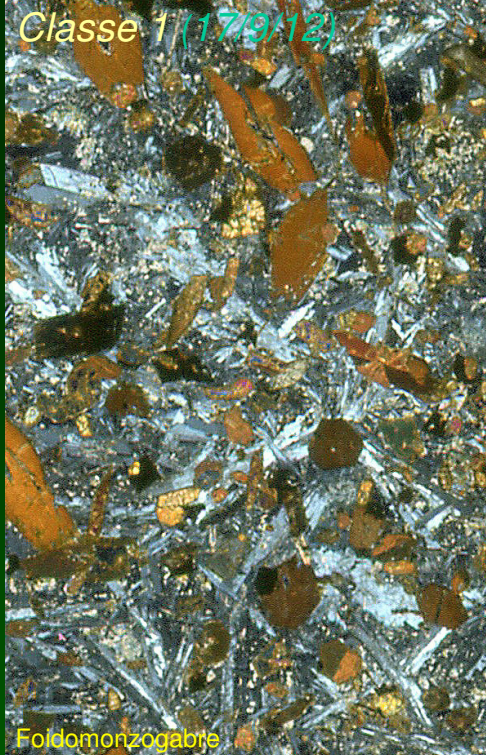


Classe 1 (17/9/12)



Foldomonzogabre

Petrologia Ígnia

Curs: 2012-2013

Teoria

Professor

Pere Enrique i Gisbert

Capítol 1

Introducció:

***Roques ígnies i
magmes***

1

•Programa de Petrologia Ígnia 2012-2013

1. Introducció. Roques ígnies i magmes)
2. Classificació modal de les Roques Ígnies (I)
3. Petrologia experimental (Fusió/Cristal·lització)
4. Sistemes basàltics: Gènesi i evolució
5. Sistemes granítics: Fosos inicials i residuals
6. Processos anatèctics.
7. Evolució magmàtica (Cristal·lització fraccionada, etc.)
8. Classificació modal de les Roques Ígnies (II): Complexos estratificats.
9. Classificacions químiques
10. Norma CIPW i classificacions normatives.
- 11.- Emplaçament de les roques ígnies. Plutonisme i volcanisme.
12. Sèries i associacions de roques ígnies
13. Context geodinàmic de les sèries ígnies
- 14.- Composició isotòpica en petrogènesi ígnia
15. Les roques ígnies al Sistema Solar.

2

Les Roques Ígnies: Definició i classificació.

- 1.- Definició de Petrologia.
- 2.- Classificació de les roques.
- 3.- Definició de Magma.
- 4.- Definició de Petrologia Ígnia.
- 5.- Procedència dels magmes.
- 6.- Relacions entre la Petrologia Ígnia i la Petrologia Metamòrfica.
- 7.- Relacions entre la Petrologia Ígnia i la Petrologia Sedimentària.
- 8.- Evidències de la formació de les roques ígnies.
- 9.- Àmbits de distribució de les roques ígnies.
- 10.- Primers indicis d'activitat ígnia preservats en la història geològica de la Terra.

3

Les Roques Ígnies: Definició i classificació.



Roca ígnia plutònica:
GRANODIORITA
(Batòlit Costaner Català)

Foto: Pere Enrique

Massís del Montnegre (Batòlit de les Serralades Costaneres Catalanes)

Edat: Tardi-Herciniana (~ 285 Ma: Solé, J., Delaloye, M., & Enrique, P., 1998).

4

Les Roques Ígnies: Definició i classificació.



<http://www.pitt.edu/~cejones/Geolimages/2IgneousRocks/IgneousTextures/6Glassyz/ObsidianOrangeFlake.jpg>

C.E. Jones
University of Pittsburgh

Roca volcànica hialina (formada essencialment per vidre de composició riolítica):

OBSIDIANA BANDADA (les bandes mostren la fluïdalitat magmàtica)

5

Capítol 1

Introducció. Roques ígnies i magmes.

- 1.- Definició de Petrologia.
 - La Petrologia és la ciència que estudia les roques.
 - Les ROQUES estan formades per conjunts minerals definits i són els constituents essencials de la Terra, de la Lluna, dels planetes terrestres, dels satèl·lits dels planetes exteriors, dels asteroides, dels meteorits i dels cometes.
 - Tracta de la forma de jaciment, la classificació, la composició i l'origen de les roques i de les relacions amb els processos i la història geològica.

