



Tema 4. MAGMATISME

CIÈNCIES DE LA TERRA I EL MEDI AMBIENT – 1º BATXILLERAT

1. EL MAGMA: ROQUES LÍQUIDES

- 1.1. Formació del magma
- 1.2. Procés de solidificació
- 1.3. Canvis en la composició magmàtica
- 1.4. Roques ígnies o magmàtiques
- 1.5. Tipus de magmes

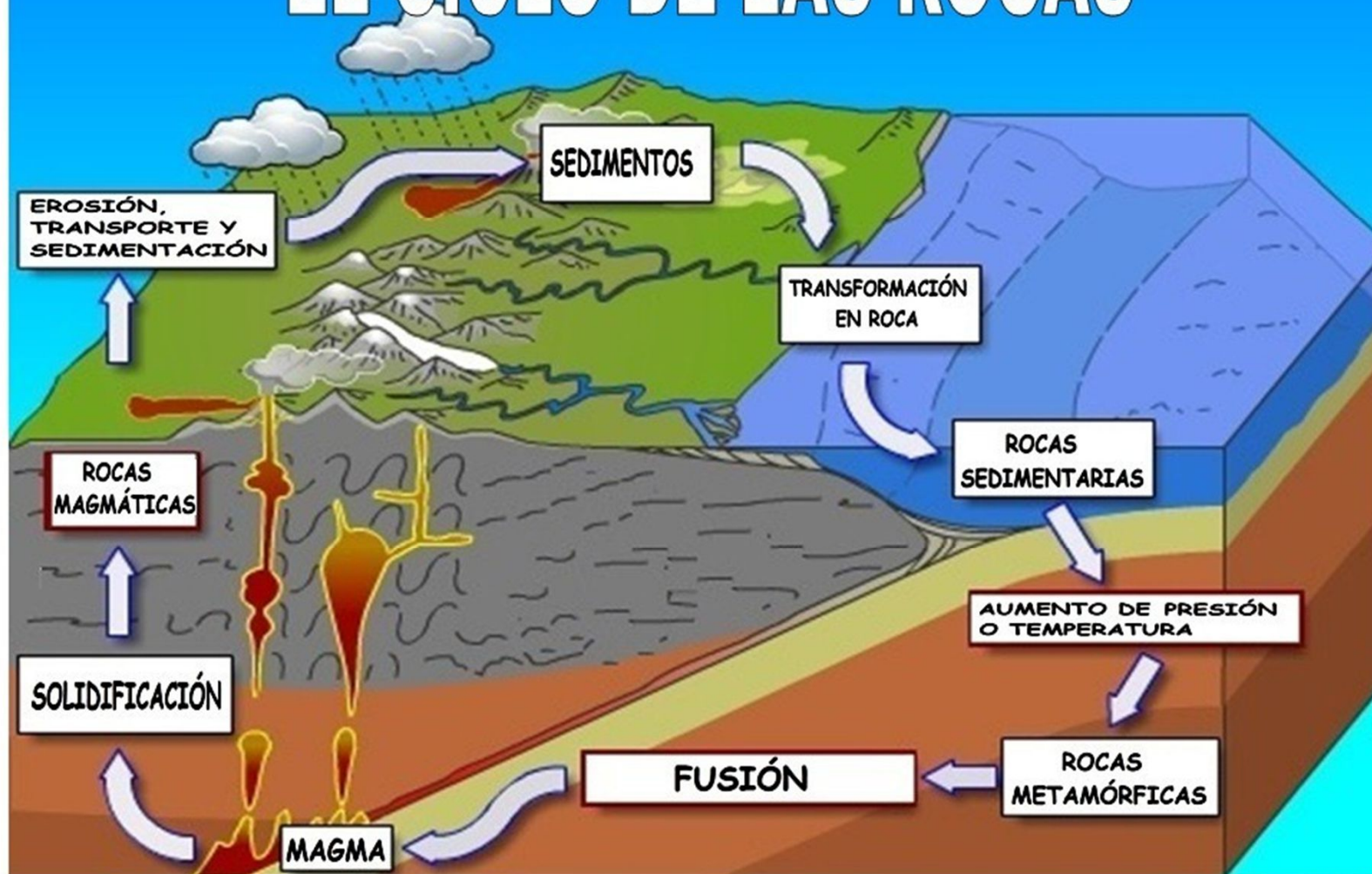
2. ERUPCIONS VOLCÀNIQUES

- 2.1. Anatomia d'un volcà
- 2.2. Tipus de volcans (estructures)
- 2.3. Productes volcànics
- 2.4. Fases d'una erupció
- 2.5. Tipus d'erupcions
- 2.6. Relació amb la tectònica de plaques

3. EL KRAKATOA (22 desembre 2018)

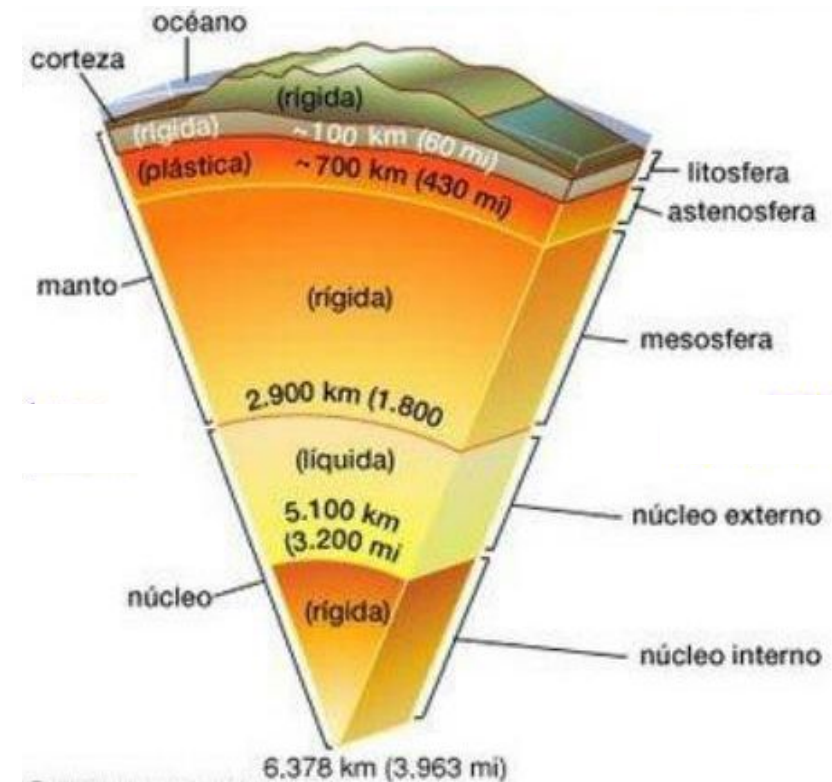
ÍNDIX

EL CICLO DE LAS ROCAS



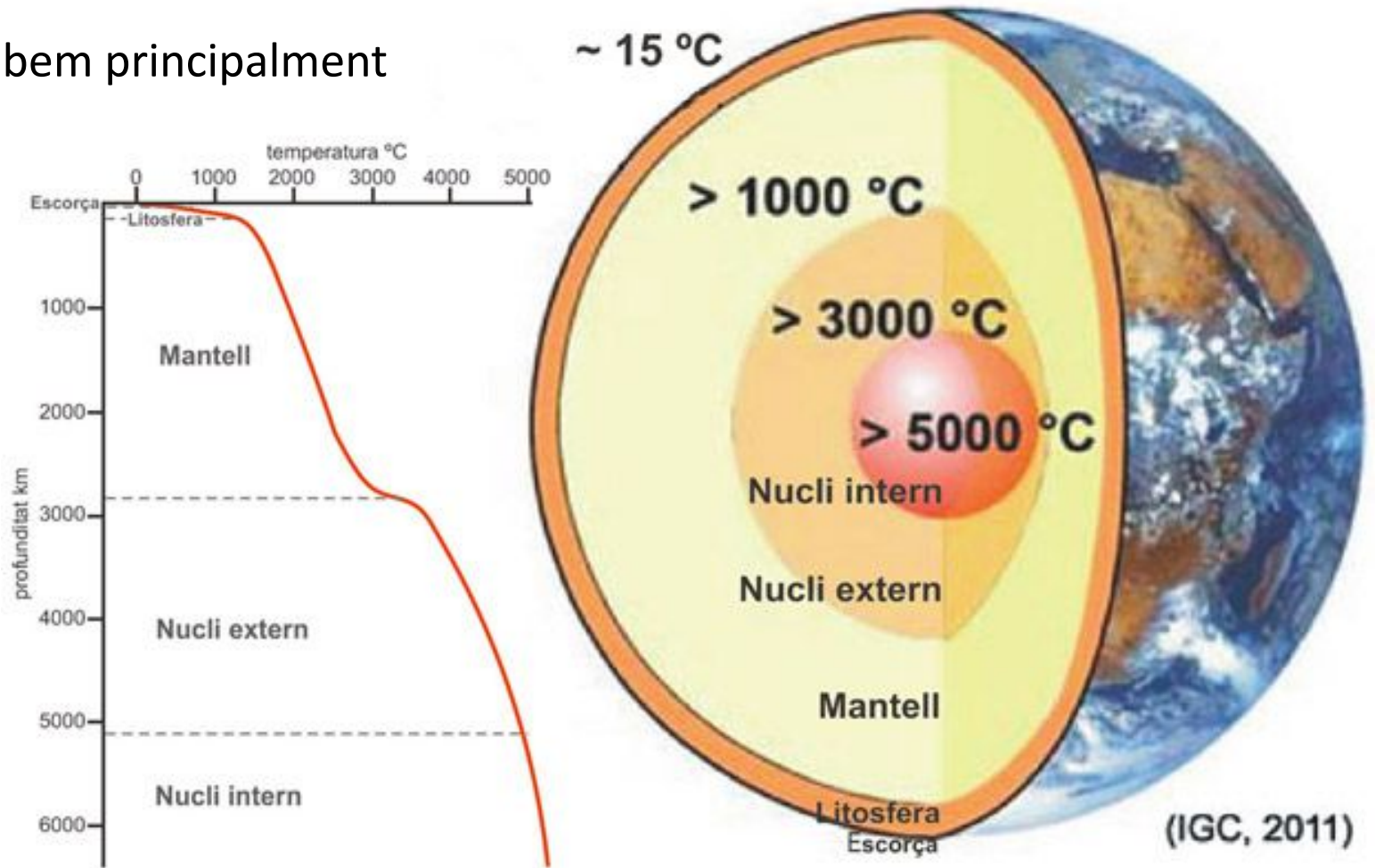
1. EL MAGMA: ROQUES LÍQUIDES

- ▶ Magma = barreja de minerals en estat líquid (silicats amb gasos dissolts: H_2O , CO_2 , F_2 , Cl_2 ,...) però també pot contenir fases sòlides (cristalls i fragments de roques)
- ▶ Concepte de magma implica coexistència de sòlid, líquid i gas → separació en determinades condicions
- ▶ On trobem material líquid?
 - Nucli extern (materials metàl·lics), part superior del mantell o astenosfera (magma → 70-200km: condicions per la fusió) i l'escorça inferior.



Temperatures de l'interior terrestre

El magma el trobem principalment
a **700-1500°C**



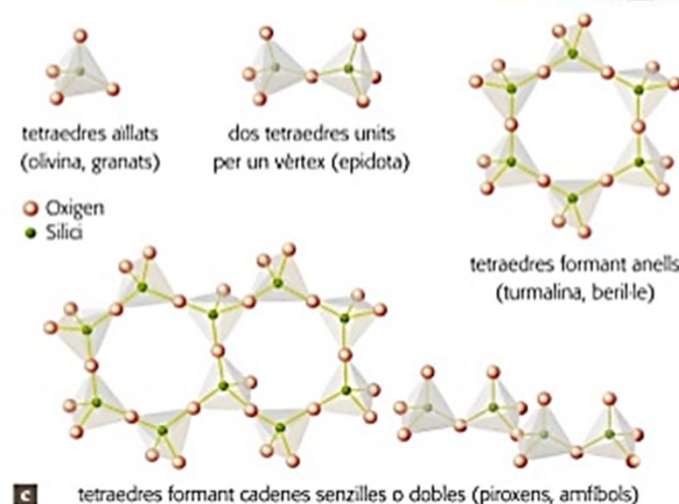
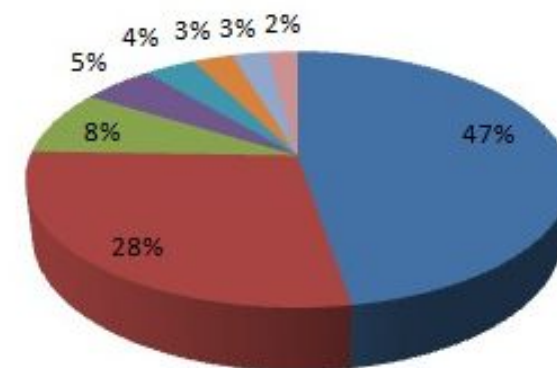
Composició

► Elements: O, Si, Al, Ca, Fe, Mg, Na i K.
Parlem d'òxids (SiO_2 , CaO , H_2O ,...) perquè l' O_2 és l'anió més important.

► El més important és el SiO_2 : 50-70%

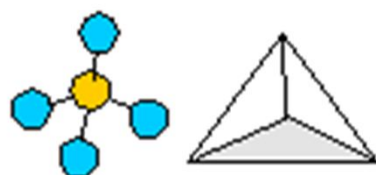
- Magma amb molt Si: 700-900°C
- Magma amb poc Si: 1200-1000°C

oxigeno silicio aluminio hierro
calcio sodio potasio magnesio



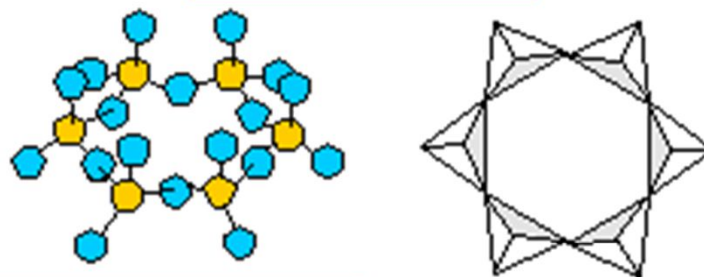
Estructuras cristalinas de los silicatos

