

BLOQUE 3 (II) MAGMATISMO Y METAMORFISMO. LAS ROCAS ENDÓGENAS.

1- METAMORFISMO Y ROCAS METAMÓRFICAS.

1.1- Concepto de metamorfismo.

Del mismo modo que en la superficie de la Tierra las rocas se alteraban debido a la exposición a unas condiciones diferentes a la de su formación, las rocas (sea cual sea su origen) pueden verse sometidas a unas condiciones de presión y temperatura más intensas. Como consecuencia, sus minerales sufrirán una serie de cambios y reordenaciones cristalográficas y texturales, de forma que la roca original se habrá convertido en algo sustancialmente diferente: una roca metamórfica.

Se define **metamorfismo** como el conjunto de procesos que sufren las rocas al aumentar la presión y la temperatura, implicando cambios que se producen en estado sólido, es decir, no hay fusión.

1.2- Factores que influyen en el metamorfismo.

El metamorfismo puede tener lugar en ambientes geológicos muy diferentes. En la superficie de la Tierra y también en la de otros planetas, las rocas que soportan un impacto meteorítico son transformadas por efecto de la enorme presión y calor generado en el proceso. Sin embargo en nuestro planeta los procesos metamórficos se dan con mayor frecuencia y extensión a mayores profundidades de la litosfera, donde la presión y la temperatura son elevadas.

Presión.

La presión es un protagonista esencial, y su incremento puede tener dos causas:

-presión litostática (no dirigida) debida al peso de las nuevas rocas que se acumulan en las cuencas sedimentarias, y que sumergen y comprimen a las más viejas. Para que su efecto se deje en el metamorfismo debe haber al menos 10 Km de rocas sedimentarias acumuladas encima.

-presión tectónica (dirigida) originada por compresiones generadas en límites de placas convergentes: zonas de subducción, colisiones entre continentes, etc

Temperatura.

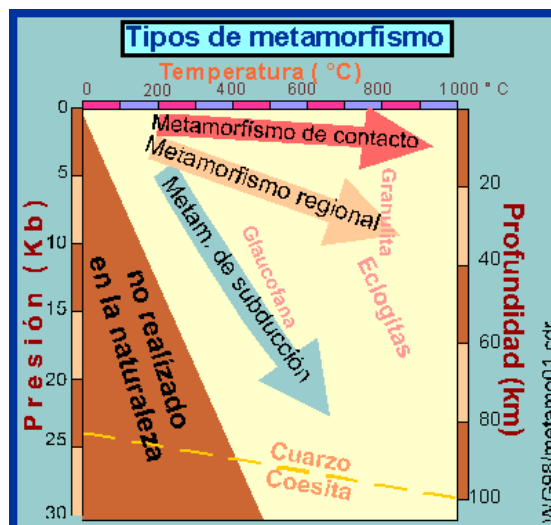
Durante la diagénesis (transformación de sedimento en roca sedimentaria) la temperatura ya era un protagonista importante, sin embargo en el ambiente sedimentario la temperatura no aumenta por encima de los 200° C. A lo largo del proceso metamórfico, la temperatura puede incrementarse hasta los 800 ° C. Por encima de esta temperatura, algunos minerales comienzan a fundir, y nos adentraríamos en el ambiente magmático. Las rocas pueden soportar aumentos de temperatura por dos causas:

-gradiente geotérmico- Al profundizar en la litosfera, recordemos que la temperatura sube 1° C cada 33 metros, por lo que una roca que esté enterrada a 10 Km de profundidad sufrirá una temperatura de 300 ° C. No obstante, el valor asignado al gradiente geotérmico es una media estadística y existen variaciones importantes.

-Calor liberado en zonas de fuerte fricción como grandes fallas, zonas de subducción, etc

-Presencia de magmas cercanos procedentes de zonas profundas de la litosfera o del manto.

El metamorfismo es considerado un proceso isoquímico en el que no hay ganancia ni pérdida de elementos químicos; sin embargo, en algunos casos, pueden intervenir fluidos químicamente activos que cambien la composición química de la roca original, como por ejemplo las disoluciones calientes acuosas procedentes de magmas en etapa hidrotermal.



1.3- Tipos de metamorfismo.

En función de los valores de P y T^a que haya soportado una roca, se pueden distinguir tres tipos de metamorfismo.

a-Metamorfismo de alta presión.

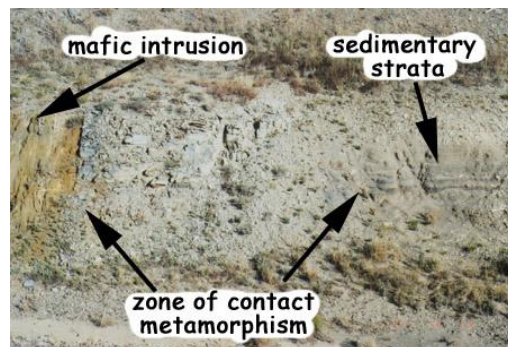
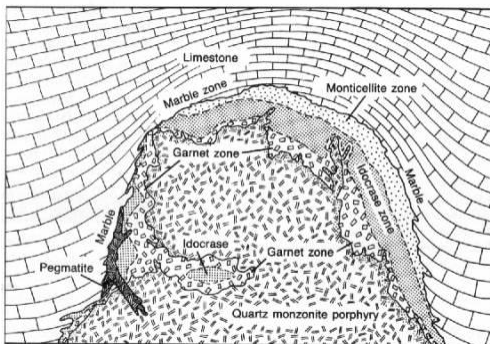
Está ligado a zonas que han experimentado fuertes presiones tectónicas, como zonas de grandes fallas. Por tanto el papel de la temperatura es secundario.

Las rocas sufrirán trituraciones y aparecerán minerales polimorfos de alta presión. Un ejemplo son las **milonitas**.

b-Metamorfismo de contacto.

Cuantitativamente es el menos importante. Se produce cuando la roca sedimentaria se ve atravesada por intrusiones magmáticas, de modo que el factor más relevante es la alta temperatura, mientras que la presión no es relevante.