6

Capítol 1

Introducció. Roques ígnies i magmes.

• 2.- Classificació de les roques.

- a) Roques ígnies (del llatí *ignis*, foc): formades per la consolidació d'un magma a altes temperatures
- b) Roques sedimentàries (del llatí *sedimentum*, dipòsit, asentament): formades per acumulació i superposició de materials en la superfície terrestre (en condicions subaèries o subaquàtiques) en processos a baixes temperatures.
- c) Roques metamòrfiques (del grec *meta* i *morphe*, canvi de forma): originades per la transformació d'altres roques pre-existents (ígnies, sedimentàries o metamòrfiques) per canvis mineralògics i estructurals determinats per variacions de pressió, temperatura i acció de fluids químicament actius.

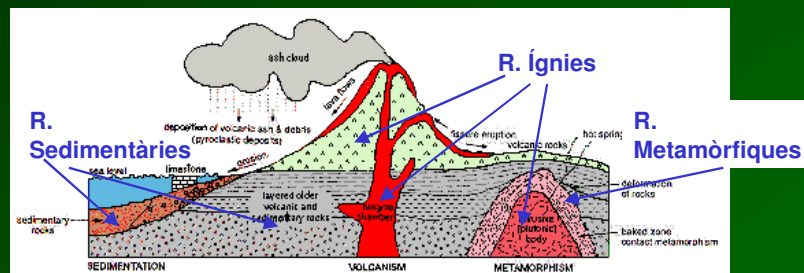
Huang (1968)

7

Capítol 1

Introducció. Roques ígnies i magmes.

• 2.- Classificació de les roques.



Mining and Geology in Fiji: <http://www.mrd.gov.fj/gfiji/geology/educate/rocks.html>

- a) Roques ígnies
- b) Roques sedimentàries
- c) Roques metamòrfiques

8

Capítol 1

Introducció. Roques ígnies i magmes.

• 3.- Definició de Petrologia Ígnia.

És la part de la Petrologia que s'ocupa de l'estudi de les roques originades per la consolidació d'un magma (Roques ígnies)

- Les roques ígnies que es formen a la superfície terrestre, reben el nom de roques volcàniques o extrusives (consolidació ràpida).
- Les roques ígnies que es formen a centenars de metres o a kilòmetres per sota de la superfície terrestre s'anomenen roques plutòniques. (consolidació lenta).

9

Capítol 1

Introducció. Roques ígnies i magmes.

• 4.- Definició de Magma.

- Un magma és un material fluid caracteritzat per la presència d'una fase fosa i que es troba a altes temperatures.

Els magmes poden estar formats per:

- a) Una fase líquida (L)
- b) Una fase líquida i fases sòlides (L+S).
- c) Una fase líquida i fases sòlides i una fase gasosa (L+S+G).
- d) Una fase líquida i una fase gasosa (L+G).
- e) Dues fases líquides immiscibles (L_1+L_2).

10

Capítol 1

Introducció. Roques ígnies i magmes.

- 4.- Definició de Magma.

El magma pot tenir fins a tres components:

1.- LIQUID

- Solució iònica
(Si, O, Al, etc).

Només fase fosa (líquid)

(L)

Eastern Connecticut State University (2007): <http://www.easternct.edu>

11

Capítol 1

Introducció. Roques ígnies i magmes.

- 4.- Definició de Magma.

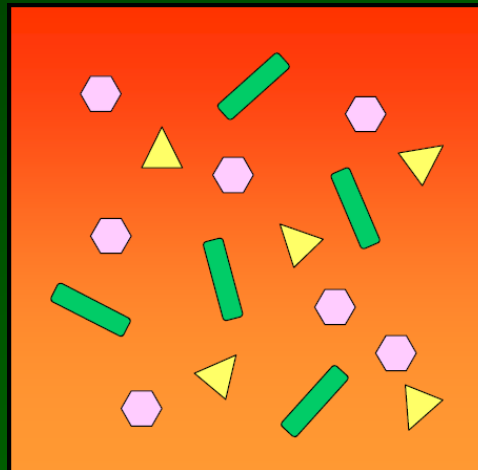
Estat físic.

El magma pot estar format per matèria en diferents estats físics:

1.- LIQUID (L)

2.- SÒLID (S)

Fases cristal·lines
(minerals)



(L + S)

Eastern Connecticut State University (2007): <http://www.easternct.edu>

12

Capítol 1

Introducció. Roques ígnies i magmes.