Tetraedros



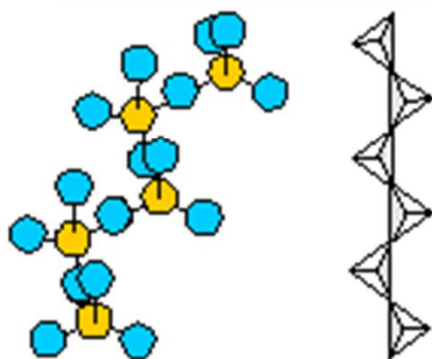
Ejemplo: Olivino

Ciclosilicatos



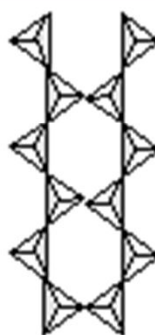
Ejemplo: Berilo

Cadenas



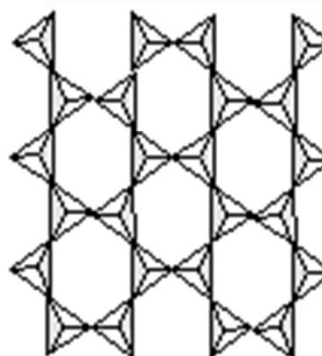
Ejemplo: Piroxeno

Cadena doble



Ejemplo: Anfíbolos

Laminas

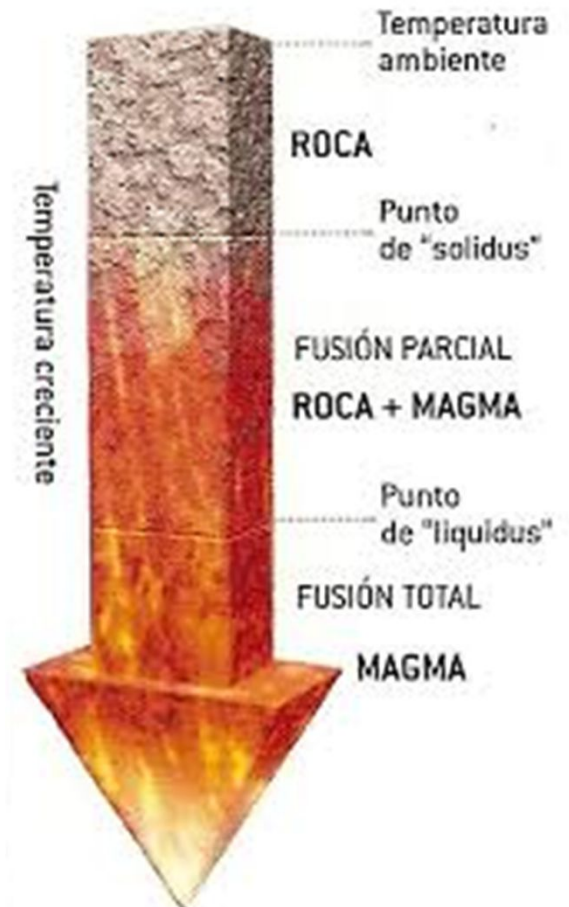


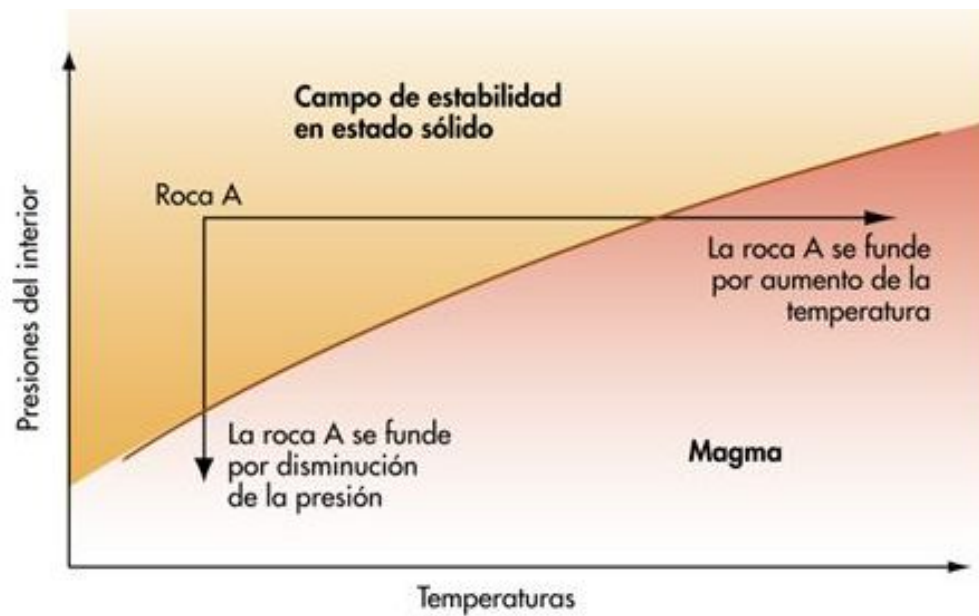
Ejemplo: Caolinita

1.1. Formació del magma

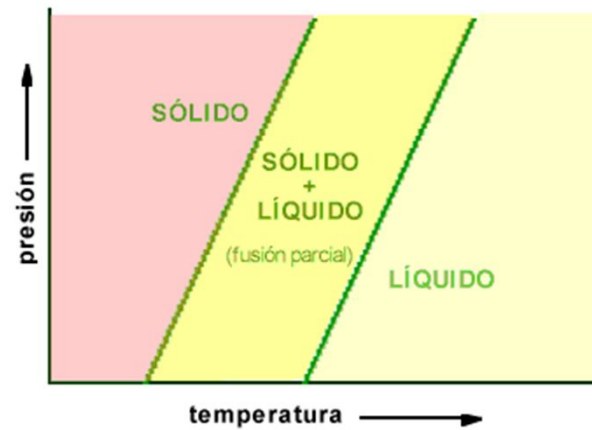
- ▶ Fusió parcial o total de roques (material sòlid)
- ▶ Poden fusionar per 3 processos:
 - $\uparrow T^a$: descendeix per les zones de subducció
 - $\downarrow P$: per formació d'una fractura o perquè ascendeix a zones més superficials en dorsals, falles profundes o punts calents.
 - **Incorporació d'aigua**: s'interposa entre les molècules i $\downarrow$ punt de fusió de la roca

Punt de solidus: T^a en què comença a fondre's una roca
Punt de liquidus: T^a en què la fusió és total

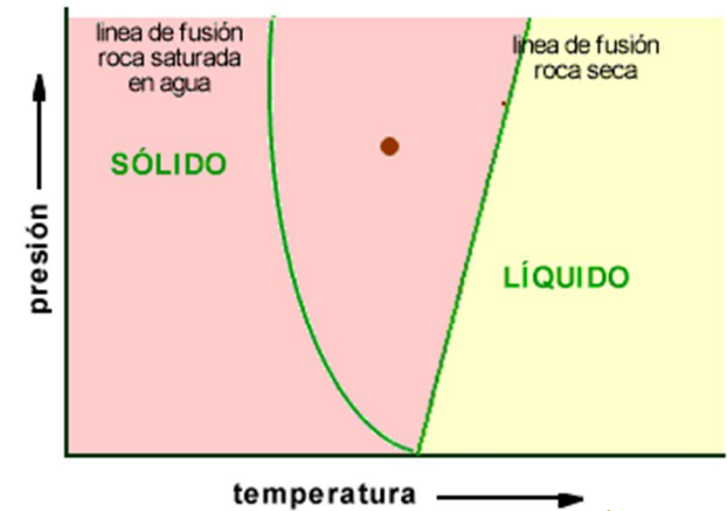




Cada mineral té el seu punt de fusió → **interval de fusió** (part fosa i part sòlida)



Incorporació d'H₂O



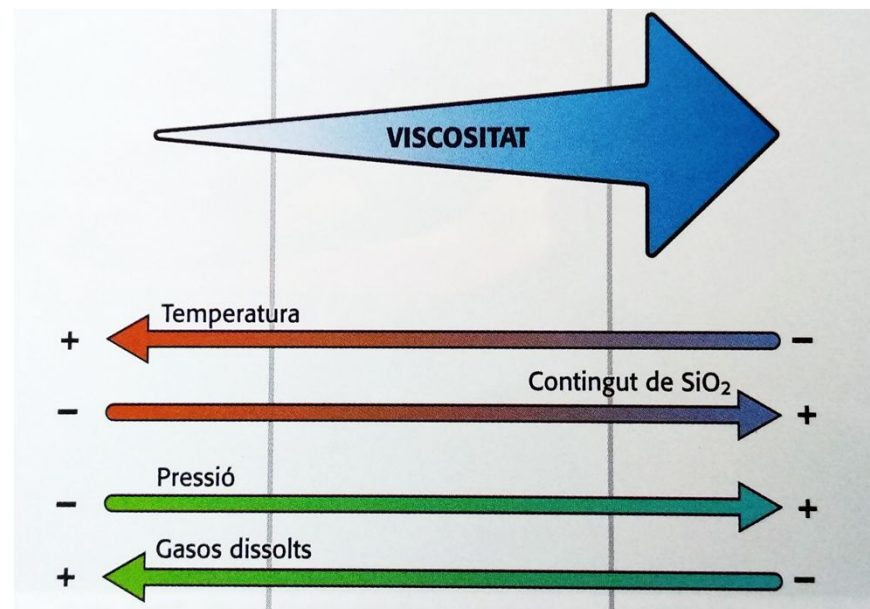
H₂O → ↓ punt de fusió de les roques!!

1.2. Procés de solidificació

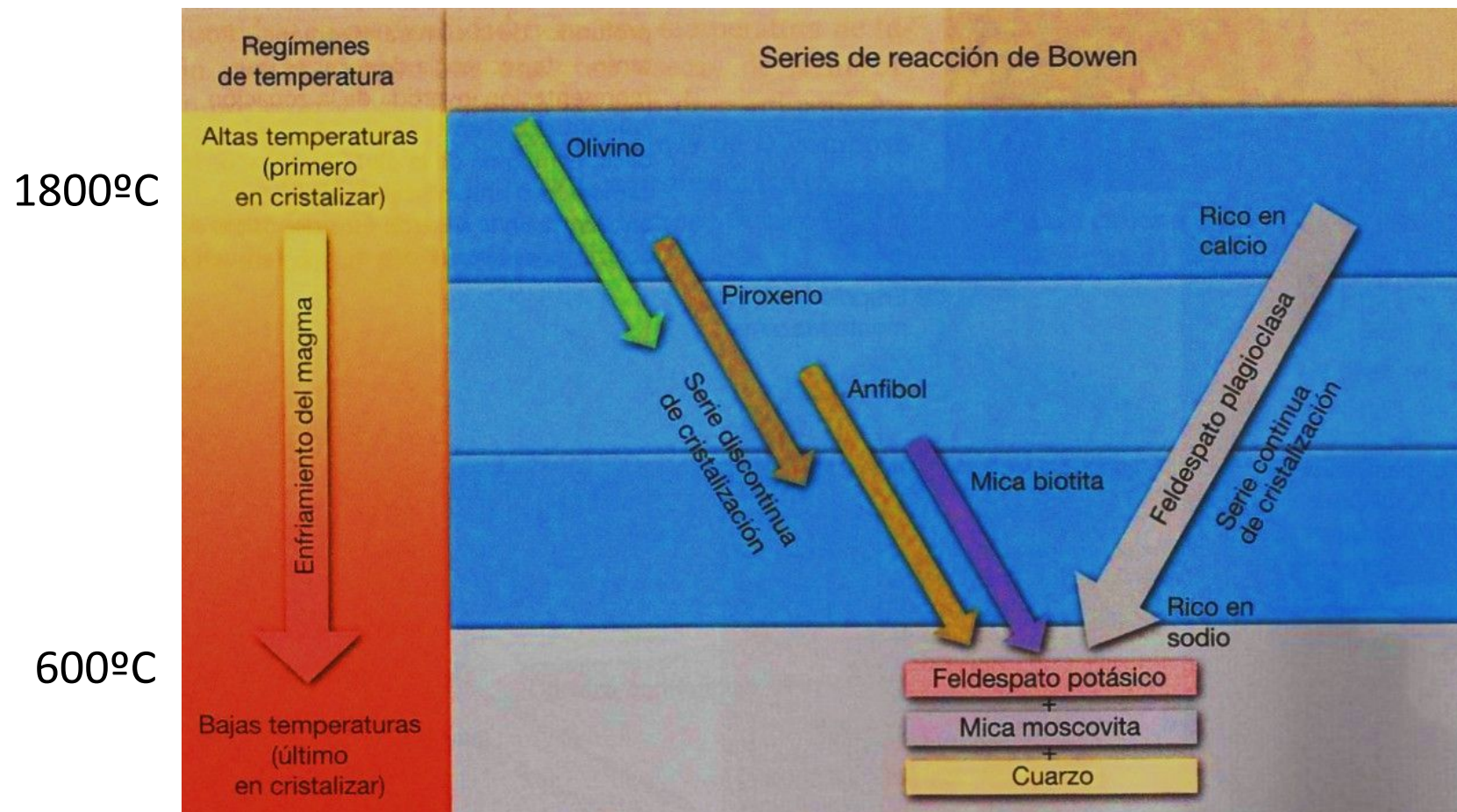
- ▶ Quan el magma es refreda i solidifica → **roques ígnies o magmàtiques**
- ▶ La solidificació del magma depèn de: la composició química, la T^a , el contingut de gasos, la viscositat i la densitat del material.
- ▶ **Viscositat**: propietat estretament relacionada amb el procés de solidificació.

Factors que l'afavoreixen:

- ❖ $\uparrow P$
- ❖ Més contingut de Si (forma minerals amb estructures moleculars molt complexes)
- ❖ Menys gasos dissolts
- ❖ $\downarrow T^a$



- Composició complexa dels magmes → solidificació/cristal·lització dels minerals es produeix en intervals diferents

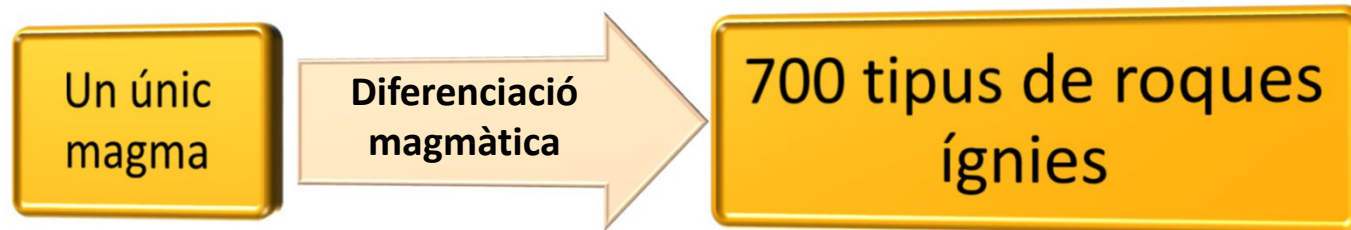


Sèries de reacció de Bowen



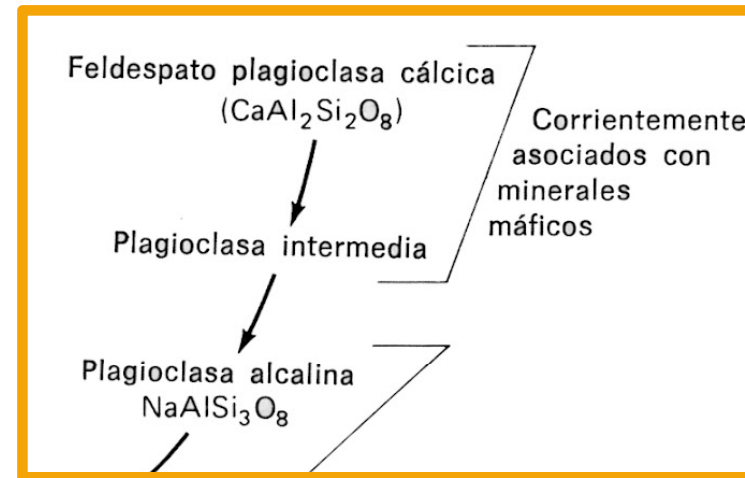
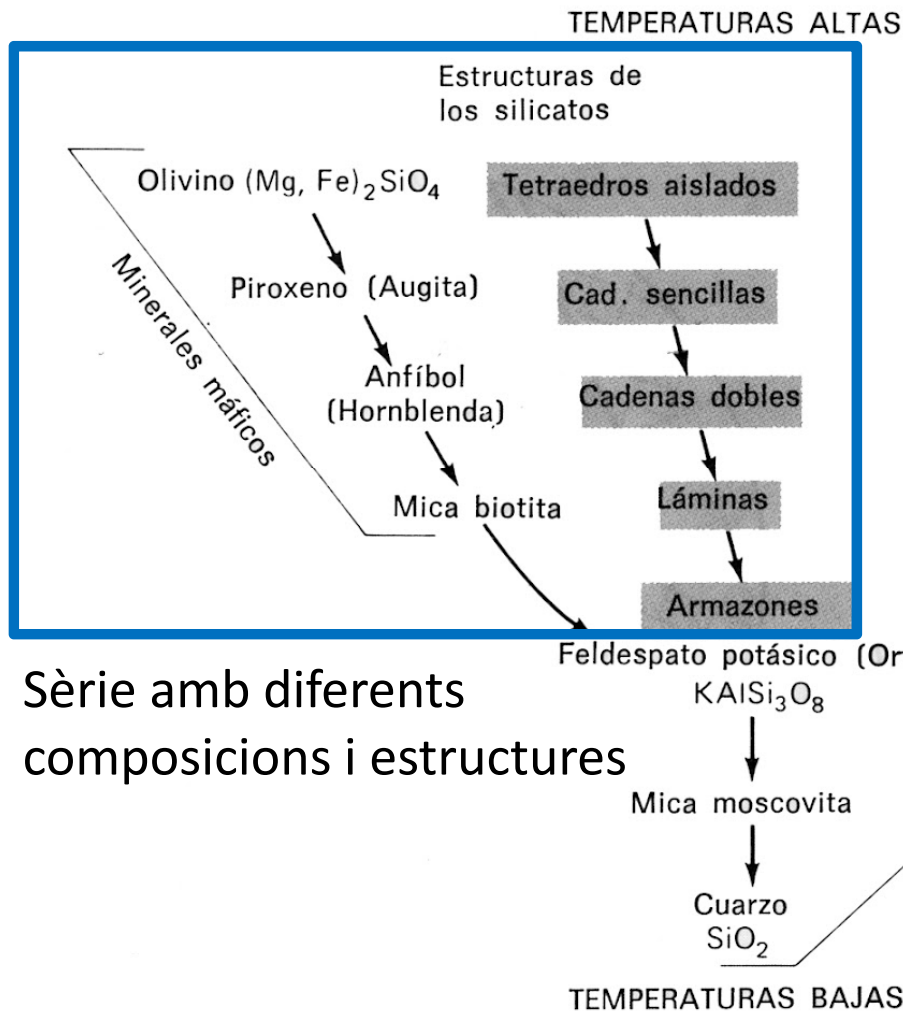
Norman L. Bowen