En torno al plutón o batolito, quedará una aureola de rocas sedimentarias alteradas, pero los cambios irán siendo menos intenso a medida que nos alejemos de la roca magmática.



Algunos ejemplos de rocas típicas de metamorfismo de contacto son las **cuarcitas** (procedentes de areniscas), el **mármol** (procedente de las calizas) o las **corneanas**.

c- Metamorfismo regional.

Se trata del tipo más extendido de metamorfismo y en él, es tan importante el aumento de la presión como de la temperatura.

Está ligado a grandes masas de rocas sedimentarias que han sufrido un enterramiento profundo, y posteriormente han soportado presiones tectónicas.

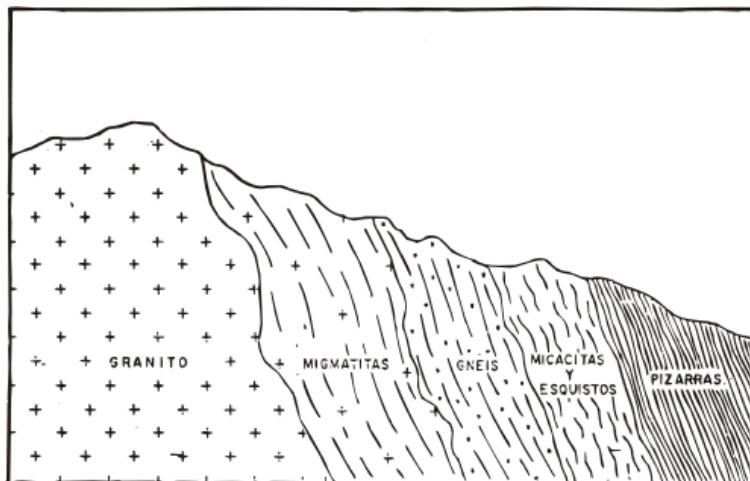
Las zonas propicias para el metamorfismo regional son las cuencas aplastadas por colisiones continentales por lo que está vinculado a orogenias.

Origina rocas cuyos granos se orientan perpendicularmente a la dirección de máxima presión, y cuyo tamaño de grano aumenta por recristalización, desde el tamaño microscópico de las pizarras, hasta el grueso tamaño de los gneisses, visibles a simple vista.

La serie típica del metamorfismo regional sería:

roca: lutita-→ **pizarra**-→ **esquisto**-→ **gneiss**-→ migmatita

° de met: ° bajo ° medio ° alto fusión parcial

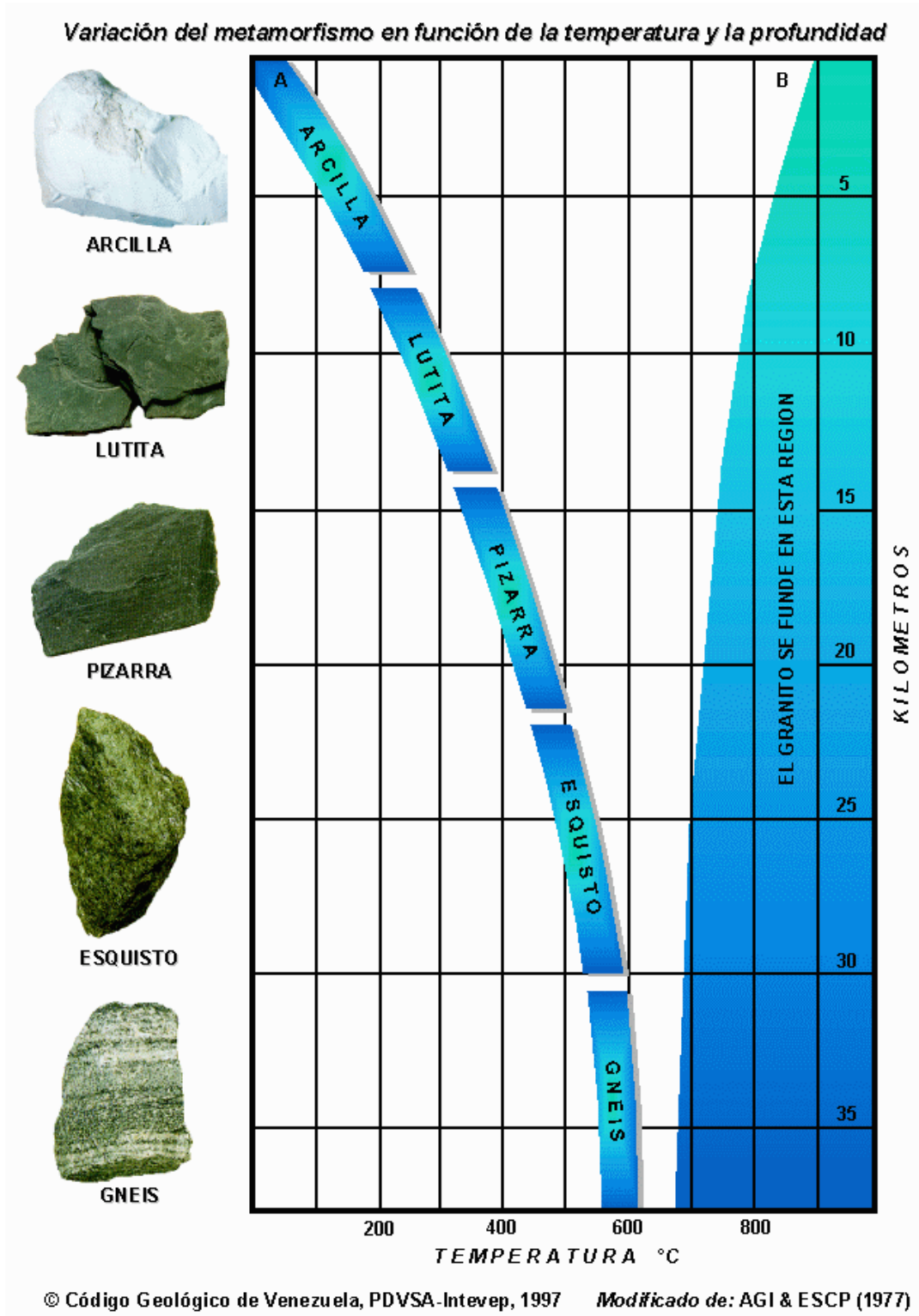


1.4- Texturas de las rocas metamórficas.