- **4.- Definició de Magma.**

El magma pot contenir fins a tres estats físics diferents:

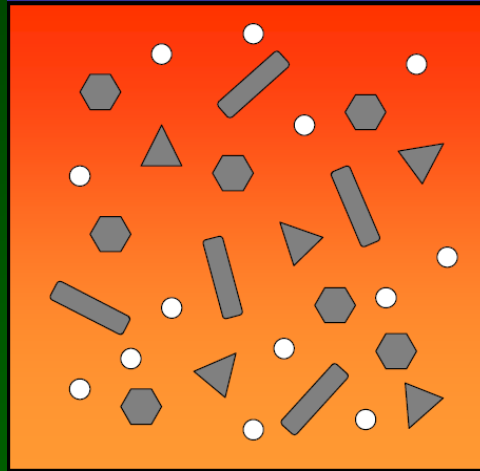
1.- LIQUID

2.- SÒLID

3.- VOLÀTILS (G)

Gasos (previament dissolts en el líquid)

(vapor d'aigua, CO_2 , SO_2 , etc)



(L + S + G)

Eastern Connecticut State University (2007): <http://www.easternct.edu>

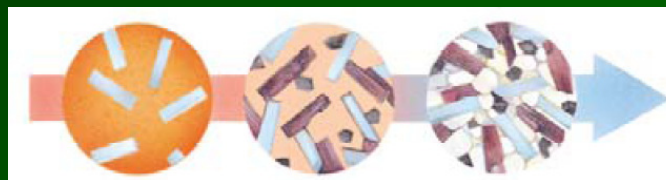
13

Formació d'una roca ígnia

Consolidació d'un magma per Cristal·lització.

- Procès pel qual un magma es solidifica:

A mida que un magma es refreda els seus ions perden mobilitat i s'ordenen en estructures cristal·lines (minerals)



MÉS CALENT

MÉS FRED

Eastern Connecticut State University (2007): <http://www.easternct.edu>

14



Formació d'una roca volcànica

Consolidació d'un magma per refredament ràpid

-Cascada de lava basàltica sobre el mar.

Hawaii

Weisel, D. & JOHNSON, C. (1994)

15



Foto: Pere Enrique

Formació d'una roca plutònica

Consolidació d'un magma per refredament molt lent per sota de la superfície terrestre.

T aprox. del magma 750-800°C

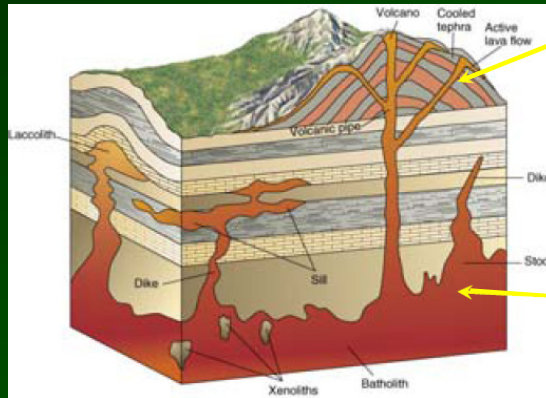
Intrusió de granitoides en roques sedimentàries, metamorfitzades per la influència tèrmica del magma (visible per erosió dels nivells superiors) Edat: Tardi-Herciniana

Massís del Posets (Pirineus Centrals, Aragó)

ENRIQUE, P., (1995): Pluton de Perramó-Posets. En A. Barnolas et J.C. Chiron, Synthèse géologique et géophysique des Pyrénées. Tome I- Cycle Hercynien, pp. 423-424. Edition BRGM-ITGE Orléans et Madrid.

16

Formació d'una roca ígnia



EASTERN CONNECTICUT STATE UNIVERSITY (2007):
<http://www.easternct.edu>

Formació d'una roca volcànica

Consolidació d'un
magma superficial
per refredament ràpid

Formació d'una roca plutònica

Consolidació d'un
magma subterrani per
refredament molt lent

17

Capítol 1

Introducció. Roques ígnies i magmes.

• 5.- Procedència dels magmes.