- ▶ Serveixen per classificar els minerals **silicats** magmàtics (els més comuns) segons la T^a a la que solidifiquen (ordre de cristallització)
 - Minerals superiors: els primers a refredar-se
 - Minerals inferiors: els últims a formar-se
- ▶ Una sèrie de reacció contínua: sèrie plagiòclasi (de l'anortita fins l'albita)
- ▶ Una sèrie de reacció discontinua: minerals ferromagnèsics o **màfics** (olivina, piroxè, amfíbol i biotita)
- ▶ Poden aparèixer junts els minerals que es troben a la mateixa línia horitzontal (olivina-anortita, biotita-albita,...)



Sèrie de reacció discontinua

Sèrie de reacció continua



- Sèrie amb diferents composicions i estructures

- Sèrie isomorfa
- Quan la quantitat de Na és suficient, precipita l'albita

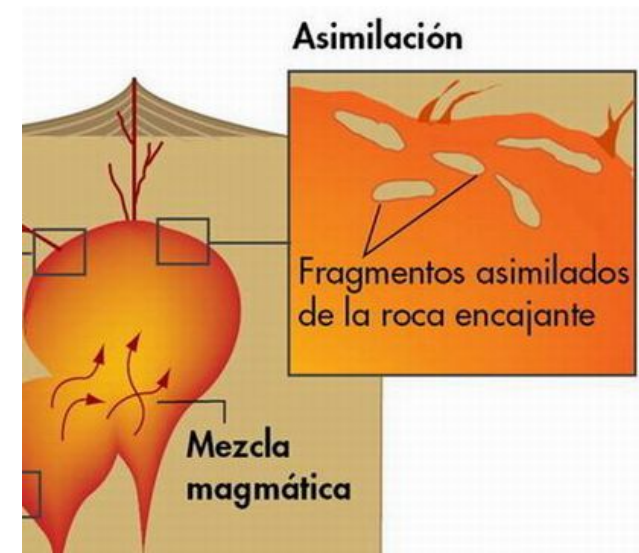
**Fèlsics = dit dels minerals, roques o magmes rics en elements lleugers com el Si, O, Al, Na i K.*

1.3. Canvis en la composició del magma

- ▶ Des que el magma es forma fins que es consolida, experimenta constants canvis de composició. Els principals mecanismes que ho expliquen són la diferenciació magmàtica i l'assimilació magmàtica

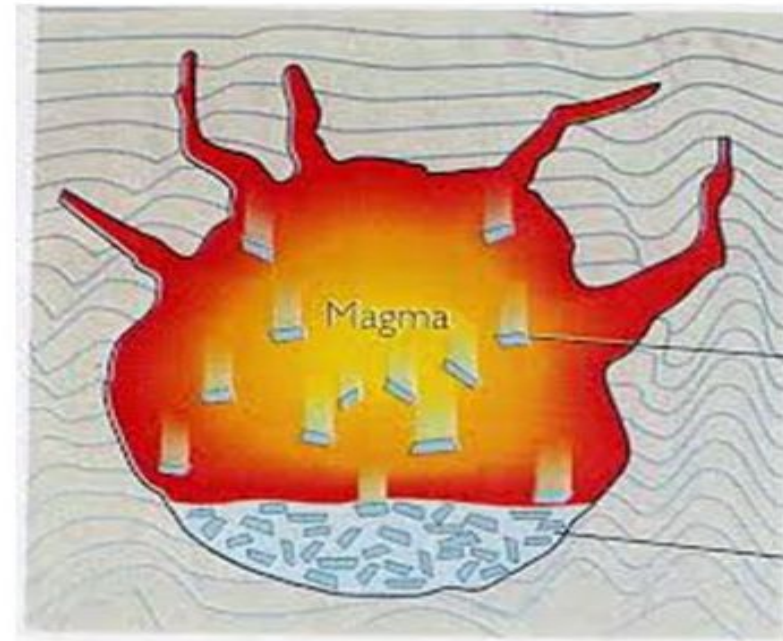
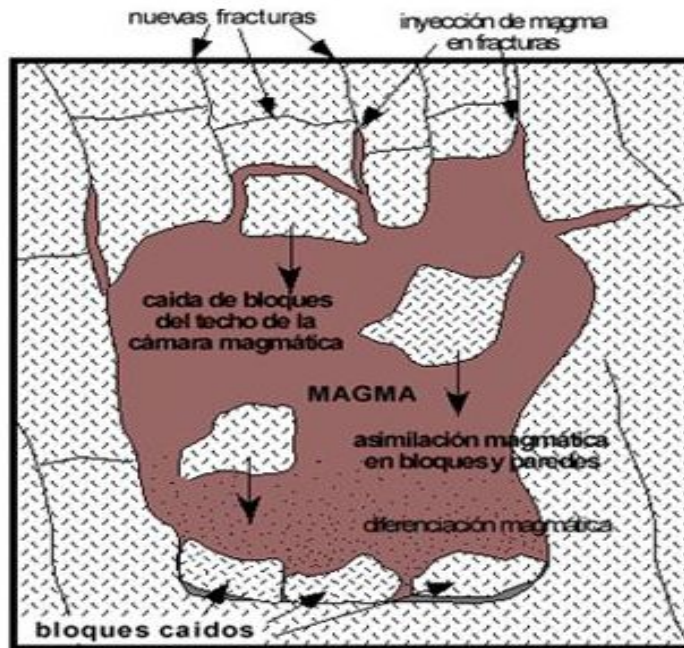
□ ASSIMILACIÓ MAGMÀTICA:

Té lloc quan els magmes reaccionen amb les roques en què estan encaixats i s'altera la seva composició química original.



❑ DIFERENCIACIÓ MAGMÀTICA:

Es produeix a les cambres magmàtiques quan el magma es refreda lentament: cristal·lització fraccionada dels minerals (precipiten i el magma s'empobreix) → composició del magma va variant → **Sèries de reacció de Bowen**



1.4. Tipus de magmes

► Segons la composició química (contingut de SiO_2), es diferencien:

- T_a**
1. Magma **àcid**:
 - +65% de Si (+ viscós)
 - Poques vegades arriba a la superfície i si ho fa solidifica ràpid
 - Roques de colors clars
 2. Magma intermedi: 65-50% de Si
 3. Magma **bàsic**:
 - 50-40% de Si (- viscós) → magma fluid
 - Arriba a **superfície**
 - Roques de colors foscos (ex: basalt)
 4. Magma ultrabàsic: -40% de Si → és el menys abundant



Exemples

Tipo de magma	Clase de lava	Roca volcánica
Ácido	> 70% SiO ₂	Riolita
Intermedio	50 - 70% SiO ₂	Andesita
Básico	< 50% SiO ₂	Basalto



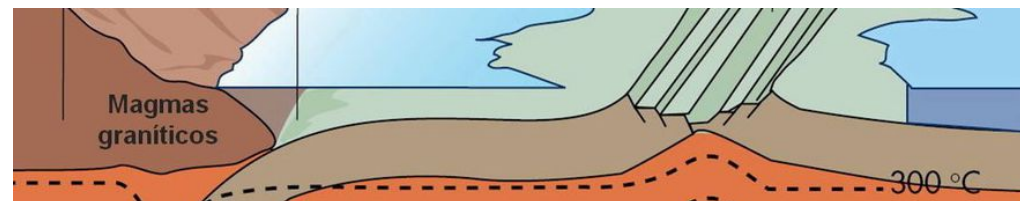
► Segons l'origen, es diferencien:

- a) Magmes primaris: conserven la composició de la roca que els ha originat
- b) Magmes secundaris: formats per mescles de magmes primaris. És el més comú.
Per tant, es formaren per mescla, diferenciació o assimilació magmàtica.

❑ MAGMES PRIMARIS:

- **Granítics: ÀCID**

- ↑ % de SiO_2 → molt viscós → flueix lentament
- Procedeix de la fusió de roques de l'escorça continental → zones de subducció (20-30km)
- Queda retingut a l'escorça i poques vegades arriba a la superfície. Però, quan hi arriba → ↑↑explosivitat (violent)
- $T^a < 800\text{ }^{\circ}\text{C}$



Lava àcida i viscosa:



Colada volcánica reciente en la isla de La Palma.

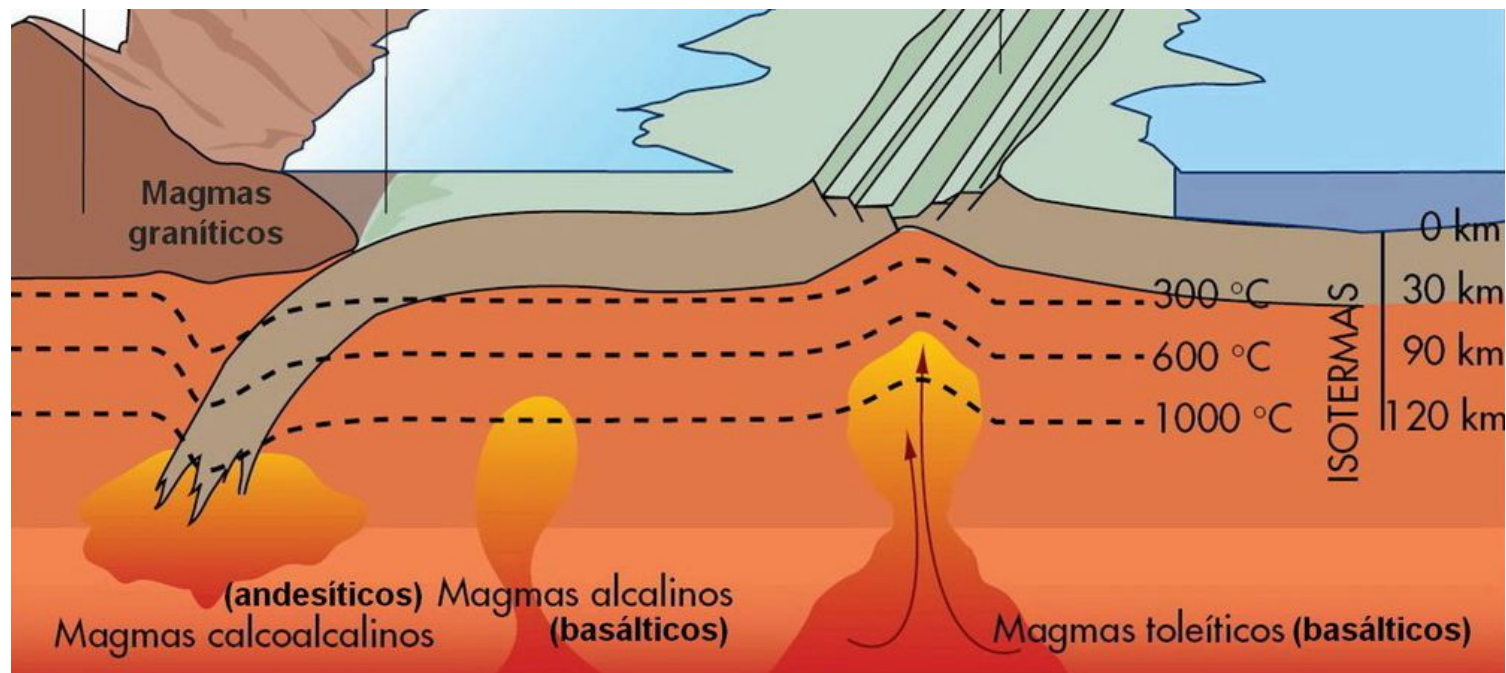


- **Basàltics: BÀSIC**

- Tª elevades: 900- 1200 °C
- ↓ % de SiO₂ → fluid
- Pot arribar fàcilment en superfície
→ rius de lava



- Segons d'on procedeixen diferenciem:
 - Toleítics: dorsals oceàniques
 - Alcalins: intraplaca, punts calents*
 - Calcoalcalins ($\uparrow\%$ de Ca): zones de subducció



Punt calent o *hot-spot = focus puntual d'elevada T^a per on ascendeix magma del mantell. Es pot trobar tant sobre litosfera continental com oceànica

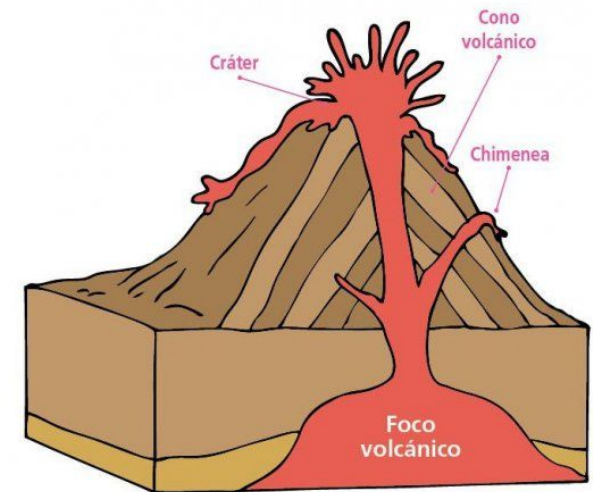
Per què podem trobar magma líquid a la superfície?



