclogitas**.

Otras rocas que en parte toman su nombre de la facies metamórfica, aunque en parte hace también referencia a su estructura, son los **esquistos verdes y esquistos azules**.

4.- La naturaleza y *composición* de la roca original.

A medida que aumentan las condiciones de P y T, es decir aumenta el grado metamórfico, se van formando distintos minerales y como consecuencia rocas metamórficas diferentes, que constituyen una secuencia de rocas metamórficas o *secuencia metamórfica*. Esta secuencia de rocas metamórficas, y los minerales que las constituyen, será diferente según la roca original a partir de la cual se han ido produciendo los sucesivos cambios (Fig. 8).

Intensidad del metamorfismo	ASOCIACIONES MINERALES			Facies metamórfica
	Secuencia Pelítica	Secuencia Carbonatada	Secuencia Básica	
bajo	clorita*, cuarzo, moscovita, plagioclasa	clorita*, calcita o dolomita, plagioclasa	clorita*, plagioclasa	Esquistos Verdes
	biotita*, cuarzo, plagioclasa, andalucita/distena			
medio	granate*/cordierita, mica, cuarzo, plagioclasa	granate*, epidota, hornblenda, calcita	granate*, clorita, epidota, plagioclasa	Anfibolita
	estaurolita*, mica, granate, cuarzo, plagioclasa	hornblenda*, granate, calcita, plagioclasa, piroxeno	hornblenda*, plagioclasa	
alto	distena*, mica, granate, cuarzo, feldespato potásico	piroxeno*, granate, plagioclasa, calcita	piroxeno*, plagioclasa,	Granulita
	sillimanita*, granate, mica, cuarzo, feldespato potásico			
muy alto	alta T sillimanita, granate, cuarzo, feldespato potásico	piroxeno, granate, calcita	piroxeno*(onfacita), granate	Eclogita
alto	alta P jadeita*, distena, cuarzo	piroxeno, granate, calcita	piroxeno*(onfacita), granate	Eclogita

Figura 8.- Minerales característicos para distintas secuencias en distintos grados de metamorfismo. Con asterisco (*) los que son minerales índice.

Existen cuatro secuencias metamórficas, a las que pertenecen o en las que se pueden agrupar todos los tipos de rocas metamórficas, que son las siguientes:

– Secuencia *pelítica* (o pelitas) formada por rocas originadas a partir de sedimentos ricos en minerales arcillosos y micas, como pizarras, filitas y esquistos así como corneanas.

– Secuencia *cuarzo-feldespática* constituida por rocas ricas en cuarzo y feldespatos, en distintas proporciones, como cuarcitas, esquistos cuarcíticos, esquistos cuarzo-feldespáticos y gneises.

– Secuencia *carbonatada* que incluye tanto los mármoles, como otras rocas calcosilicatadas producto del metamorfismo de rocas sedimentarias con carbonatos.

– Secuencia *básica* (o máfica) formada a partir de rocas ígneas de composición básica o intermedia, incluye las anfibolitas, algunos tipos de granulitas y eclogitas.

La roca original, ígnea o sedimentaria, que es metamorfizada puede ser más o menos reconocible según la intensidad de los cambios texturales o mineralógicos a que ha sido sometida como consecuencia de los cambios en las condiciones físicas.

El prefijo **meta-** delante del nombre de una roca se utiliza para indicar que la roca ya ha sufrido un proceso metamórfico, en mayor o menor grado, aunque todavía se reconocen en ella determinadas características de la roca original. El término referido a la roca original puede ser más o menos preciso, dependiendo de las características de ella que todavía puedan ser reconocidas. Así, podemos hablar de rocas metasedimentarias, metapelíticas o metaareniscas. O bien, metabasitas, metavulcanitas básicas, o metabasaltos. etc.