- L'estat normal de les roques que formen la Terra és l'estat sòlid.
- Els magmes tenen una vida relativament efímera i es formen necessàriament per la fusió, total o parcial, de roques sòlides pre-existents.
- La major part dels magmes s'originen per fusió parcial dels nivells més externs del mantell superior i nivells intermedis i profunds de l'escorça terrestre.
- Només hi ha estat de fusió permanent al nucli extern (ferro fos) situat entre 2885 i 5155 Km. (inaccessible).

18

Capítol 1. Introducció. Roques ígnies i magmes.

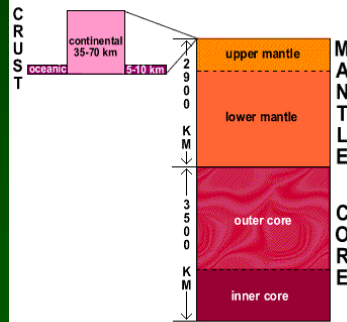
5.- Procedència dels magmes.

El **MANTELL** forma aproximadament el 83% del volum de la Terra. (Massa 67%)

El **NUCLI** forma aproximadament el 16% del volum de la Terra. (Massa 32.5%)

L'**ESCORÇA** forma menys del 1% del volum de la Terra. (Massa 0.5%)

Cross section of the Earth (not to scale)



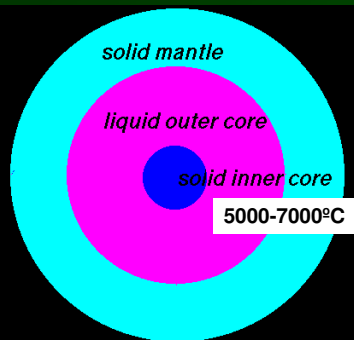
NASA (2011):
<http://scign.jpl.nasa.gov/learn/plate1.htm>

- El mantell té un gruix de 2900 Km està format per silicats ferromagnesiàns.
- El nucli extern té 2300 km i està format per una aleació fosa de ferro i níquel.
- El nucli intern és sòlid, té 1200 Km de gruix i està format per ferro.

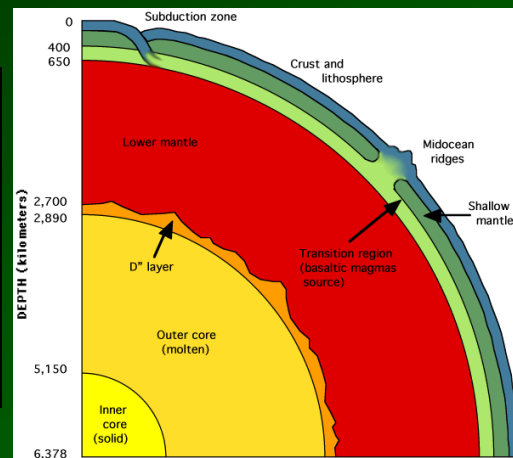
19

Capítol 1. Introducció. Roques ígnies i magmes.

5.- Procedència dels magmes.



Soper (2011)
zebu.uoregon.edu/~soper/Earth/earthstructure.html



- El mantell té un gruix de 2900 Km està format per silicats ferromagnesiàns.
- El nucli extern té 2300 km i està format per una aleació fosa de ferro i níquel.
- El nucli intern és sòlid, té 1200 Km de gruix i està format per ferro.

20

1.-Definició de Petrologia.

2.- Classificació de les roques.

3.- Definició de Magma.

4.- Definició de Petrologia Ígnia.

5.- Procedència dels magmes.

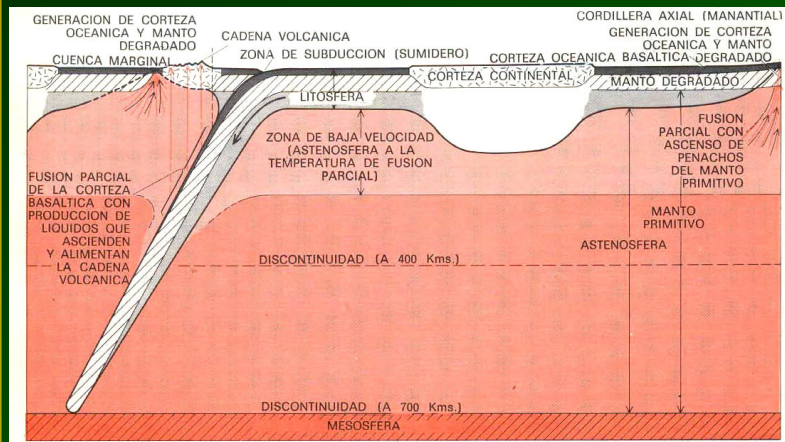
6.- Relacions entre la Petrologia Ígnia i la Petrologia Metamòrfica.