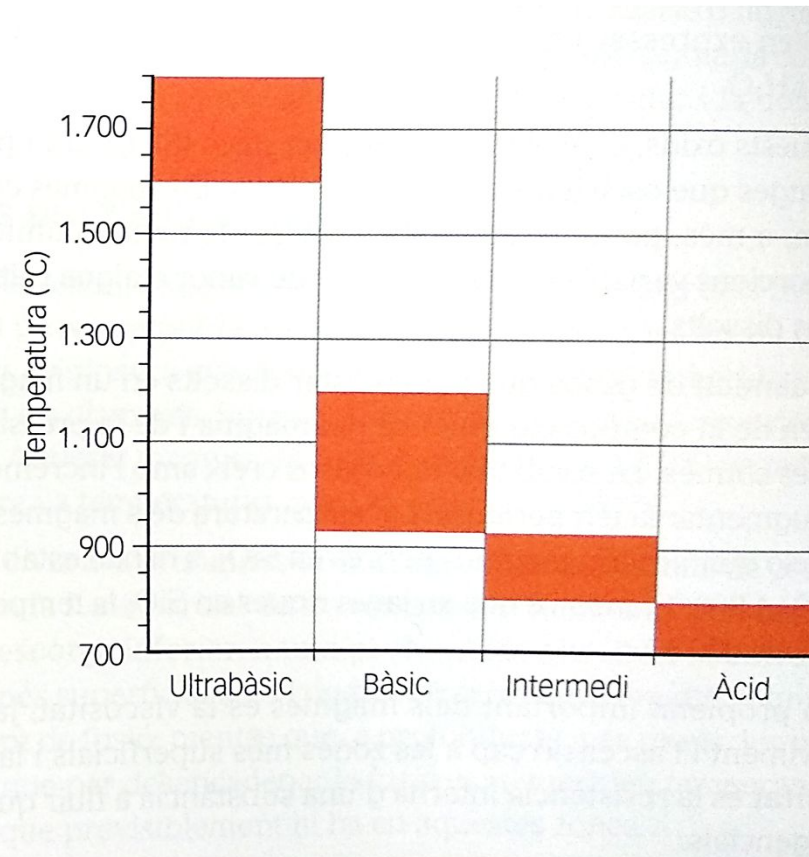
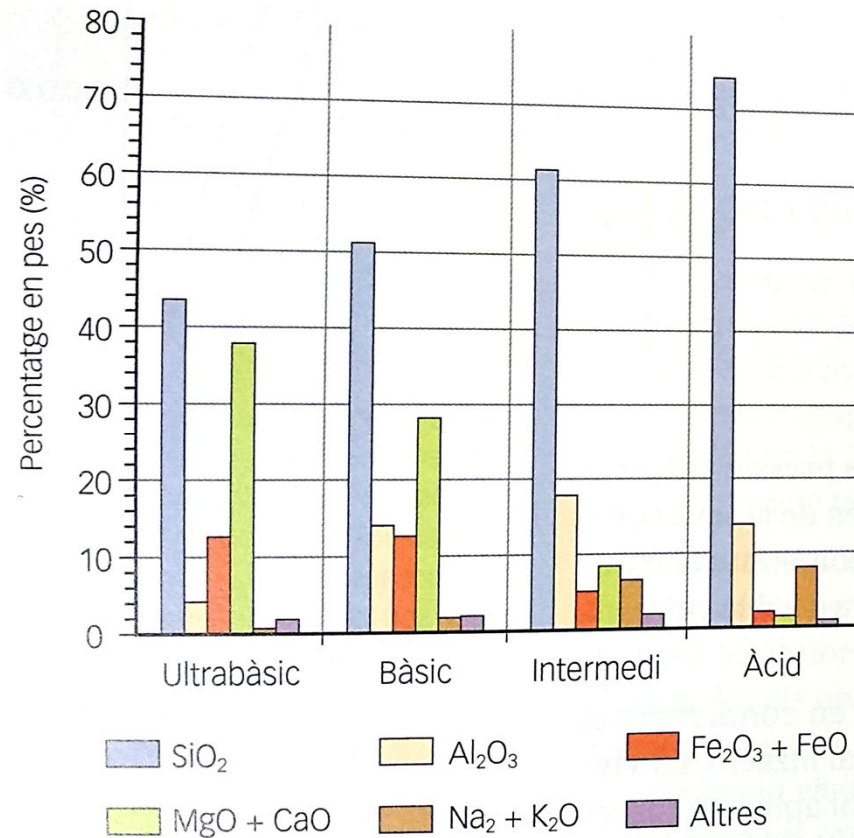
Presència d'H₂O → paper molt important en l'evolució dels magmes

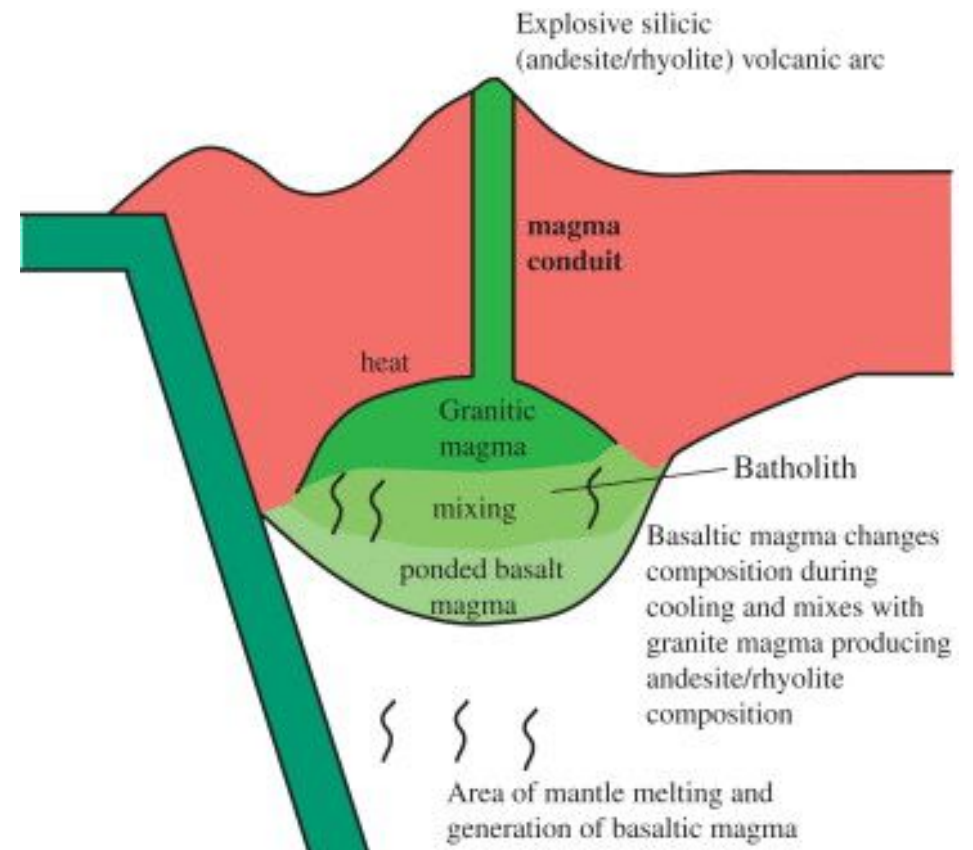
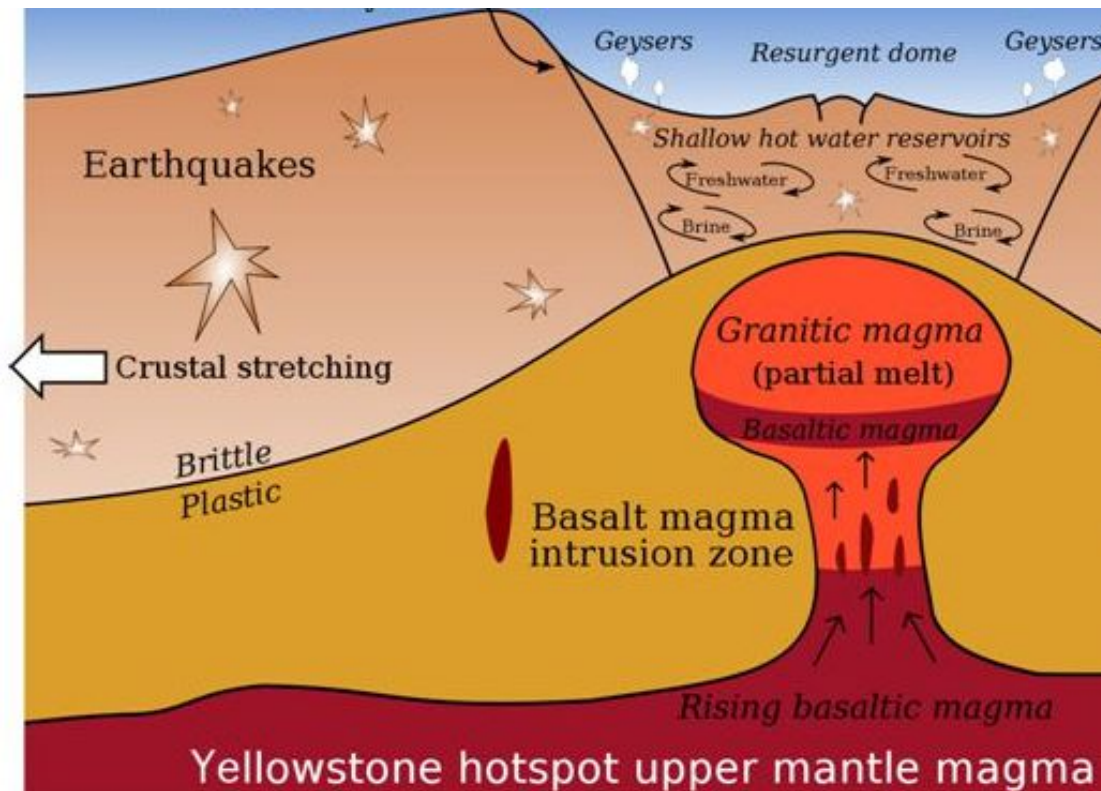
Un magma que conté H₂O:

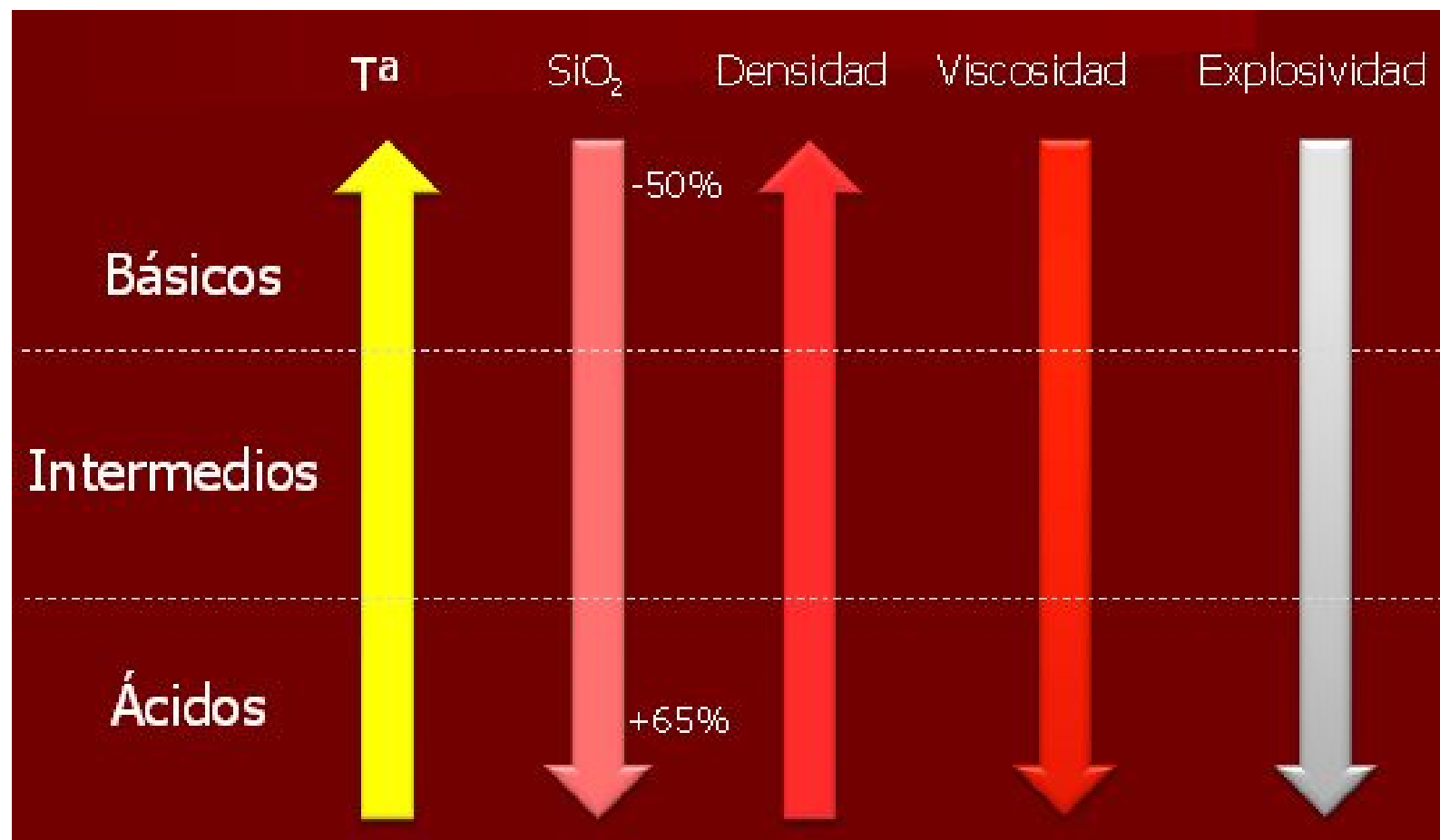
- Pot continuar fos a la superfície terrestre (T^a baixa)
- Assolirà abans la superfície que un magma desproveït d'aigua



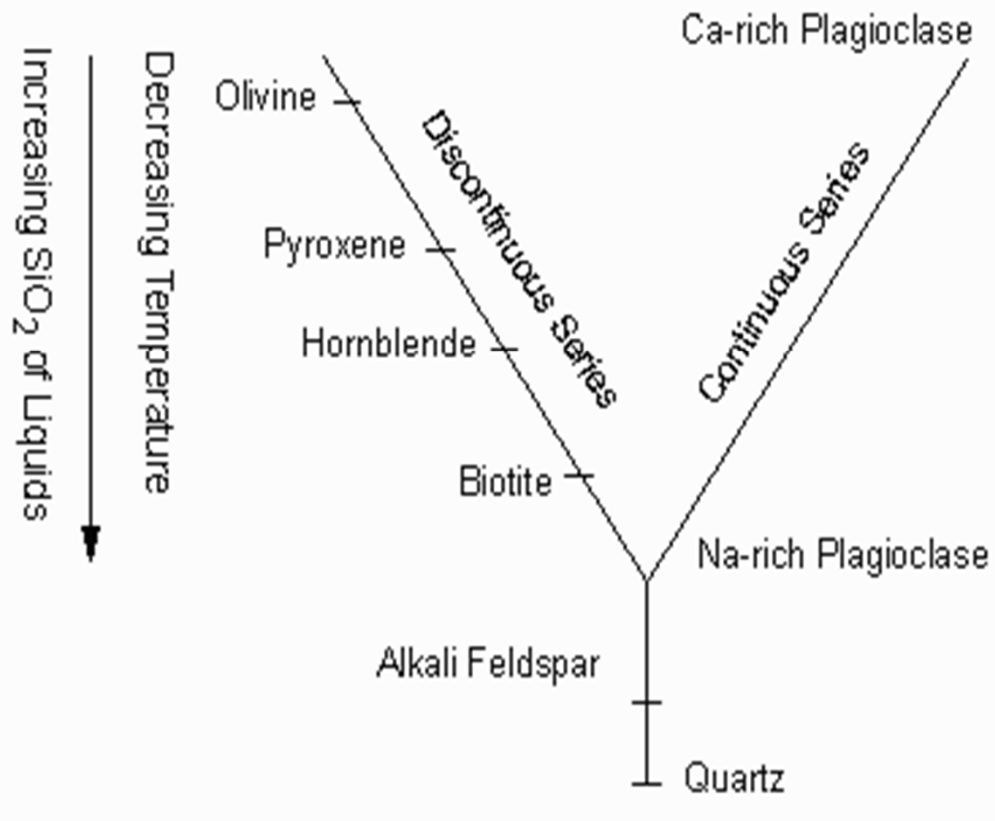
Composicions i T^a dels tipus de magmes principals







Bowen's Reaction Series



Basalts & Gabbros

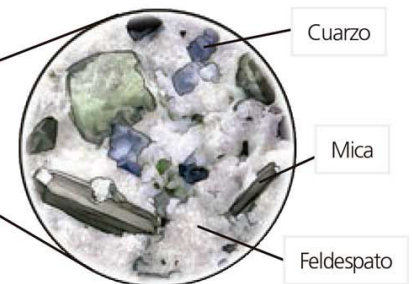


Basalt = olivina + piroxè + plagiòclasi càlcica

Andesites & Diorites

Rhyolites & Granites

Granit = quars + feldspat potàssic + plagiòclasi + biotita + moscovita + altres...