Textura de una roca se define como “disposición espacial recíproca de los minerales que constituyen la roca”. Durante el metamorfismo cambiará la forma, tamaño y disposición espacial de los minerales, por lo que aparecen unas texturas típicas que informan del tipo de metamorfismo que ha sufrido la roca.

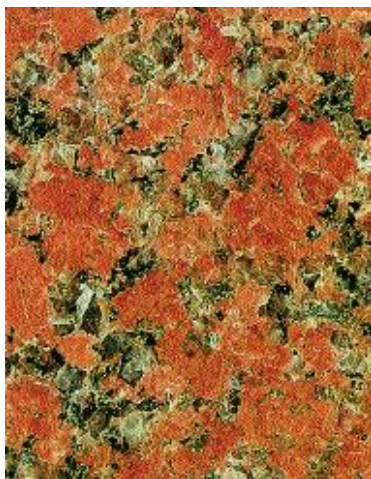
-Texturas sin orientaciones preferentes, características del metamorfismo de contacto.

-Texturas con orientación preferente, características del metamorfismo regional. Los minerales planos (micas, arcillas) están ordenados en una dirección perpendicular a la de la presión que soportó la roca.



2-MAGMATISMO Y ROCAS MAGMÁTICAS.

Las rocas endógenas constituyen más de 99% de la litosfera. De ellas, la inmensa mayoría son magmáticas, es decir, proviene de la consolidación de un magma fundido. Las rocas magmáticas, además, son una fuente primordial de información acerca de la composición del interior del planeta y contienen la mayor parte de los yacimientos con interés económico.



2.1- Concepto de magma.

Un magma es un líquido de composición generalmente silicatada que se encuentra a una temperatura elevada (700-1000 °C)

Cuantitativamente, los elementos más importantes de un magma son: O, Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na y K, pero también contiene mínimas cantidades del resto de los elementos químicos y cantidades apreciables de agua y otros compuestos, gaseosos a presión atmosférica, pero disueltos con las altas presiones a las que se generan los magmas. Un magma debería considerarse como una mezcla heterogénea compuesta a su vez por mezclas homogéneas, compuestos y elementos.

2.2- Minerales de rocas magmáticas y tipos de magmas.

Cuando un magma se enfría comienzan a formarse cristales de ciertos minerales. Puesto que los principales elementos químicos que contienen los magmas son O, Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na y K, es lógico pensar que los minerales que irán cristalizando sean fundamentalmente silicatos. Los silicatos más abundantes de las rocas magmáticas son:

GRUPO	SUBGRUPO	MINERAL	COMPOSICIÓN
NESOSILICATOS		Olivino	$(\text{FeMg})_2\text{SiO}_4$
INOSILICATOS	PIROXENOS	Augita	$\text{Ca}(\text{FeMg})(\text{SiO}_3)_2$
		Enstatita	MgSiO_3
		Hiperstena	$(\text{FeMg})\text{SiO}_3$
	ANFÍBOLES	Hornblenda	$\text{CaNa}(\text{MgFeAl})_5(\text{AlSi})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
		Riebeckita	$\text{NaFe}_2\text{Fe}_3\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
FILOSILICATOS	(MICAS)	Moscovita	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
		Biotita	$\text{K}(\text{FeMg})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
TECTOSILICATOS	PLAGIOCLASAS	Anortita	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
		Albita	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
	FELDESPATO K	Ortosa	KAlSi_3O_8
		Sanidina	KAlSi_3O_8
		Microclina	KAlSi_3O_8
	CUARZO		SiO_2

Existen multitud de criterios a la hora de clasificar los magmas, pero el más útil es el de porcentaje de SiO_2 :

-Magmas hipersilícicos (o ácidos): % $\text{SiO}_2 > 50\%$

- Magmas hiposilícicos (o básicos): % $\text{SiO}_2 < 50\%$

Los magmas hipersilícicos (antes llamados ácidos) acabarán formando más tectosilicatos, lo que les confiere un carácter más viscoso, mientras que los hiposilícicos (antes llamados básicos) formarán más nesosilicatos e inosilicatos, por lo que presentarán una viscosidad menor y podrán fluir con mayor facilidad.

2.3- Enfriamiento y consolidación magmática.

A medida que descienda la temperatura, el magma irá solidificando. Pero al tratarse de una mezcla, los distintos compuestos irán cristalizando según su punto de fusión. De esta manera el enfriamiento magmático da lugar a una serie de etapas:

-Etapa ortomagmática (hasta 400°C)

En ella tiene lugar la cristalización de la mayoría de los silicatos. Del magma original quedará una mezcla igualada de volátiles y de líquido.

-Etapa pegmatítica (entre 400 y 200 ° C)

Durante esta etapa cristalizan los silicatos de baja temperatura de fusión, los sulfuros y otros minerales de Li, Nb, St, W, Ta... Del magma original queda como residuo una disolución acuosa cargada de iones.

Etapa hidrotermal (entre 20 °C y temperatura ambiente)

Constituye la manifestación póstuma del magmatismo. Durante esta etapa salen a la superficie los gases y el agua caliente, precipitando los últimos residuos (sulfuros de Pb, Cu, Zn, así como Au, Ag, etc)

Un caso particular de hidrotermalismo lo constituyen los geiseres, las fumarolas y las mofetas.