7.- Relacions entre la Petrologia Ígnia i la Petrologia Sedimentària.

8.-Evidències de la formació de les roques ígnies.

9.- Àmbits de distribució de les roques ígnies.

10.- Primers indicis d'activitat ígnia preservats en la història geològica de la Terra.

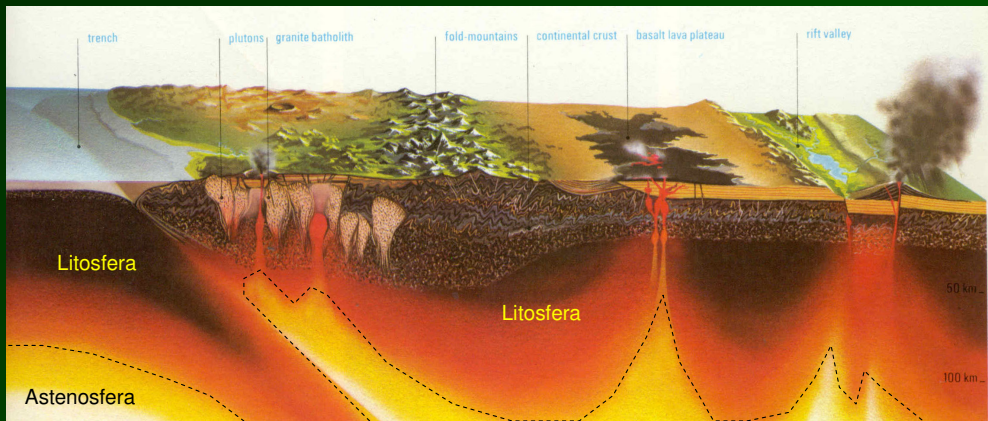


Dewey, J.F. en Sci. Am. (1974)

L'origen dels magmes té lloc als nivells més superficials de la Terra:

- Escorça (oceànica i continental)
- Mantell superior

21



Van Rose & Mercer (Geological Museum, 1974)

Llocs principals de gènesi de magmes als nivells més superficials de la Terra:

- Escorça (oceànica i continental)
- Mantell superior

22

1.-Definició de Petrologia.

2.- Classificació de les roques.

3.- Definició de Magma.

4.- Definició de Petrologia Ígnia.

5.- Procedència dels magmes.

6.- Relacions entre la Petrologia Ígnia i la Petrologia Metamòrfica.

7.- Relacions entre la Petrologia Ígnia i la Petrologia Sedimentària.

8.-Evidències de la formació de les roques ígnies.

9.- Àmbits de distribució de les roques ígnies.

10.- Primers indicis d'activitat ígnia preservats en la història geològica de la Terra.

Capítol 1 Introducció. Roques ígnies i magmes.

6.- Relacions entre la Petrologia Ígnia i la Petrologia Metamòrfica.

-Augment del grau de metamorfisme.

FUSIÓ

- El procés que dona lloc a la fusió per augment del metamorfisme s'anomena **ANATÈXIA**.
- Les roques formades en aquest procés són molt característiques i heterogènies (en part ígnies, en part metamòrfiques) . Reben el nom de **MIGMATITES**.

-Roques ígnies sotmeses a metamorfisme.

- En aquest cas les roques es poden estudiar com a roques metamòrfiques o bé com a roques ígnies
(Roques **META-IGNIES**)

23



Cap de Creus, Pirineus Orientals. Edat: Herciniana

Foto: Pere Enrique

Migmatita (roca en part ígnia i en part metamòrfica)

24



Foto: Pere Enrique

Ortogneis (Meta-granit)

Núria (Pirineus Orientals)

25

Capítol 1

Introducció. Roques ígnies i magmes.

• 7.- Relacions entre la Petrologia Ígnia i la Petrologia Sedimentària.

⇒ **Volcanisme i petrologia sedimentaria**

- Dipòsits volcanosedimentaris
(Formats per **roques piroclàstiques** interestratificades).