ROCAS		PLUTÓNICAS (grano grueso)	 GRANITO	 SIENITA	 DIORITA	 GABRO	 PERIDOTITA
		VOLCÁNICAS (grano fino)	 RIOLITA	 TRAQUITA	 ANDESITA	 BASALTO	Son muy poco frecuentes con estas características

CARACTERÍSTICAS	COLOR	Predominan minerales claros			Predominan minerales oscuros			
	COMPOSICIÓN	QUÍMICA	Altas en sílice			Bajas en sílice		
			Bajas en Fe y Mg			Altas en Fe y Mg		
	MINERAL	CUARZO		FELDESPATO		SILICATOS FERROMAGNESIANOS		

www.geoxnet.com

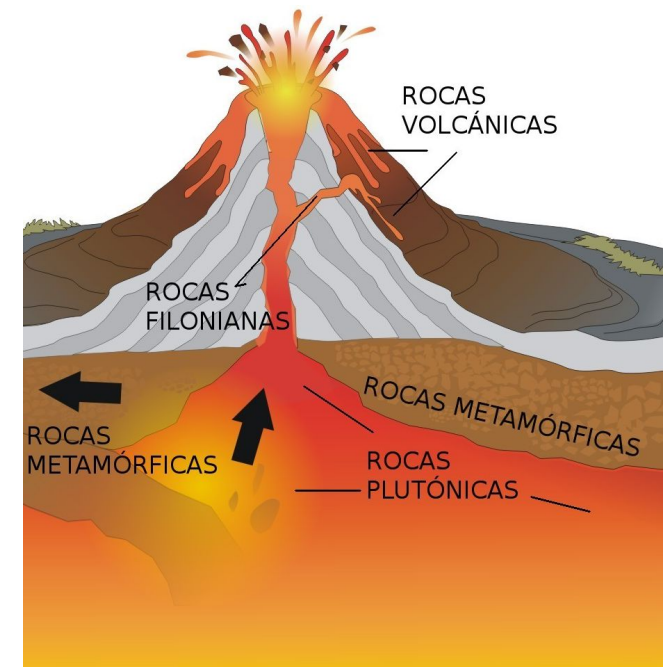


EXERCICIS

- 1) Defineix magma
- 2) Quins són els factors propis del magma que intervenen en la crist·lització?
- 3) Per què no totes les capes de l'interior de la Terra estan formades per material fos?
- 4) A quina profunditat hi ha les condicions ideals per a la formació de magmes?
- 5) Quines són les propietats més importants dels magmes?
- 6) Quines diferències hi ha entre els magmes àcids i els magmes bàsics?
- 7) Quines diferències hi ha entre un granit i una riolita, i entre un gabre i un basalt? En què es distingeix un granit d'un basalt? Per què no es pot formar basalt a partir de la fusió parcial d'un granit?

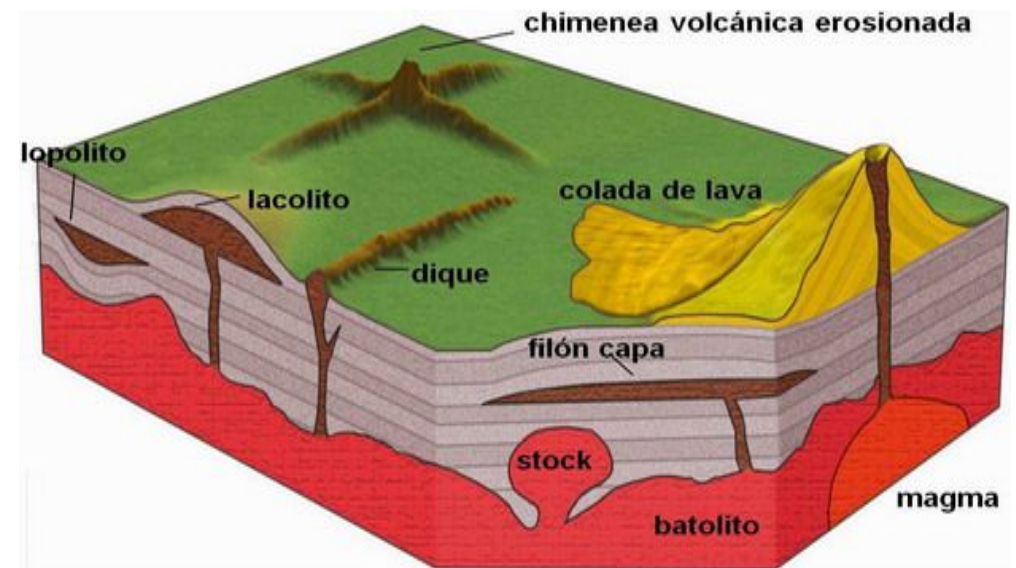
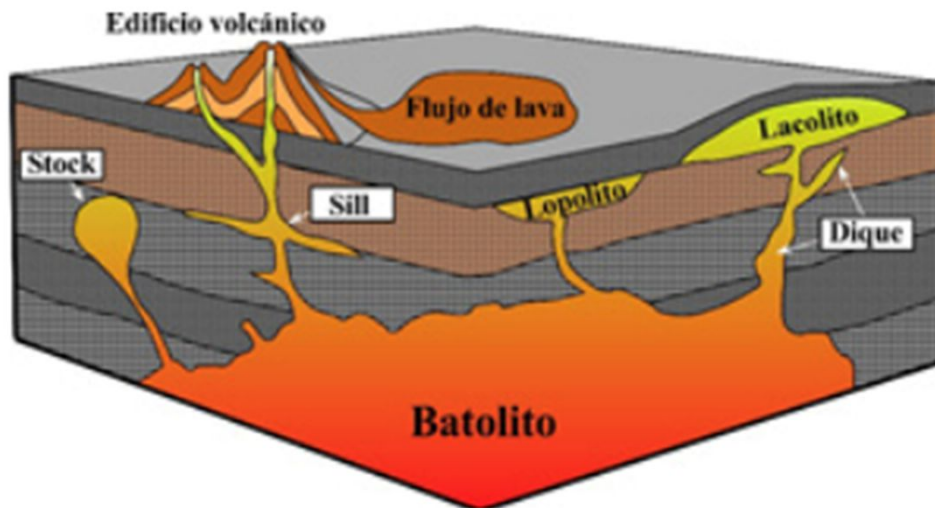
1.5. Les roques ígnies o magmàtiques

- ▶ A causa de les $\neq$ viscositats i densitats amb les roques de l'entorn, el magma tendeix a escapar-se del lloc on s'ha format i ascendeix
- ▶ En general, els magmes cristal·litzen abans d'arribar a la superfície i originen les **roques intrusives** → s'intercal·len entre les preexistents → **roques filonianes o plutòniques**
- ▶ Per contra, les que arriben a la superfície s'anomenen **roques extrusives (roques volcàniques)**



Fitxa “Les principals roques ígnies”

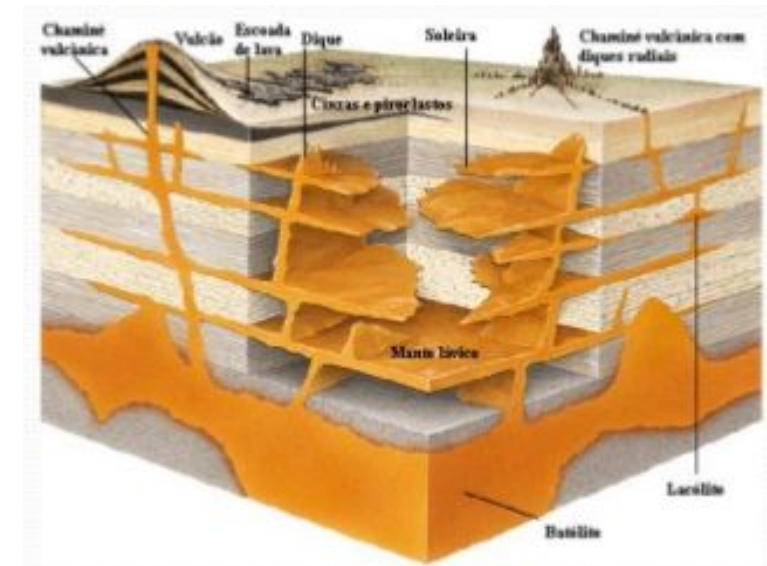
Estructures formades per les roques intrusives:



- **Dics, sils i filons:** esquerdes
- **Lacòlits:** aprofita un estrat de les roques i forma una cúpula
- **Lopòlits:** lacòlit de grans dimensions (forma típica de plat)
- **Batòlits:** grans masses irregulars de fins a 15-20km de gruix

2. VULCANISME

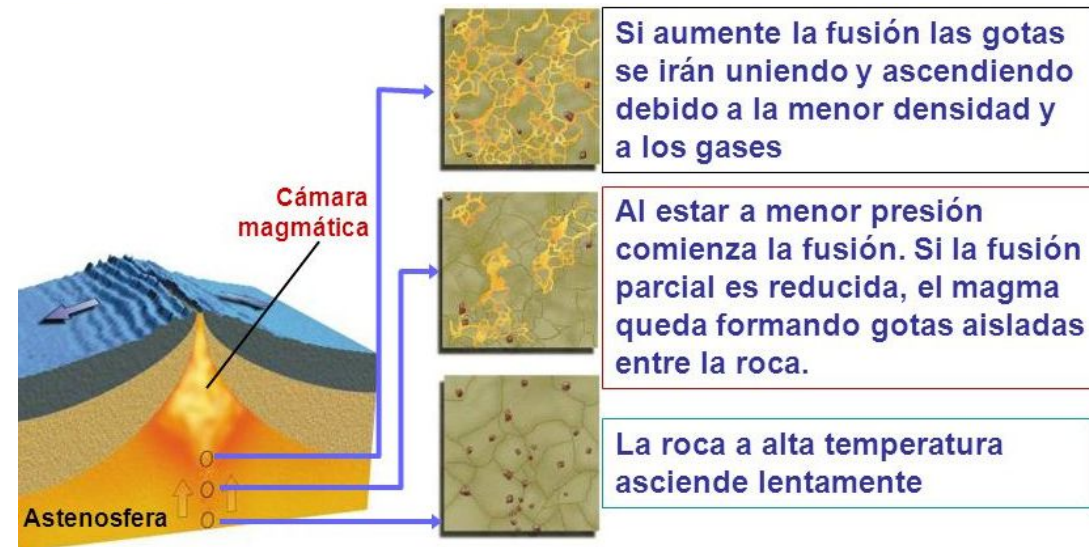
- ▶ És una manifestació de l'activitat interna de la Terra
- ▶ La majoria de volcans es troben als límits de plaques
- ▶ Permet estudiar els processos que tenen lloc a l'escorça inferior i al mantell superior
- ▶ No és un fenomen rar: cada any uns 50 volcans erupcionen
- ▶ A mesura que el magma ascendeix va formant cambres magmàtiques



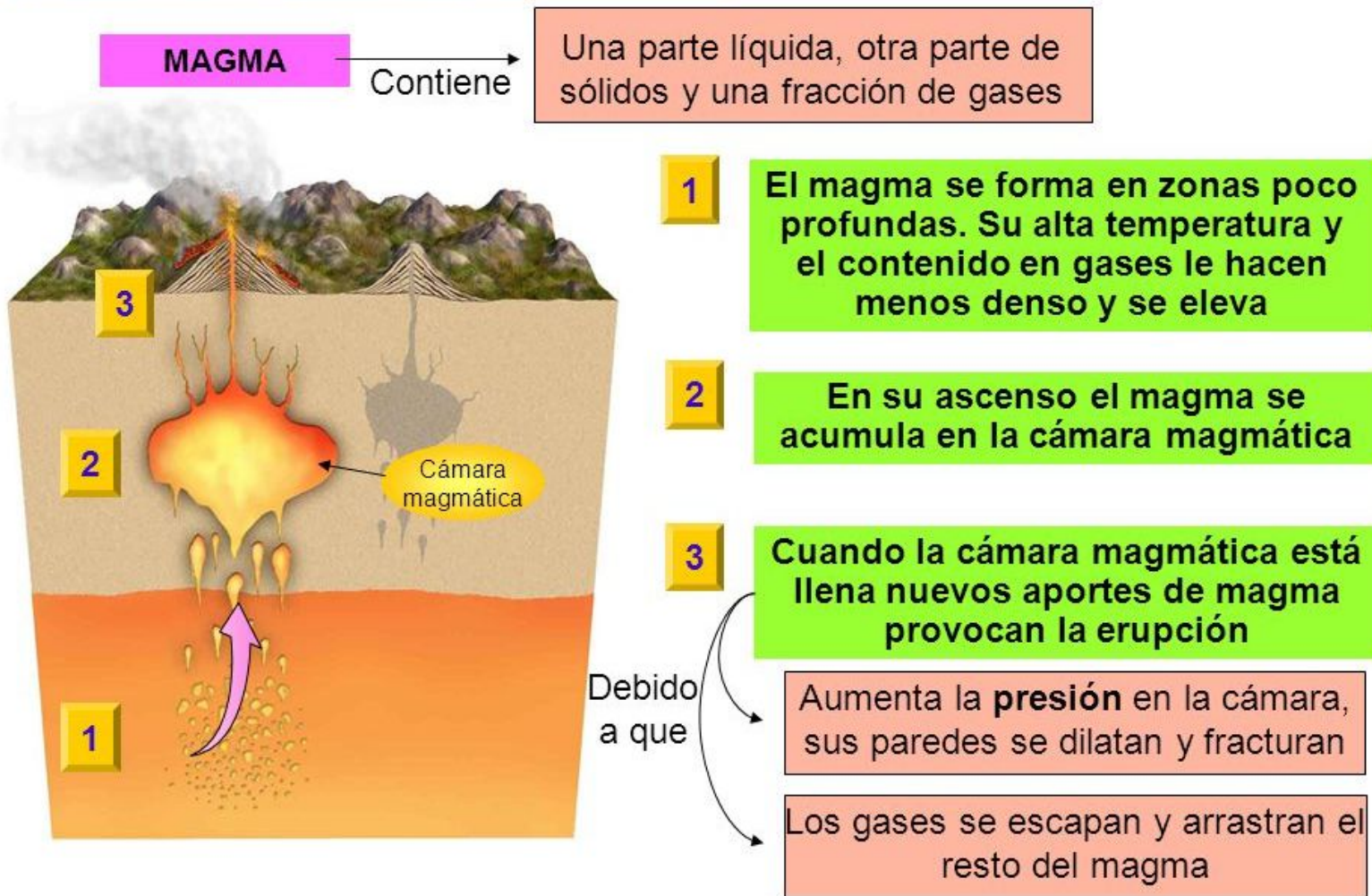
Per què ascendeix el magma?