Dependiendo del lugar donde se haya producido la cristalización del magma se obtendrán los tres tipos de rocas ígneas:

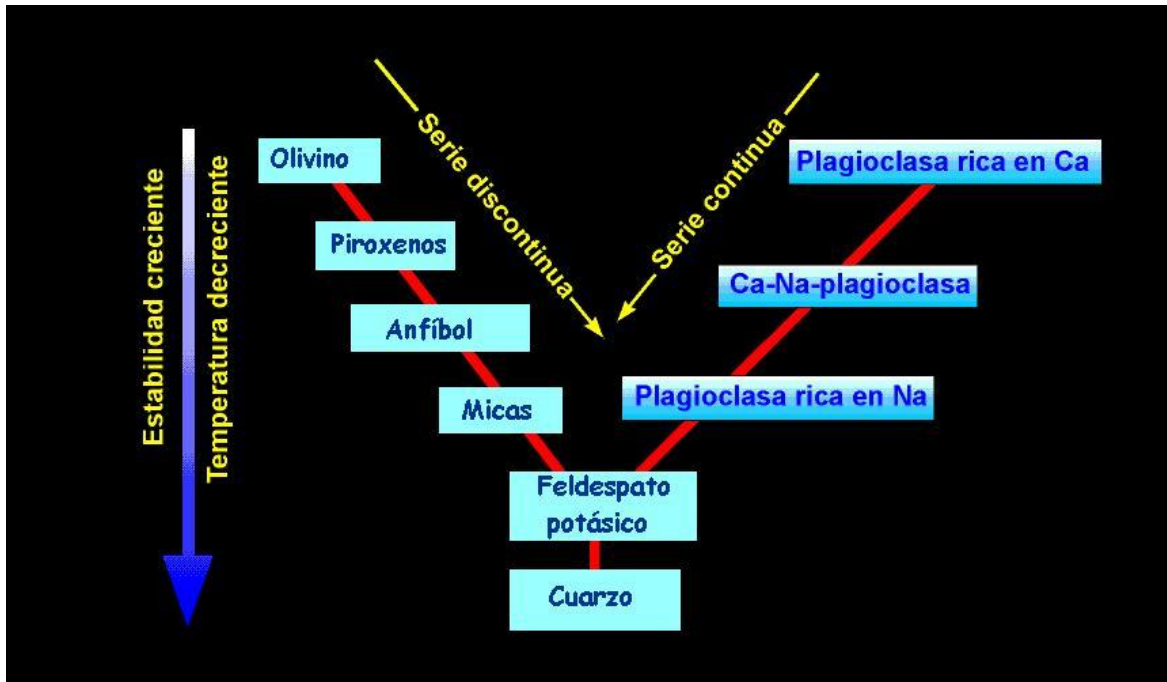
-Si la cristalización ha sucedido a una profundidad considerable: rocas plutónicas.

-Si ha solidificado en la superficie o cerca de ellas: rocas volcánicas.

-Si ha solidificado en grietas o filones: rocas filonianas.

2.4- Cristalización fraccionada y diferenciación magmática.

La fase magmática cuantitativamente más importante es la ortomagmática. En ella cristalizan minerales como óxidos de Cr, Ti, Al y Fe, pero sobre todo los silicatos. Éstos van apareciendo a medida que desciende la temperatura y se alcanzan los sucesivos puntos de fusión. Ordenándolos según el orden de aparición, obtendremos las famosas series de cristalización de Bowen.



En la serie continua (derecha) los minerales que van apareciendo tienen la misma estructura pero distinta composición (es una serie isomorfa de tectosilicatos)

En la serie discontinua (izquierda) los minerales que van apareciendo tienen distinta estructura y distinta composición.

Los minerales de mayor temperatura de fusión son ricos en Fe, Ca, Mg y Ti; y pobres en Si, Al, Na, K.

Los minerales de menor temperatura de fusión son pobres en Fe, Ca, Mg y Ti; y ricos en Si, Al, Na, K.

Una roca, no obstante, nunca tendrá todos los minerales de la serie de Bowen, ya que si aparece olivino y hay SiO₂ libre, reaccionarían para dar piroxeno.

También puede suceder que los primeros minerales en aparecer (Ol, Px An) caigan al fondo de la cámara magmática por ser más densos, o que el líquido emigre hacia la superficie. En este caso se formarían bandas de rocas con distintos minerales: es la diferenciación magmática.

Si el magma asciende durante el proceso de cristalización, los minerales que se forman quedan retrasados respecto al magma residual, de modo que no son posibles las reacciones entre términos extremos de la serie de Bowen. De manera que a partir de un magma inicialmente homogéneo, se producen varios tipos de rocas químicamente distintas a él y entre sí.

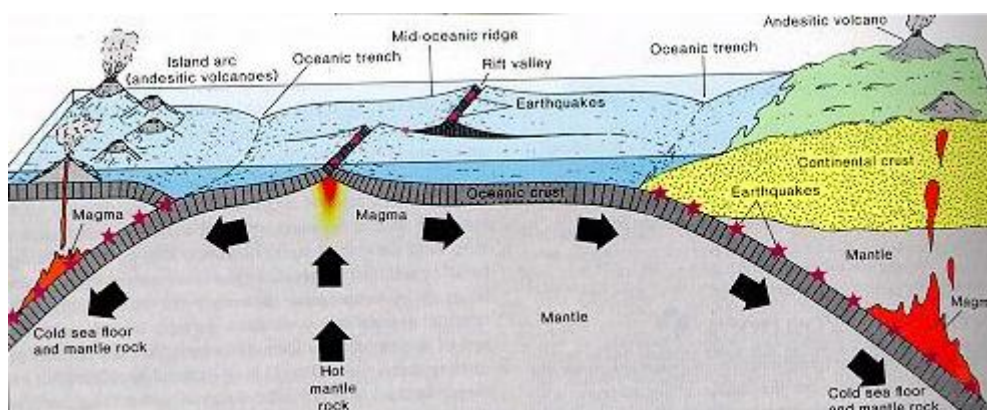
En su ascensión, el magma puede arrancar fragmentos de roca encajante.

-Si esa roca funde, se producirá una asimilación magmática.

-Si esa roca arrancada no llega a fundir, generará un enclave.

2.5- Origen y distribución de los magmas.