Los prefijos **orto-** y **para-** se utilizan para aquellas rocas metamórficas que pueden originarse tanto a partir de rocas ígneas en cuyo caso serían **ortoderivadas**, como sedimentarias y entonces son **paraderivadas**. Este es el caso de los **gneises** y de las **anfibolitas**. El determinar el carácter orto- o para- de una roca no es fácil y sólo se puede conseguir, y

no siempre, combinando datos de la observación de las relaciones de campo, estudio petrográfico detallado y análisis químicos de la roca

Rocas Sedimentarias

Las rocas sedimentarias se forman a través de distintos procesos tanto físicos, químicos como biológicos. Teniendo en cuenta el proceso (o los procesos) dominante podemos establecer dos grandes grupos de rocas sedimentarias:

– *Rocas sedimentarias clásticas (siliciclásticas o detríticas).*

Las rocas clásticas se clasifican en primer lugar en función del tamaño de grano de los clastos (t.c.) y dentro de cada grupo, en función de la composición de éstos y/o de la proporción entre clastos y matriz y/o cemento (matriz son productos muy finos procedentes de las mismas rocas que los clastos, cemento es el material procedente de la precipitación química de sustancias disueltas), excepto en las lutitas en que el tamaño de grano es tan fino que no se diferencian clastos de material intersticial (Fig. 9).

Los principales grupos de rocas clásticas son;

Conglomerados

y brechas: t.c. > 2 mm

Areniscas: t.c. de 2 a 1/16 mm

Lutitas: t. c. < 1/16 mm. Incluye partículas tamaño limo y arcilla.

Los Conglomerados y Brechas se clasifican a su vez en función de la forma de los cantos son en **conglomerados**, cuando los cantos son redondeados y **brechas**, cuando los cantos son angulosos. Y en función de la composición de los cantos, tanto los conglomerados como las brechas, pueden ser **oligomícticos** (o monolíticos), los formados esencialmente por un solo tipo de cantos (normalmente de cuarcita, por lo que se llaman también ortocuarcíticos) y **polimícticos** (o petromícticos), formados por cantos de varios tipos de roca. En función de la cantidad de matriz pueden dividirse además en **ortoconglomerados**, cuando tienen menos del 15 %

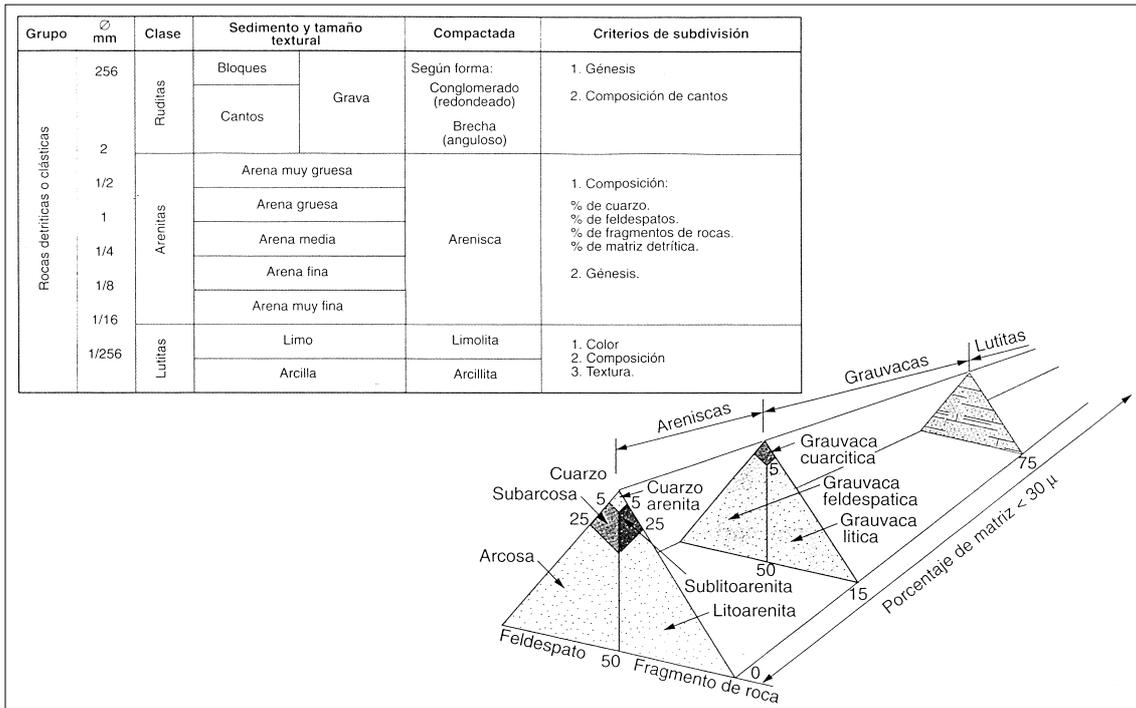


Figura 9.- a) Clasificación de las rocas sedimentarias clásticas. b) Clasificación de las areniscas. (Tomado de Velasco Santos et al., 2000).

de matriz y **paraconglomerados**, con una cantidad de matriz superior al 15 %.