- ▶ Perquè té menys densitat que la roca que l'envolta
- ▶ Perquè és fluid-viscós

- Pot ascendir ràpidament: presència de fissures (colades fissurals)
- Pot ascendir lentament: no troba cap fissura i va fonent el sostre de la cambra magmàtica ($v = 1$ m/any)



¿Cómo se produce una erupción?



2.1 Anatomia d'un volcà

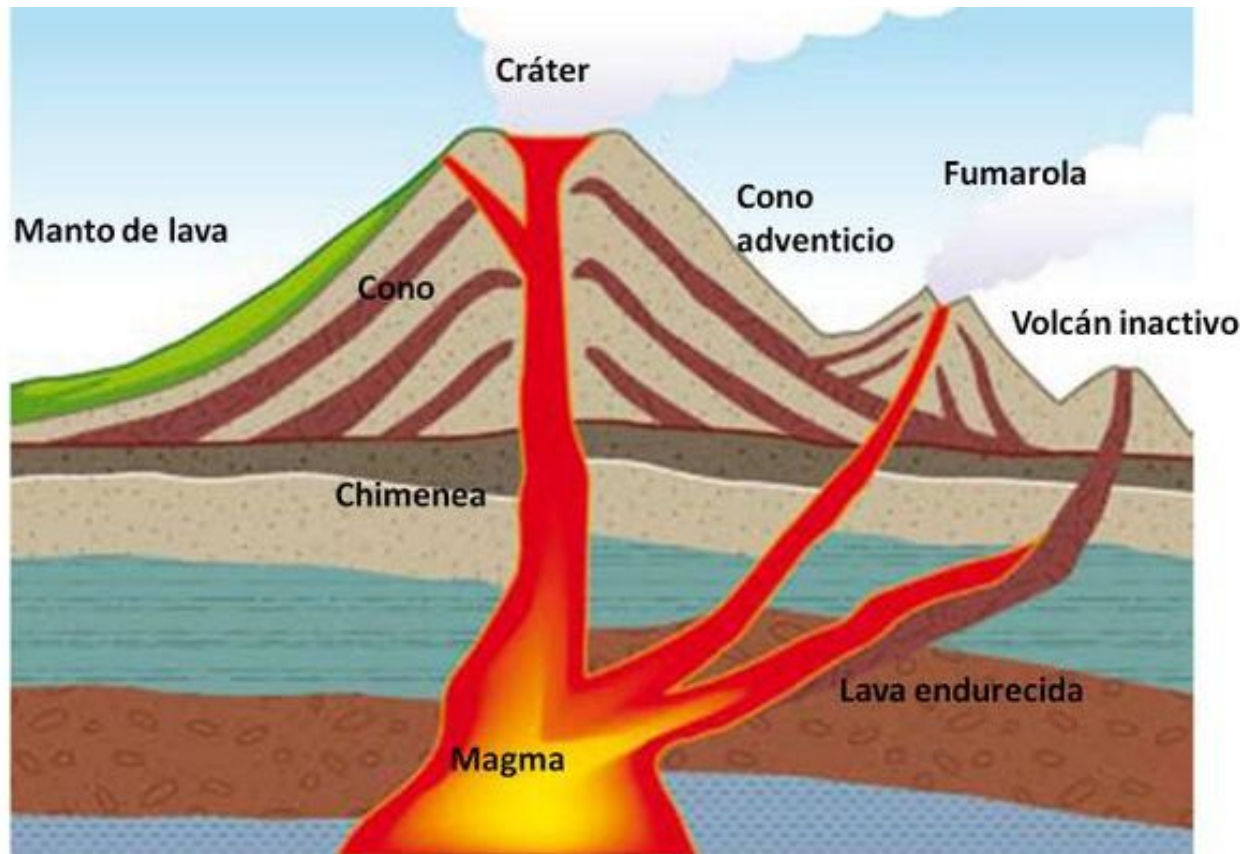


Fig. 5 pàg. 81

- ▶ Cràter
- ▶ Con volcànic
- ▶ Con lateral o adventici
- ▶ Xemeneies laterals o adventícies
- ▶ Xemeneia central
- ▶ Cambra magmàtica

2.2 Tipus de volcans (estructures volcàniques)

► Segons l'activitat:

- **Actiu:** erupciona o mostra activitat sísmica
- **Apagat:** inactiu des de fa temps
- **Extingit:** ja no pot produir una erupció mai més



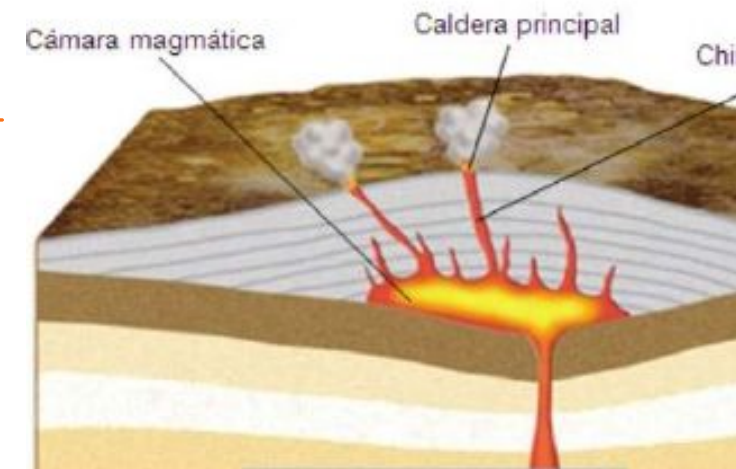
► Segons la viscositat del magma (estructura volcànica formada)



Lava fluida

Volcans en escut

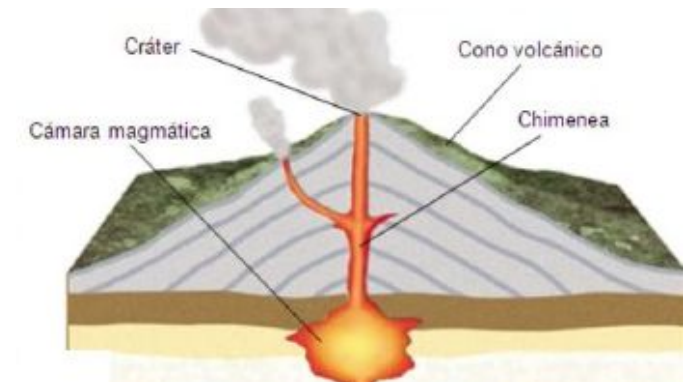
Amples, poc alts i formats per colades de lava



Lava de viscositat mitjana

Volcà compost o estratovolcà

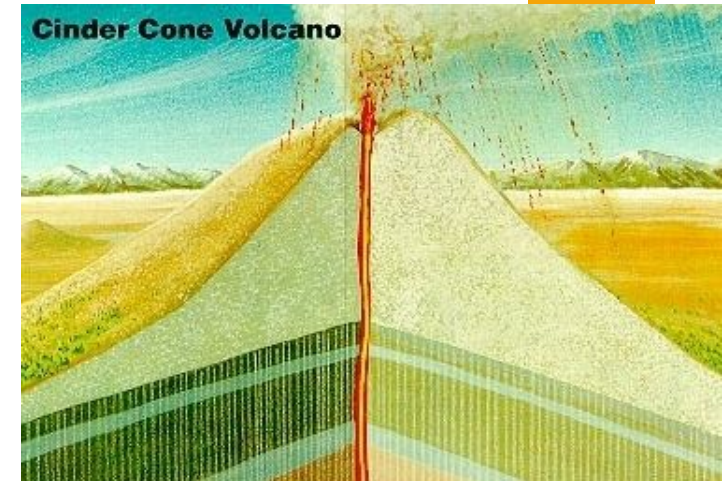
Integrat per capes alternades de lava i materials piroclàstics



**Lava
viscosa**

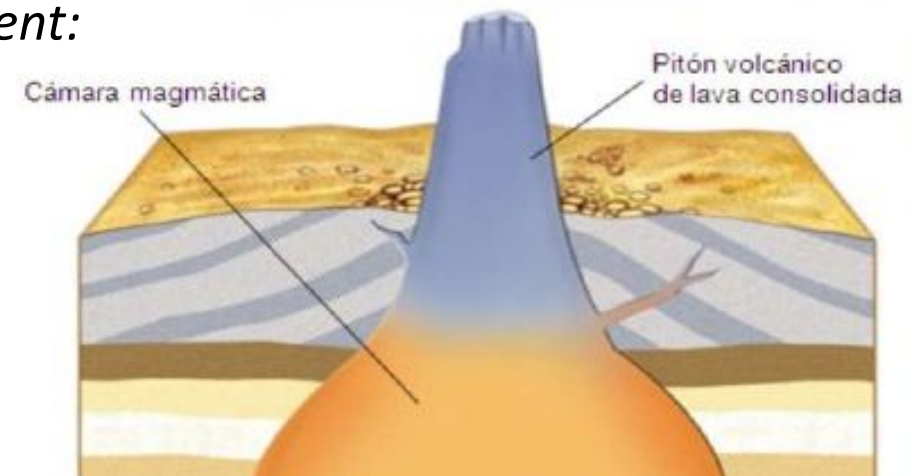
**Con
d'escòries**

*Alt, només allibera piroclasts
(lava no pot fluir)*



**Doms
volcànics**

*Estructures abruptes
situades sobre el cràter, on el
magma s'ha solidificat dins
la xemeneia. Ocasionalment:
colada piroclàstica*



2.3 Productes volcànics



- ▶ **Lava:** magma líquid que ha volatilitzat els gasos (T^a d'entre 900-1200°C)
- ▶ **Gasos:** s'alliberen grans columnes de gas (60-90% H_2O , CO_2 , H_2S , SO_2 , SO_3 , HCl ,...).

*També podem trobar H_2O en els cràters formant llacs, però aquesta es deu a aigües submarines que han ascendit amb el pas del magma

- ▶ **Piroclasts:** fragments de lava que salten en les explosions volcàniques. El magma viscos arrastra més piroclasts de les xemeneies.
 - 1) Cendres (menys de 2mm): transportades pel vent, enfosqueixen el cel, formació d'una columna eruptiva pel fort corrent d'aire calent
 - 2) Lapid·li: 2-50mm, s'acumulen en el con volcànic
 - 3) Bombes volcàniques: grans, refredament lent → escòria volcànica



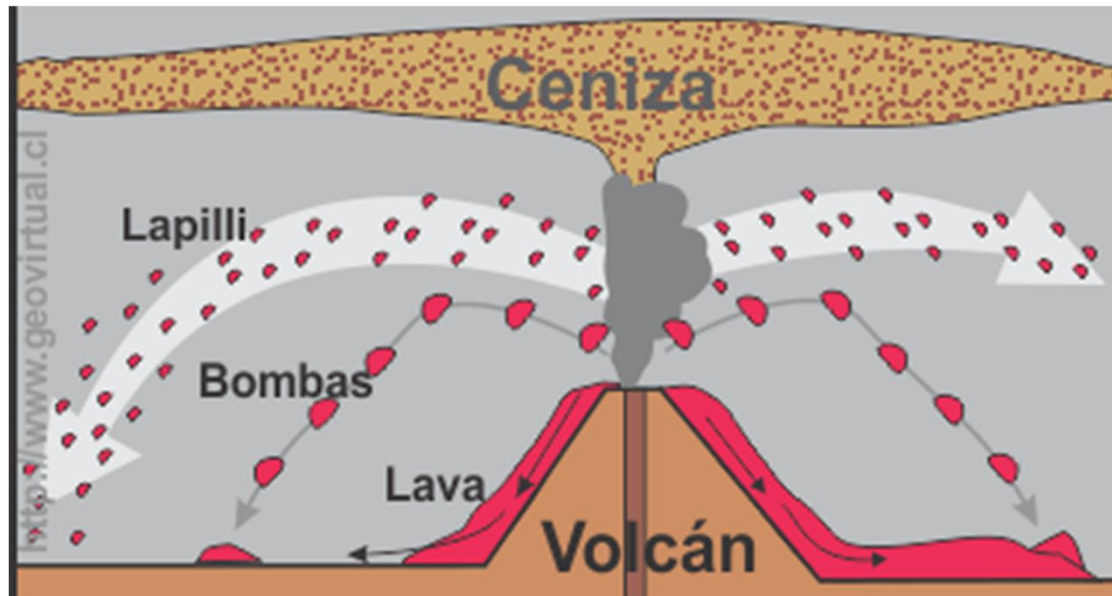
Ceniza



Lapilli



Bomba



Documental NG "Volcanes":
<https://www.youtube.com/watch?v=aXrIU6EtN5k>

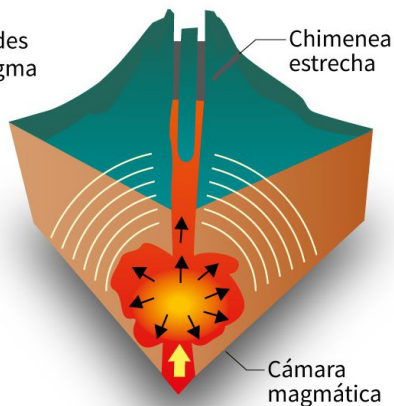
2.4 Fases d'una erupció

- 1) Fase **inicial**: expulsió de gasos + tremolors
- 2) Fase **paroxismal**: ↑ expulsió de gasos, explosions de piroclasts, sortida de lava, el sòl es pot esquarterar.
- 3) Fase **terminal**: ↓ d'explosions i emissió més tranquil·la de gasos (fumaroles)

Etapas de la erupción

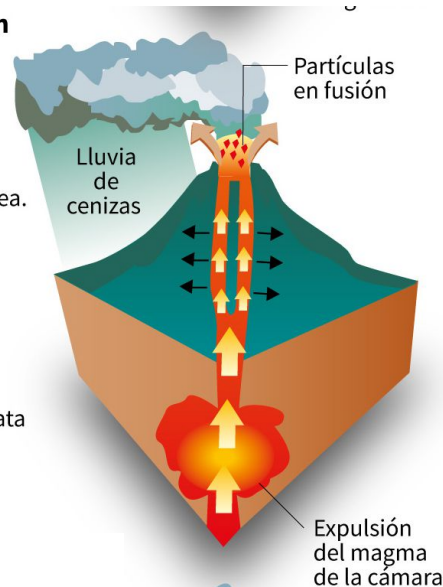
1 - Preparación

En las profundidades del volcán, un magma rico en gas llena la cámara magmática. En la superficie, se producen numerosas convulsiones telúricas, que dilatan el volcán.



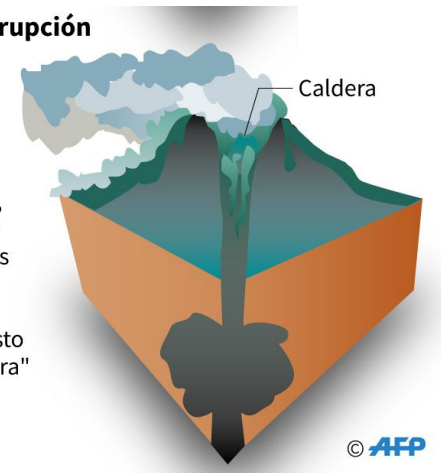
2 - Explosión

Liberado el gas, el magma asciende brutalmente por la chimenea. El volcán proyecta partículas en fusión que provocan una lluvia de cenizas. La presión dilata la chimenea.