El hecho de que las ondas sísmicas S se propaguen hasta el núcleo terrestre prueba que el magmatismo no es un hecho generalizado en la corteza y el manto. La fusión de las rocas es, de hecho, una situación infrecuente que tiene lugar en el manto superior y que se manifiesta en los bordes de las placas litosféricas.



-Los magmas originados en la corteza serán de carácter hipersilícico y sus elementos traza serán U, Rb, Pb y Eu.

-Los magmas originados en el manto serán de carácter hiposilícico y sus elementos traza serán Ni, Co y Ti.

Además de los magmas profundos o primarios, existen los llamados magmas de anatexia, originados a partir de una roca sedimentaria que ha sufrido metamorfismo por enterramiento y ha llegado a fundir parcialmente.

En el pasado se pensaba que todos los magmas eran anatéticos y constituían la causa última del origen de las cordilleras, pero está demostrado que los magmas de anatexia son locales y muy minoritarios.

2.6- Textura y estructura de las rocas magmáticas.

En cualquier roca, la textura y estructura dan idea del origen de la misma. Pero mientras en las rocas sedimentarias se puede asistir a su origen, en las rocas magmáticas no suele ser posible. Por tanto, la textura de las rocas ígneas va a ser fundamental para conocer su génesis, en especial:

-El orden de cristalización de los minerales.

-La velocidad de cristalización.

-La profundidad a la que se consolidó la roca.

Si tenemos en cuenta que las rocas plutónicas solidifican a profundidades considerables (y por tanto su temperatura baja lentamente mientras que la presión permanece constante) y las rocas volcánicas solidifican en la superficie (por lo que su presión y temperatura descienden bruscamente), es fácil entender que sus respectivas texturas y estructuras serán muy diferentes. Por su parte las rocas filonianas manifestarán texturas con características intermedias.

Texturas de las rocas magmáticas.

Existen varios parámetros a la hora de considerar las texturas de las rocas magmáticas:

A) Según el grado de cristalización.

-Holocristalina: todo el magma ha cristalizado. Implica un descenso lento de la temperatura (rocas plutónicas)

-Hipocristalina: Han aparecido algunos minerales, pero parte del magma ha solidificado rápidamente convirtiéndose en vidrio (rocas volcánicas)

-Holovítrea: Todo el magma se ha convertido en vidrio. Implica un descenso brusco de temperatura (rocas volcánicas)

B) Según el grado de idomorfismo.

-Panidiomorfa: Todos los minerales son externamente geométricos.

-Subidiomorfa: Algunos minerales tienen forma geométrica (los que han cristalizado en primer lugar) y otros tienen formas irregulares (los últimos en cristalizar)

-Panalotriomorfa: Ningún mineral tiene forma geométrica (indica que todos los minerales han cristalizado a la vez)

C) Según el tamaño de grano.

-Fanerítica: la roca está formada por minerales visibles al ojo humano (implica que ha habido pocos núcleos de cristalización y que el crecimiento ha sido lento)

-Afanítica: La roca contiene en exclusiva minerales que sólo pueden ser vistos al microscopio (la temperatura ha bajado bruscamente y han aparecido muchos núcleos de cristalización)

D) Según el tamaño relativo de los granos minerales.

-Porfídica: Algunos cristales de gran tamaño (fenocristales) rodeados por una masa de de cristales mucho menores (microlitos) y también vidrio. Indica una primera etapa tranquila de cristalización y otra posterior con un enfriamiento brusco. (Rocas volcánicas)

-Granuda: Son rocas formadas por minerales de un tamaño similar. Implica que sólo ha existido una etapa de cristalización lenta y tranquila. (Rocas plutónicas)

E) Texturas secundarias.

-Coronas de reacción: Los bordes de los minerales están alterados y convertidos en arcilla por la meteorización.

-Desmezclas: Dos minerales que con temperaturas altas son miscibles, se separan en dos fases distintas al enfriarse.

-Esferulitos de desvitrificación: Vidrio que ha comenzado a cristalizar formando cristales en disposición radial.

F) Otras.

-Fluidal: minerales lineales y planares orientados en una dirección preferente, lo que indica una cristalización simultánea con el movimiento de magma. (Rocas volcánicas)

-Burbujas de desgasificación: Los gases disueltos en el magma se separan del líquido al sufrir éste una descompresión brusca y forman burbujas que pueden quedar atrapadas durante la solidificación de la lava. (Rocas volcánicas)

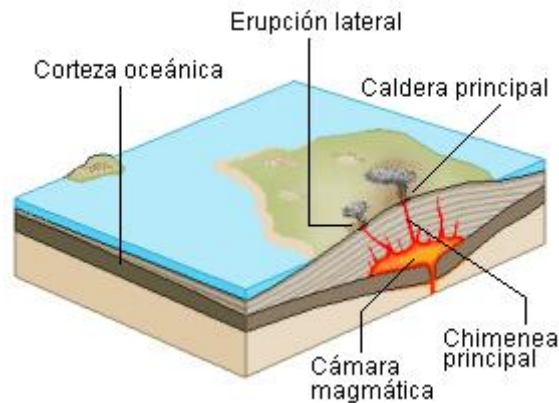
Estructuras de las rocas magmáticas.

Si la textura de una roca hace referencia a sus características geométricas a escala microscópica, la estructura hace hincapié en su disposición geométrica a escala de afloramiento. También será diferente dependiendo del lugar donde se emplazó y solidificó el magma.

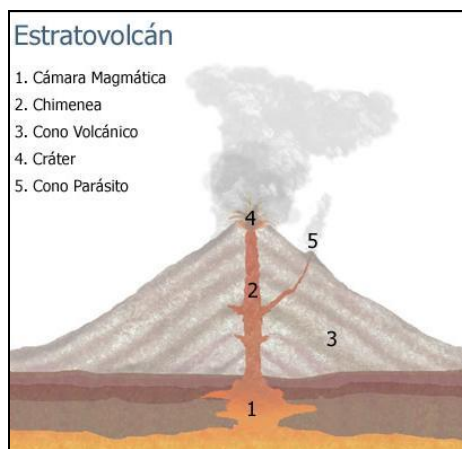
Estructuras volcánicas.