⇒ **Plutonisme i petrologia sedimentaria**

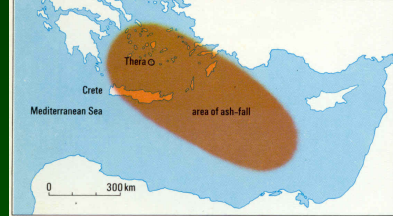
- processos d'acumulació de cristalls que precipiten dins les cambres magmàtiques estratificades. (Aquests processos són els mateixos que actúen dins els fluids sedimentaris (aire, aigua) només que ho fan dins d'un fos a temperatures elevades).

26

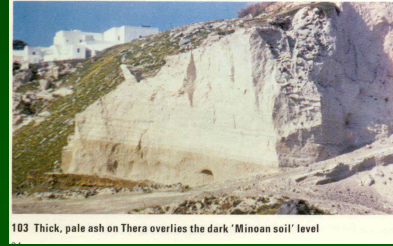


Colades piroclàstiques al Mayón (Filipines)

Van Rose & Mercer (Geological Museum, 1974)



102 Thera ash-fall, estimated from deep-sea drilling



103 Thick, pale ash on Thera overlies the dark 'Minoan soil' level

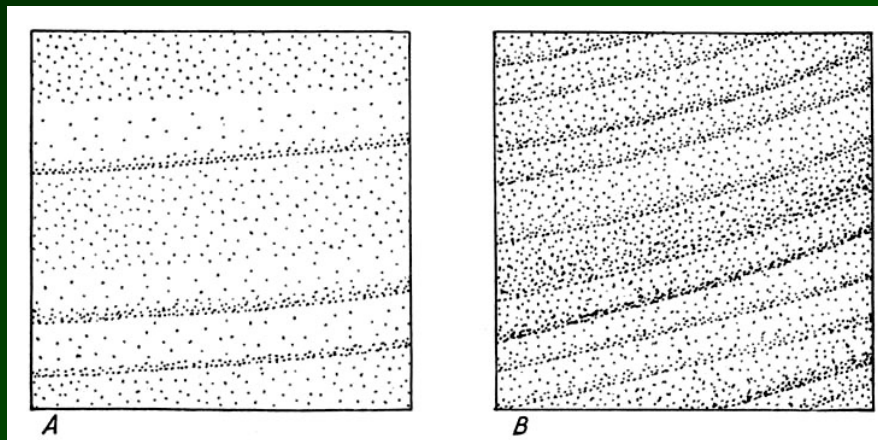
Cendres volcàniques a Thera

Roques volcàniques o roques sedimentàries?

Roques **volcanosedimentàries** formades
per dipòsits piroclàstics

27

Roques plutòniques o roques sedimentàries?

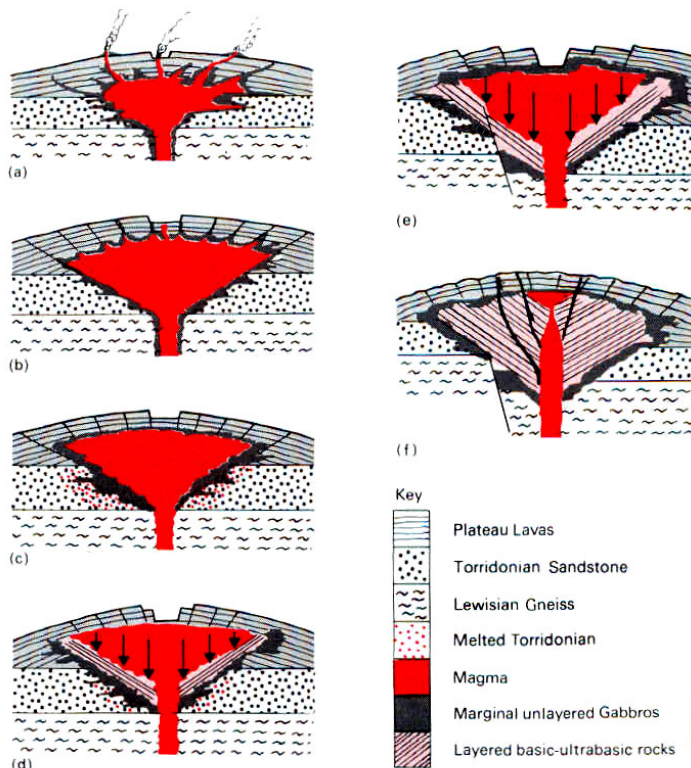


Complex intrusiu estratificat de **Skaergaard** (Grenlàndia oriental). (*Wager & Brown, 1968*)