Las areniscas se clasifican atendiendo a la composición de los granos y a la proporción de la matriz (Fig. 9.b). Los principales tipos de areniscas son; **areniscas cuarzosas**, **areniscas líticas**, **arcosas** y **grauvacas**.

Dentro de la denominación de lutitas se incluyen tanto las **limolitas** como las **arcillitas**.

En las rocas sedimentarias clásticas la forma de los clastos (redondez y esfericidad) o el grado de clasificación ("sorting") que se determinan mediante gráficos como el de la Fig. 10, son importantes no solo para su clasificación sino para determinar las condiciones de formación de la roca.

– *Rocas sedimentarias químicas y bioquímicas.*

El criterio fundamental para la subdivisión de las rocas químicas y bioquímicas es la composición, y así tenemos: *rocas carbonatadas* (que son las más abundantes e importantes) y *otras rocas químicas* como rocas silíceas, rocas fosfatadas, evaporitas, rocas ferruginosas y rocas formadas por materia orgánica (carbones y petróleo).

Las *Rocas Carbonatadas*, tanto **calizas** compuestas por calcita, como **dolomías** compuestas por dolomita, están formadas por tres componentes esenciales:

– *Componentes aloquímicos*, que son agregados (partículas o granos) organizados de sedimento carbonatado formados dentro de la propia cuenca de sedimentación, como *bioclastos*, *ooides*, *peloides*, *pisolitos* y *oncolitos e intraclastos*.

– *Componentes ortoquímicos*, son los que preci-

pitán directamente del agua del mar o se forman por disgregación a partir de los aloquímicos y son *Micrita*: (calcita microcristalina con granos de carbonato de $< 5 \mu\text{m}$ (0.005 mm), que forma la *matriz*.) y *Esparita*: (cristales de carbonato de $> 10\text{-}20 \mu\text{m}$, formados después de la sedimentación y por lo tanto constituyen un *cemento* que rellena los poros.

– *Componentes terrígenos*, granos de cuarzo, arcilla, micas, etc., es decir materiales no carbonatados.

La clasificación de las calizas puede hacerse de dos maneras: según la textura sedimentaria original (Fig. 11.a) o según el aloquímico dominante (Fig. 11.b).

El resto de las rocas químicas y bioquímicas serían las siguientes:

– *evaporitas*, incluyendo **yesos** (sulfato de calcio hidratado, $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y **sales** constituidas por sales de elementos halógenos, como **halita** (Cl-Na) y **silvina** (Cl-K).

– *rocas silíceas (chert)* formadas por pequeños cristales de cuarzo, calcedonia y opalo, que recibe distintos nombres específicos en función de sus variaciones en la composición o color, como *Jaspe*, *Porcelanita*, *Lidita*, etc.

– *rocas fosfatadas o fosforitas* que son rocas con gran concentración de fósforo que se presenta como *colofana*, que es una forma criptocristalina, mezcla de varios tipos de *apatito* [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$].

– *rocas formadas por materia orgánica. (carbónes y petróleo)*. Los carbones están originados por materia orgánica acumulada "in situ" (humus y turbas), y de menor a mayor porcentaje de carbono

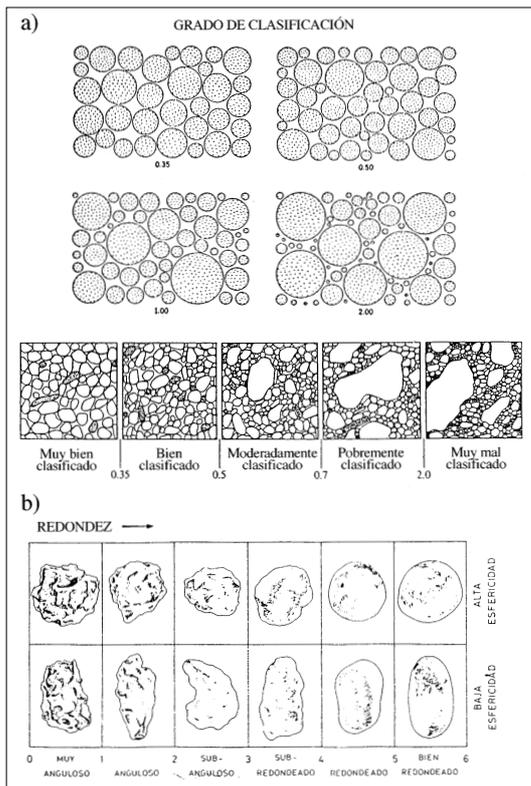


Figura 10.- Gráficos para la determinación del grado de clasificación –“sorting”– (a) y de la redondez/esfericidad de los clastos (b).

y por lo tanto de menor a mayor capacidad calorífica, son turbas, lignitos o carbones marrones, hulla, y antracitas. El petróleo es un fluido natural que consiste en una mezcla de hidrocarburos de cadenas cortas y largas y gases (metano esencialmente) que normalmente migra desde el lugar de formación hasta rocas porosas donde se acumula.