A) Mesetas basálticas: Tienen su origen en lavas muy fluidas que salen a la superficie a través de grietas inundando grandes extensiones antes de solidificar. (Islandia)

B) Volcanes en escudo: domos de pendiente muy suave (10-15º) constituidos por acumulaciones de lavas fluidas. (Haway)



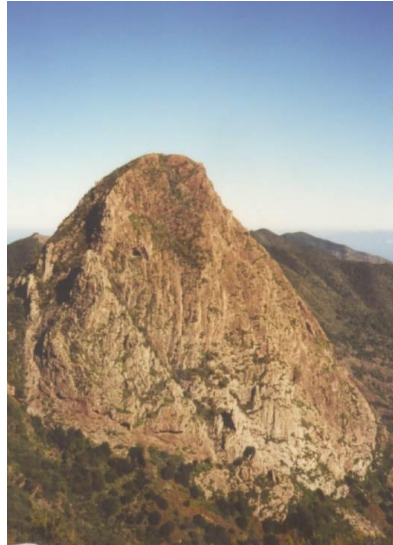
C) Estrato-volcanes: Domos de pendiente abrupta (30-40º) constituidos por la caída de piroclastos y cenizas (Teide, Fuji)



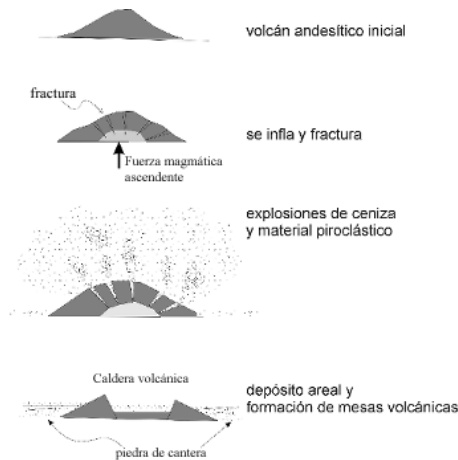
D) Domos de lava: Lavas muy viscosas que no fluyen y solidifican enseguida, sufriendo después el empuje de los gases del interior del conducto volcánico.



E) Pitones: La lava solidifica antes de salir al exterior taponando e conducto volcánico. Con frecuencia es expulsada violentamente por el empuje de los gases. (Mont Pelee)



F) Calderas: Estructuras formadas por el colapso del techo de la cámara magmática al disminuir la presión gaseosa de interior, o bien por una gran explosión que revienta y dispersa el techo de la cámara magmática (Krakatoa)



Estructuras plutónicas.

A todas ellas se les denomina globalmente plutones. Se suelen clasificar atendiendo a su relación con la roca encajante (concordante o discordante) o bien por la forma (tabulares masivos)

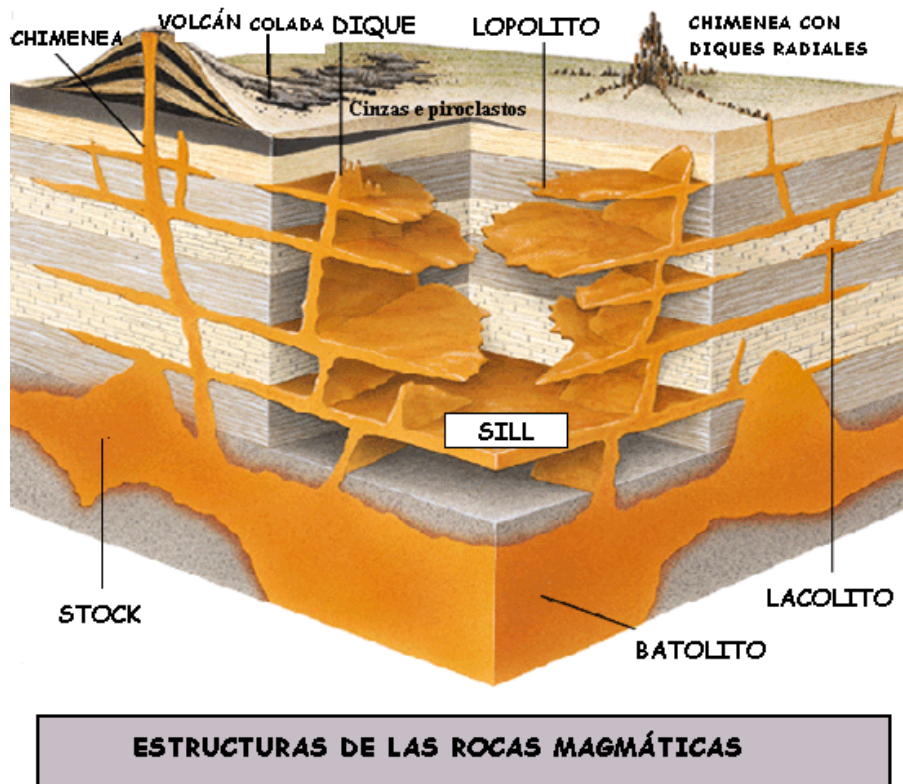
A) Tabulares o concordantes: Lopolitos, lacritos y facolitos.

B) Masivos o discordantes: Batolitos y stocks

Estructuras filonianas.

A) Diques: Masas tabulares discordantes con la roca encajante, frecuentemente agrupados e familias de la misma dirección y buzamiento (el magma ha aprovechado fallas o diaclasas preexistentes)

B) Sills: Masas tabulares concordantes con la roca encajante. Se trataría de coladas volcánicas subterráneas que no han salido a la superficie por encontrarse en su camino con rocas o sedimentos menos densos que el magma.



2.7. Clasificación de las rocas magmáticas.

La textura y la estructura sirven para determinar el ambiente en el que se ha consolidado una roca magmática. Una vez resultado el origen la roca puede ser clasificada en función de su contenido mineral.