Estructures sedimentàries formades en roques
plutòniques (generalment bàsiques)

-Estratificació cíclica (“**Rhythmic layering**”)

28



Formació de les roques plutòniques estratificades

("Layered Igneous Complexes")

Complex intrusiu estratificat de Cuillin
(Escòcia)

Gass & Thorpe,
Open University, 1976

29

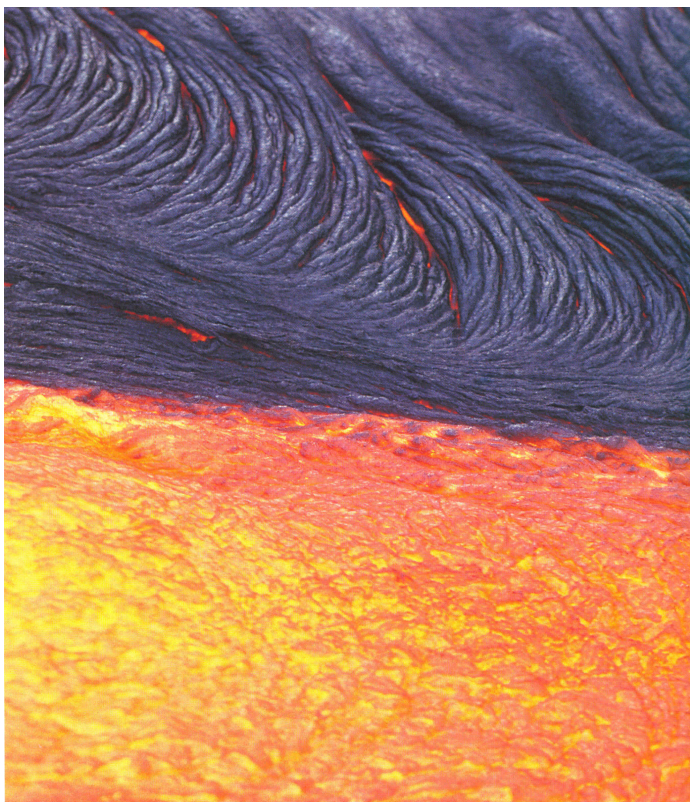
Capítol 1

Introducció. Roques ígnies i magmes.

• 8.-Evidències de la formació de les roques ígnies.

- Roques volcàniques: Observació directa:
 - >> Volcanisme actiu
- Roques plutòniques: Dades indirectes:
 - >> Estudis geològics detallats
 - >> Petrologia experimental

30



- 8.-Evidències de la formació de les roques ígnies.

- Roques volcàniques:
Observació directa:
Volcanisme actiu

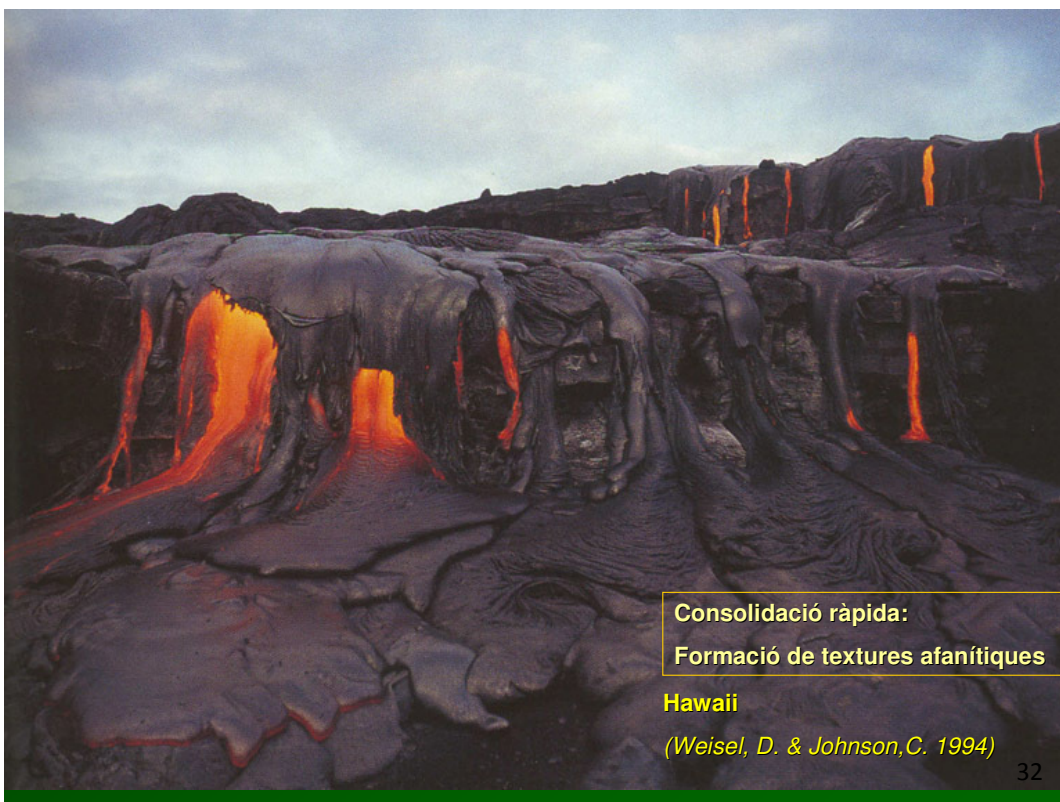
Solidificació progressiva d'una lava per descens de la temperatura