3 - Fin de la erupción

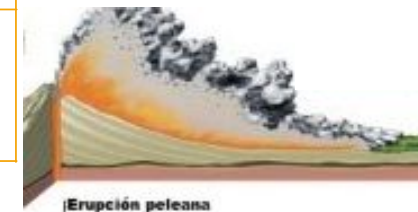
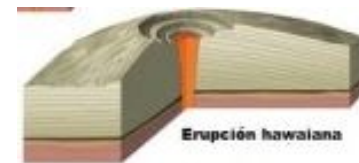
Se vacía la cámara magmática. Se derrumban las paredes de la chimenea, fragilizadas por las convulsiones de la fase explosiva. Se forma un vasto cráter, la "caldera".



2.5 Tipus d'erupcions → ÍNDEX D'EXPLOSIVITAT VOLCÀNICA (IEV)

Segons la viscositat del magma i l'IEV, diferenciem:

	IEV	Magma	Estructurà volcà
Hawaiana (poca explosivitat)	0-1	Fluid, manté els gasos dissolts ↓ ↑↑ Viscós	En escut
Estromboliana	1-2		Compost
Vulcaniana	2-4		Compost o con d'escòries
Peleana	4-8		Dom volcànic
Ultrapeleana (alta explosivitat)	5-8		Caldera

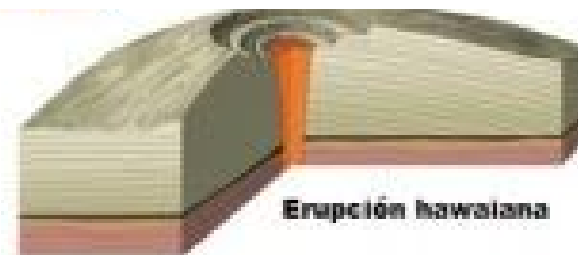




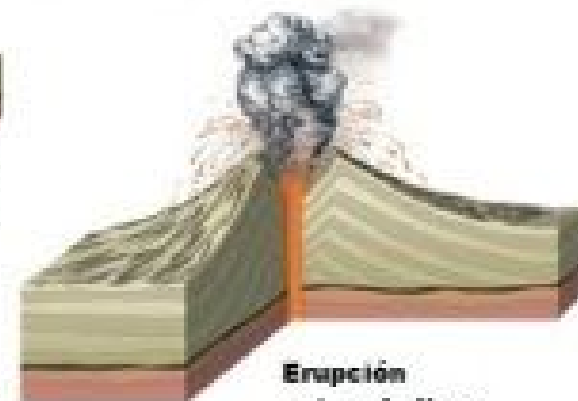
Erupción pliniana



Erupción vulcaniana



Erupción hawaiana



Erupción estromboliana



Erupción peleana

TIPO DE ERUPCIONES VOLCÁNICAS



Hawaiiana

Baja altura y gran diámetro en su base. Lavas muy líquidas que forman lagos en el cráter.



Vulcaniana

Se expulsa lava de rápida solidificación. Explosiones esporádicas con emisión de gases.



Pliniana

Se caracteriza por una columna eruptiva muy alta que emite ceniza volcánica y piroclastos. Compuesta de vapor de agua y gases volcánicos, como azufre o cloro.

La erupción es de tipo pliniano. La posibilidad de colapso de esta columna eruptiva, haría caer cenizas a altísima temperatura sobre la zona, parte del protocolo que obliga a las autoridades a evacuar la zona.



Islándica

Erupciones fisurales y se caracterizan por su relieve plano. Lavas muy fluidas en capas horizontales sucesivas.



Estromboliana

Lavas poco fluidas, con proyección violenta de lapillis, bombas, escorias y abundantes gases.



Peleano

Expulsa lava muy viscosa, que se solidifica e impide la salida de los gases, esto obliga a abrir grietas laterales por las que sale la lava.

2.5.1 Fenòmens del vulcanisme atenuat

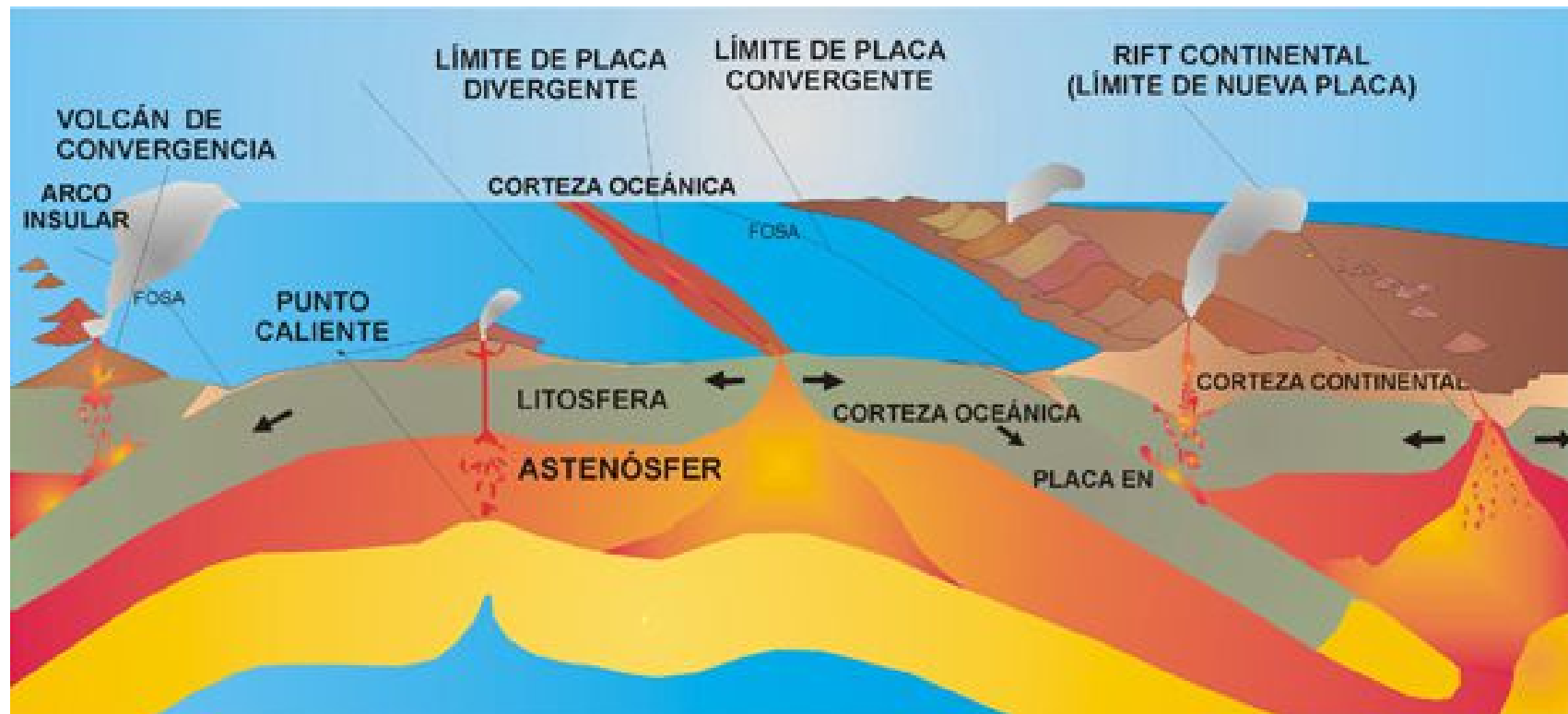
- Fonts termals
- Fumaroles submarines (font termal submarina)
- Guèisers: font periòdica que erupciona verticalment ($\uparrow P$)
- Volcans de fang: font d'on brolla fang
- Fumaroles: obertura que emet gasos

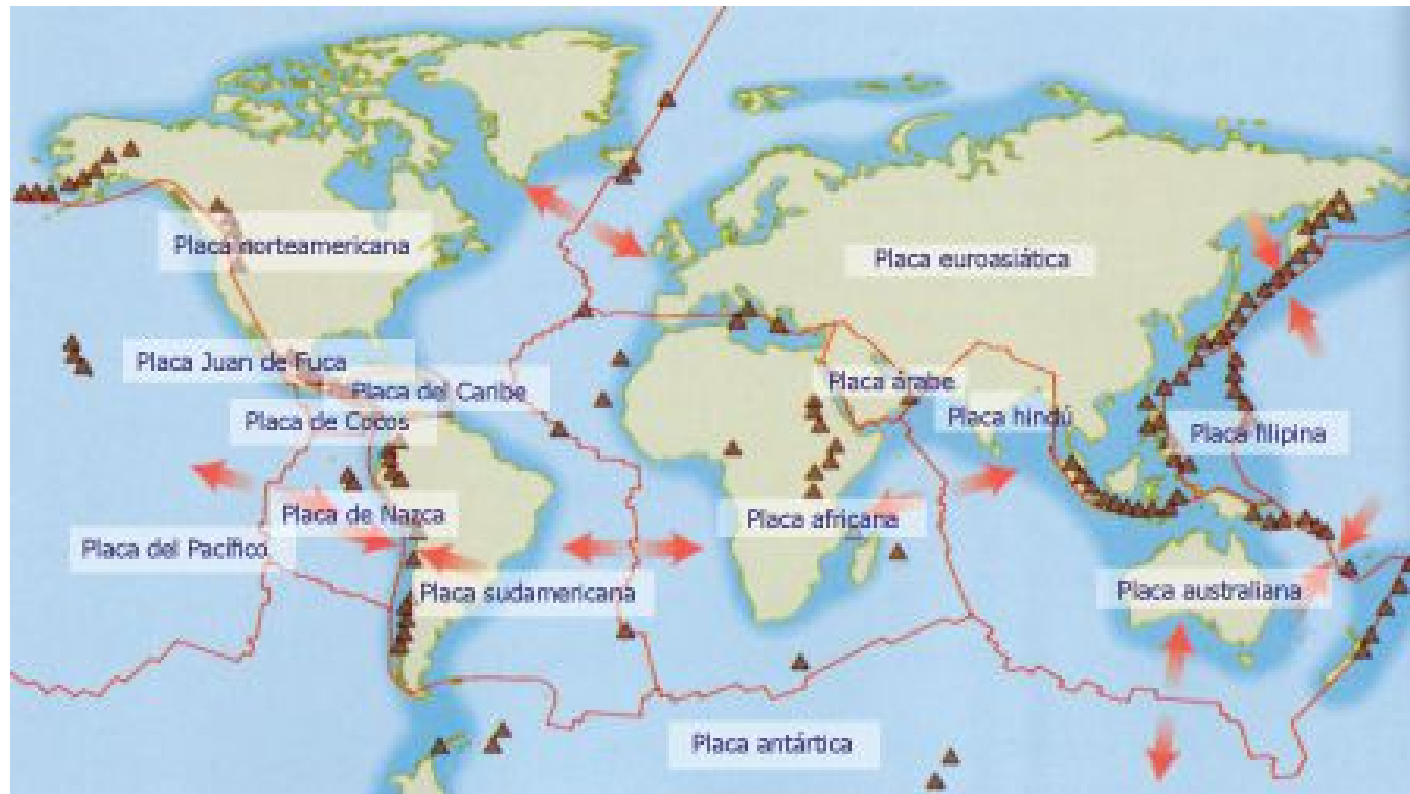


2.6 Relació amb la tectònica de plaques

- ▶ Els volcans es concentren a les dorsals oceàniques i a les zones de subducció (1000 volcans i 40 erupcionen cada any)

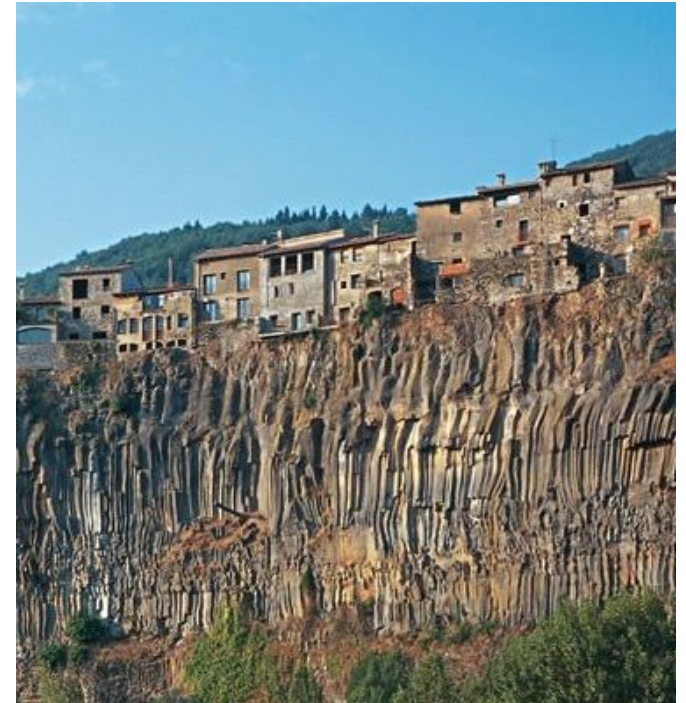
Fig. 9 pàg. 89





- ▶ També n'hi ha intraplaca: punts calents (50 actius i 5 erupcions/any)
- ▶ Pràcticament podem dir que cada moviment de placa genera nous volcans: en general, la seva extinció es deu a que s'allunyen dels límits
- ▶ Amb la seva erupció generen nova escorça

Curioses formes de l'intérieur de les laves



Tsunami en Indonesia



<https://youtu.be/NmHHADcGMD4>
La Vanguardia (27 dic 2018)