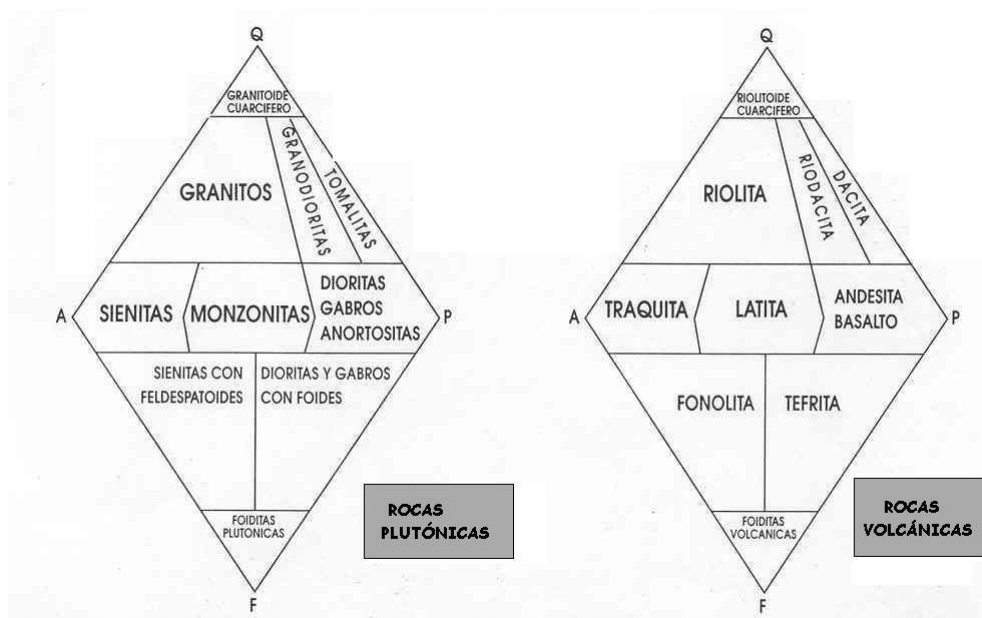
La clasificación más aceptada es la elaborada por Streckeisen que ordena las rocas en función de cuatro componentes minerales esenciales y de sus proporciones relativas:

Q- Cuarzo.

A- Feldespatos alcalinos (ortosa, microclima, sanidina, anortoclasa, albita)

P- Plagioclasa (excepto albita)

F- Feldespatoides.



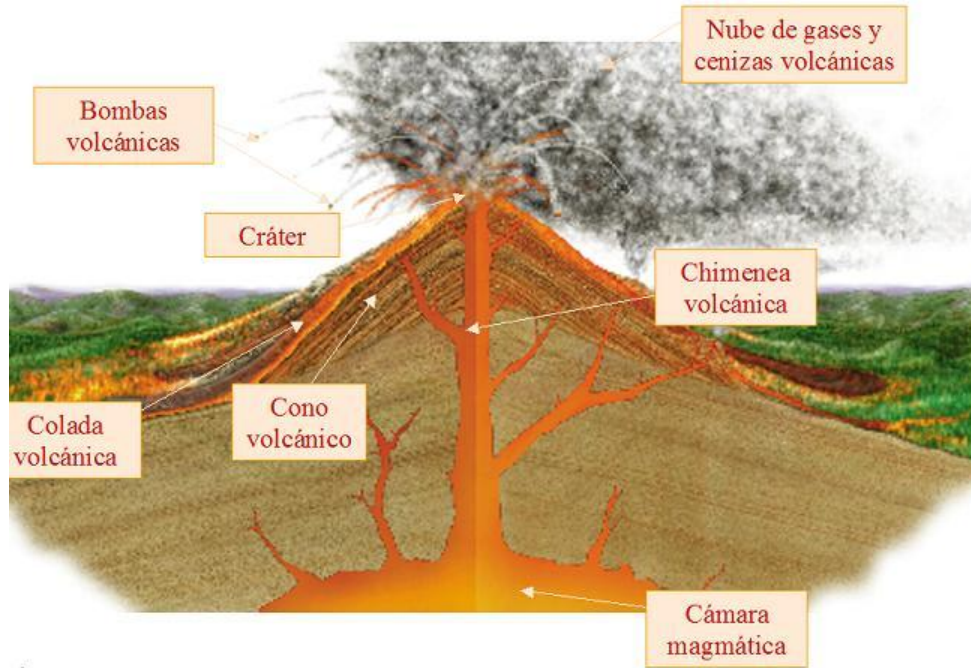
2.8- La actividad volcánica.

El vulcanismo constituye quizá la manifestación más evidente de la actividad interna de la Tierra, constituyendo una pieza fundamental para la elaboración de la Teoría de la Tectónica de Placas. Por otra parte, las dos terceras partes de la superficie planetaria están constituidas por rocas volcánicas (basaltos oceánicos), y guardan enormes reservas de materias primas aún inexploradas. Además, las emisiones gaseosas de los volcanes fueron el origen de la primitiva atmósfera, y el clima, en buena medida sigue dependiendo de la actividad volcánica.

a) Magmatismo y vulcanismo.

El fenómeno volcánico tiene su origen en el magmatismo. Si en una zona de la corteza o del manto, se dan las condiciones de presión y temperatura adecuadas, se generarán masas fundidas que se abrirán camino hacia la superficie. Parte de él se emplazará y cristalizará en el interior de la propia corteza, pero parte conseguirá llegar a la superficie, iniciándose la actividad volcánica.

b) Estructura de un volcán y tipos de erupciones volcánicas.