– rocas ferruginosas que son las rocas sedimentarias con más del 15 % de hierro, con colores rojizos o marrones característicos y pueden ser rocas ferruginosas bandeadas o rocas ferruginosas oolíticas.

BIBLIOGRAFÍA:

MacKenzie, W.S. y Adams, A.E. (1997). *Atlas en color de rocas y minerales en lámina delgada*. Masson, S.A. Barcelona.

Adams, A.E.; MacKenzie, W.S. y Guilford, C. (1996). *Atlas de rocas sedimentarias observadas al microscopio*. Masson. Barcelona.

MacKenzie, W.S.; Donaldson, C.H. y Guilford, C. (1996). *Atlas de rocas ígneas y sus texturas*. Masson. Barcelona.

Yardley, B.W.D.; MacKenzie, W.S. y Guilford, C.

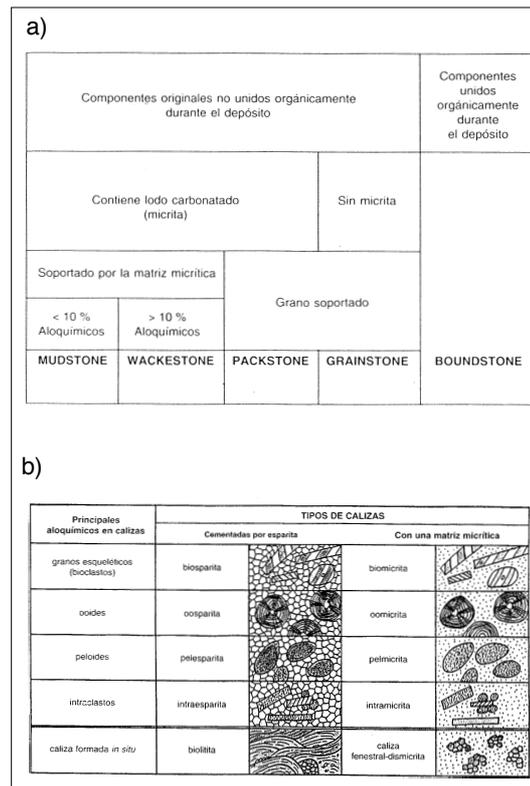


Figura 11.- Clasificación de las calizas. a) Textural. b) Composicional.

(1996). *Atlas de rocas metamórficas y sus texturas*. Masson. Barcelona.

Le Maitre, R.W. (ed.) (1989). *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. Blackwell Sc. Oxford.

Blatt, H. y Tracy, R.J. (1996). *Petrology: igneous, sedimentary and metamorphic*. Freeman and Co., New York.

Best, M.G. (1982). *Igneous and metamorphic petrology*. Freeman and Co., San Francisco.

Hall, A. (1996). *Igneous petrology*. Longman, Harlow.

Kornprobst, J. (1996). *Manual de petrología metamórfica y su contexto geodinámico*. Masson. Barcelona.

Yardley, B.W.D. (1989). *An introduction to metamorphic petrology*. Longman, Burnt Mill.

Tucker, M.E. (1991). *Sedimentary petrology: An introduction to the origin of sedimentary rocks*. Blackwell Sc. Oxford.

Velasco Santos, J.M.; Alfajeme Benitez-Cano, V.M.; Cabrera Lopez, M.E.; Corrochano Sanchez, A.; Franco Gonzalez, M.P.; Gil Agero, M.; Gonzalo, J.C.; Jimenez Fuentes, E.; Mulas Alonso, M.E.; Reguilon Bragado, R.M.; Rodriguez Gonzalez, R. Y Salamanca Nuñez, C. (2000). *Geología. 2º. Bachillerato*. Ciencias de la Naturaleza y la Salud. Editorial Editex, S.A. Madrid. ■