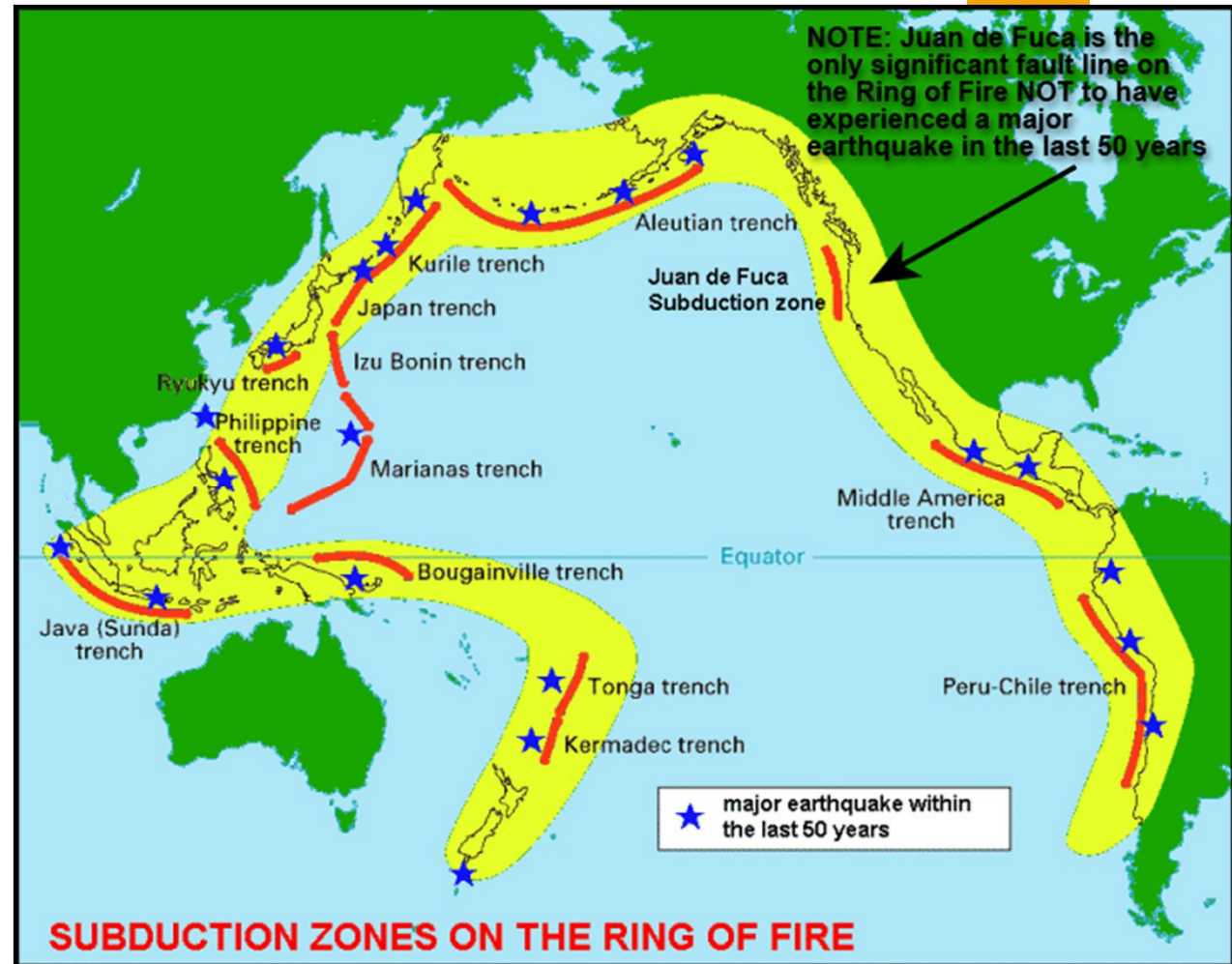
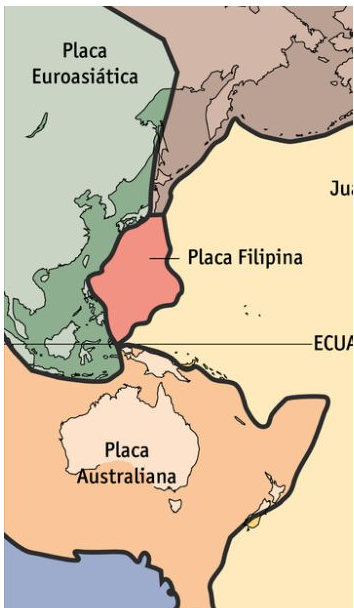
El Anak Krakatoa perdió dos tercios de altura y de volumen antes del tsunami (El país, 29 dic 2018)

https://elpais.com/internacional/2018/12/29/actualidad/1546081778_802309.html

Tsunami en Indonesia: el volcán "padre" del Anak Krakatoa, cuya erupción fue equivalente a 13.000 bombas de Hiroshima (BBC, 26 dic 2018)

<https://www.bbc.com/mundo/noticias-46690132>

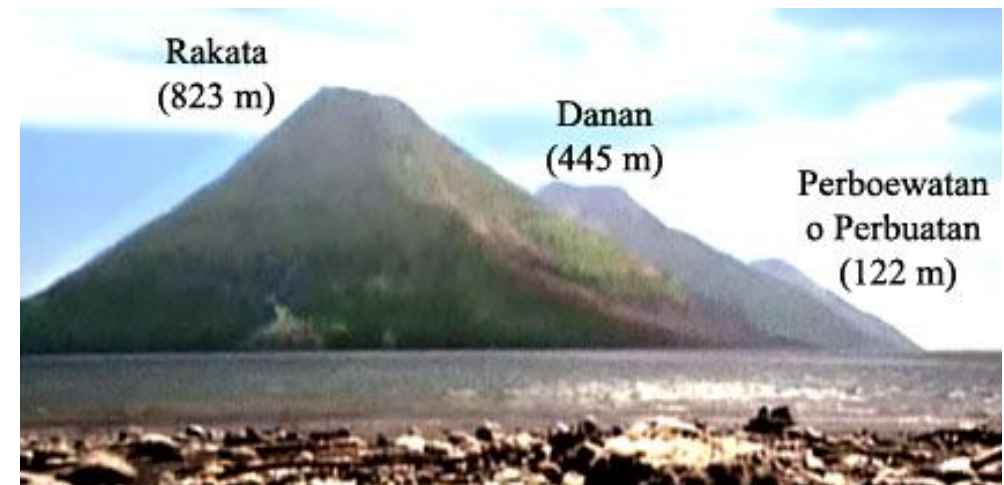
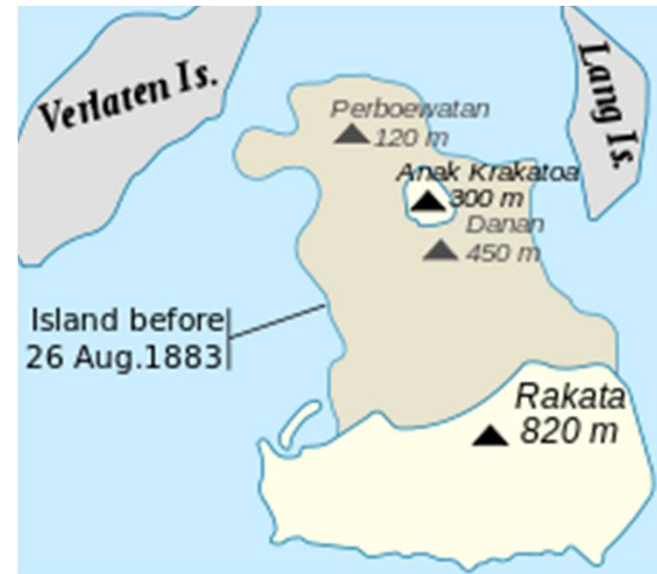
El Krakatau es troba a 140km al nord-est de la **zona de subducció** de la placa australiana sota la placa eurasiàtica i més precisament sobre la placa de la Sonda, en el lloc on el límit entre les 2 plaques efectua un canvi brusc de direcció.



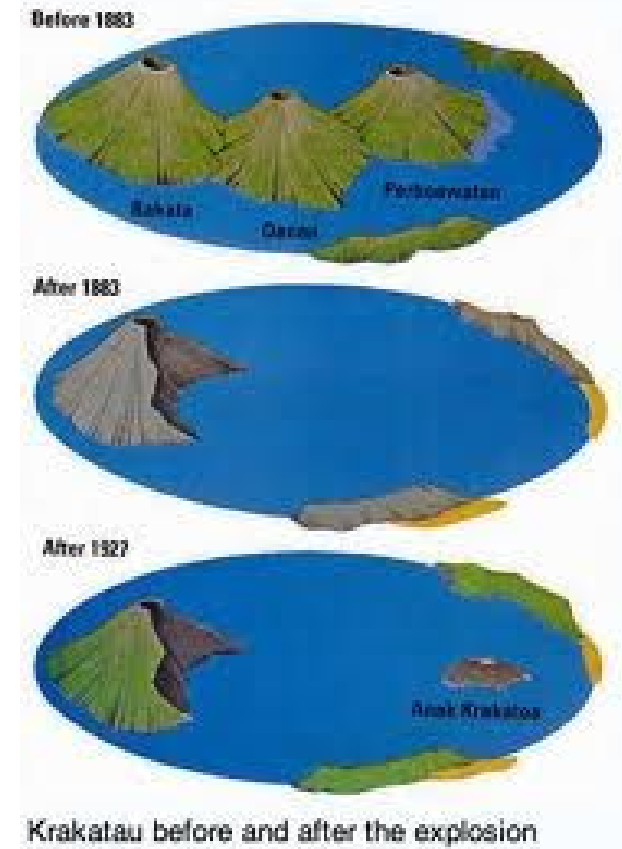
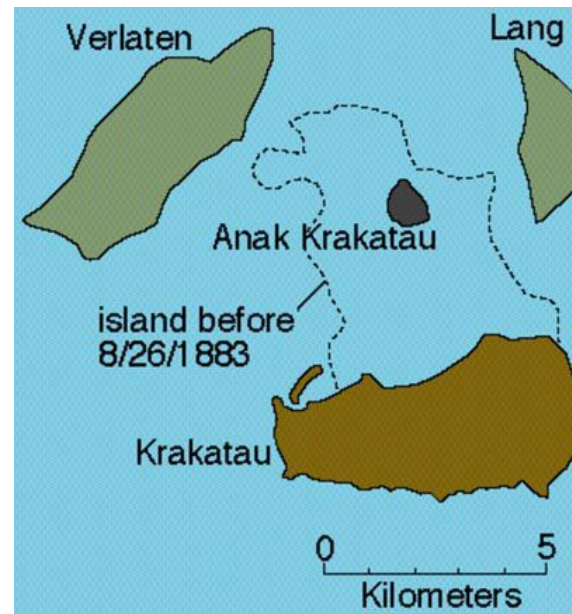
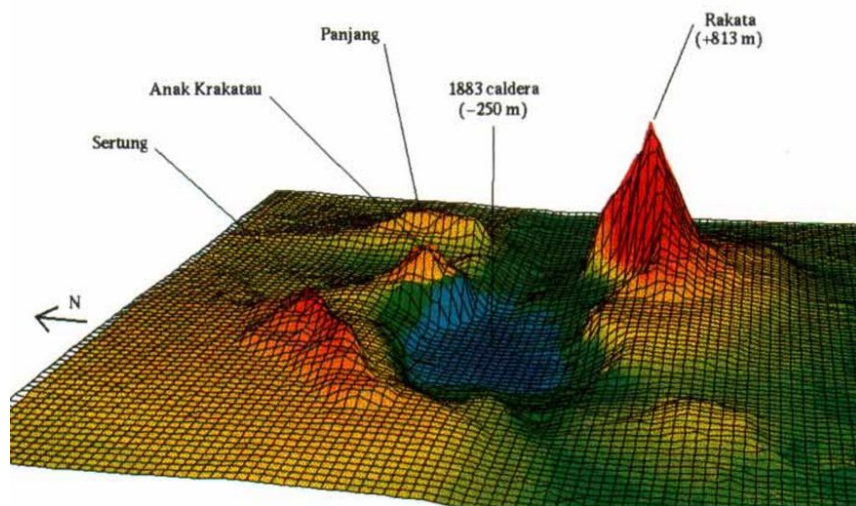
De les registrades, la zona de Krakatoa és una de les més destructives del món

L'estudi estratigràfic del Krakatau revela 5 fases eruptives:

- **1a**: erupció volcànica prehistòrica que forma el conjunt d'illes de l'estret de Sonda deixant una depressió o caldera entre elles de 7 km de llargada. L'illa de Krakatau tenia 9 km de llarg, 5 km d'ample i 28 km² de superfície.
- **2a**: any 535, erupció que suposa un episodi destructiu → núvol ardent que afecta al clima de tot l'hemisferi nord durant mesos
- **3a**: formació dels cons de Rakata, Danan i Perbuatan. En el de Rakata s'hi troba una successió de laves andesítiques i basàltiques.



- **4a**: segon episodi destructiu lligat a l'erupció de 1883, que només deixa el con destruït de Rakata
- **5a**: formació de l'Anak Krakatau



L'Anak Krakatau

Constituït per 2 cons superposats, el més recent ha pràcticament recobert l'antic con que culmina pel cantó nord-est a 156m d'altitud. Les seves laves tenen la particularitat d'estendre's en totes les direccions, i algunes han aconseguit engrandir la superfície de l'illa

Els **minerals** primaris que componen tant la lava com les bombes volcàniques del jove Anak Krakatau estan constituïdes d'augita, ferrosilita, dacita, andesita, feldspat i a vegades per petits grans d'olivina. La major part dels cristalls es troben majoritàriament sota la forma de fenocristalls però també com a microgrànuls.



Quin tipus de lava hi trobem?



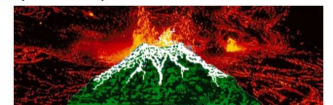
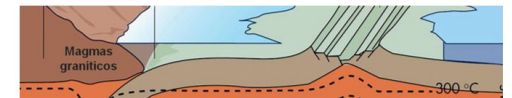
- Molt viscosa
- Elevades quantitats de dacita i andesita
- Erupciones explosives

ÀCIDA

□ MAGMES PRIMARIS:

• Granítics: ÀCID

- ↑ % de SiO_2 → molt viscos → flueix lentament
- Procedeix de la fusió de roques de l'escorça continental → zones de subducció (20-30km)
- Queda retintut a l'escorça i poques vegades arriba a la superfície. Però, quan hi arriba → ↑↑ explosivitat (violent)
- $T_m < 800^\circ\text{C}$



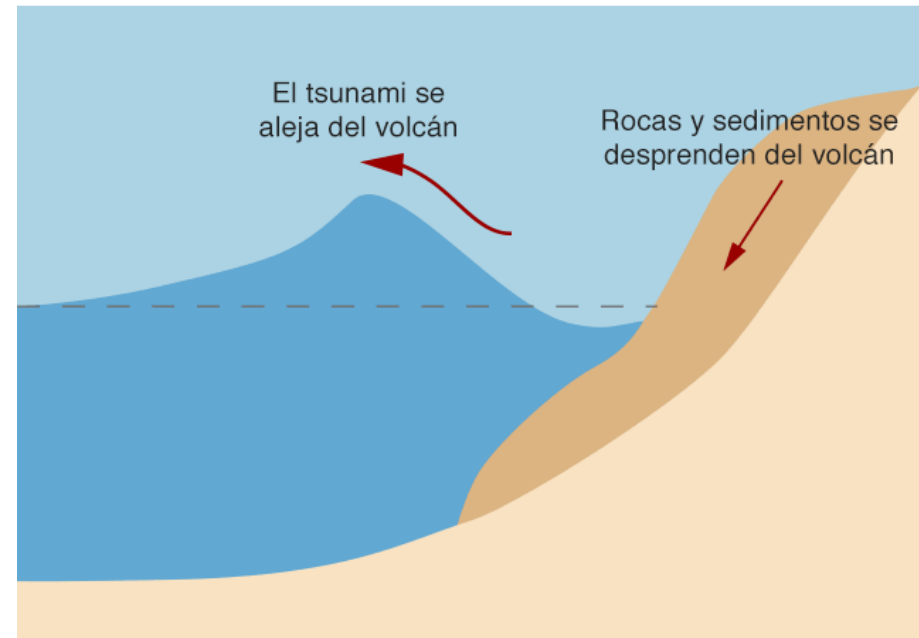
Com un volcà pot provocar un tsunami?

<https://youtu.be/5KOgmtiSAkc>



El fuerte oleaje, según la principal hipótesis, fue desencadenado por la actividad del Anak Krakatoa que provocó una avalancha submarina que desplazó las aguas.

Posible causa del tsunami



Fuente: BBC y la Universidad de California, Santa Cruz

BBC

<https://www.youtube.com/watch?v=nCTzksrwFI4>

Simulació Krakatoa: a partir de min 1



Un tsunami causa al menos 281 muertos y más de 1.000 heridos en Indonesia

https://elpais.com/internacional/2018/12/23/actualidad/1545529302_919344.html

Este año ha sido particularmente nefasto para el archipiélago asiático. En julio y agosto, varios terremotos sacudieron la isla de Lombok —el más potente de magnitud 7— y provocaron la muerte de más de 600 personas. El 28 de septiembre, otro seísmo de magnitud 7,5, en la isla de Sulawesi, en las Célebes, originó un tsunami que dejó 2.102 muertos y 200.000 desplazados, la mayoría en la ciudad de Palu y las regiones aledañas. Centenares de personas siguen desaparecidas meses después del desastre, engullidas por la tierra.