En función del carácter viscoso o fluido del magma, de la cantidad de gases disueltos, y del porcentaje que haya solidificado antes de salir al exterior, las erupciones volcánicas se clasifican en cuatro tipos:

-Tipo hawayano (efusivas). El magma posee pocos gases y sólidos, de modo que se expulsan lavas líquidas muy fluidas, que recorren grandes extensiones, sin producir explosiones violentas. Los volcanes presentan pendientes muy bajas. (Kilawea)



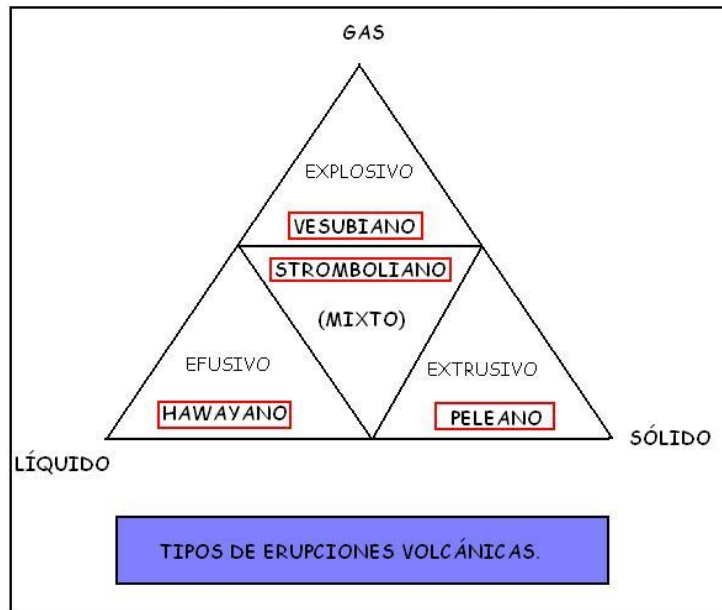
-Tipo vesubiano o vulcaniano (explosivas). El magma posee una gran cantidad de gases disueltos. Al acercarse a la superficie, el magma se desgasifica y se transforma en un líquido repleto de burbujas gaseosas, que son liberadas por medio de explosiones, llegando a generar nubes de cenizas ardientes. Generan conos volcánicos con grandes pendientes (Etna, Vesubio)



Tipo Peleano (extrusivas). El magma es muy viscoso, y solidifica antes de salir al exterior, taponando el conducto volcánico. El tapón se ve empujado por la presión de los gases de la cámara magmática, hasta que explota violentamente, llevándose consigo todo el cono volcánico. Se generan nubes ardientes de polvo y gas, que arrasaron todo a su paso. (Mont Pelee, Kracatoa)



Tipo Stromboliano (mixtas) Poseen un porcentaje intermedio de sólido, líquido y gas, y poseen características intermedias.



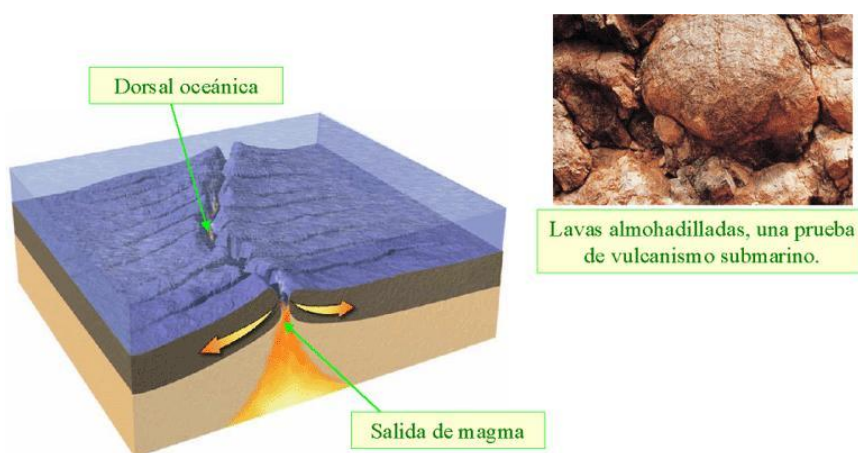
c) Productos volcánicos: lavas, piroclastos y gases.

Productos líquidos: lavas. Se denomina lava al magma una vez desgaseado. En función de su contenido en sílice, serán más o menos viscosas.

Lavas aa- son viscosas, solidifican pronto y se cuarteán, formando bloques que son arrastrados por las coladas.

Lavas pahoehoe- Son fluidas y recorren largas distancias. La parte superior de la colada, solidifica antes, y es arrugada por el interior líquido. Pueden formarse túneles de lava.

Lavas almohadilladas- Son típicas de erupciones submarinas, donde debido a la presión hidrostática, el magma no se desgasea con violencia, y fluye el magma con tranquilidad, generando bolas que se acumulan a los lados de las fisuras.



Productos sólidos: piroclastos. Son fragmentos solidificados durante la ascensión del magma, que son arrojados en todas direcciones. Si tienen tamaños grandes, se habla

de bombas, si tienen tamaño arena o gravilla, se denominan lapilli, y si tienen tamaños menores, cenizas.



A veces, se forman nubes ardientes de cenizas, que fluyen ladera abajo, arrasando todo a su paso: son las ignimbritas.

En el caso de climas fríos, el calor de la erupción, hará fundir la nieve, y se producirán avalanchas de cenizas, agua y lodo: lahares.

Gases.

El porcentaje de gas en una erupción volcánica oscila entre un 1 y un 8 por ciento. Mas de la mitad del cual, suele ser agua, y el resto está constituido por CO_2 , N_2 , NH_3 , SO_2 , CO , y pequeñas cantidades de otros. (En la erupción del Saint Helen en 1973, se liberaron 125000 Tm de HCl, y 200000 Tm de HF, pese a ser estos gases minoritarios).

Las emisiones de gas son más evidentes en las manifestaciones póstumas del vulcanismo:

-géiseres-Disoluciones de agua que salen a 100 o 200 grados



-fumarolas- Emisiones de gases de azufre o carbono en volcanes en los que ha habido actividad reciente.

d) distribución geográfica del vulcanismo.

La mayor parte de los volcanes activos, se encuentran en los límites de placas: Dorsales oceánicas, zonas de subducción (orógenos marginales y arcos isla), y en cordilleras intracontinentales jóvenes.

En España, las zonas volcánicas recientes, están situadas en Canarias, Gerona y Ciudad Real.