** (Noteu l'augment de la viscositat)*

Hawaii

(Weisel, D. & Johnson, C. 1994)

31



**Consolidació ràpida:
Formació de textures afanítiques**

Hawaii

(Weisel, D. & Johnson, C. 1994)

32

- **8.-Evidències de la formació de les roques ígnies.**

- Roques plutòniques: Dades indirectes:

>> **Estudis geològics detallats. P.Ex.: CONTACTES INTRUSIUS**

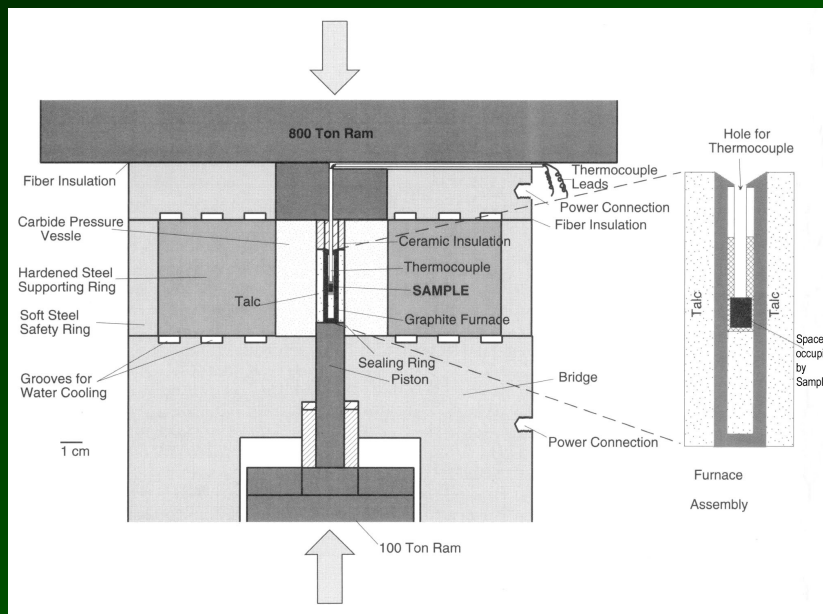


33

- **8.-Evidències de la formació de les roques ígnies.**

- Roques plutòniques: Dades indirectes:

>> **PETROLOGIA EXPERIMENTAL**



Experiments de fusió i cristal·lització a diferents pressions i amb diferents continguts en volàtils.

Winter (2001)

34

Capítol 1

Introducció. Roques ígnies i magmes.

- **8.-Evidències de la formació de les roques ígnies.**

- Dades indirectes: → **Formulació de teories**

Primeres controvèrsies:

- Werner (1749-1817): Teoria “Neptunista”

(Precipitació a partir d'un fluid aquós primordial)

- Hutton (1726-1797): Teoria “Plutonista”

(La Terra com una màquina que funciona gràcies a la calor interna: granits i filons formats a partir de materials fosos)

35

- **8.-Evidències de la formació de les roques ígnies.**

- Dades indirectes: → **Controvèrsies**



Smith (1981): *The Cambridge Encyclopedia of Earth Sciences*

- **Basalts de la Giant's Causeway (Irlanda)**

- Werner : → Precipitació química
- Desmarest : → Com en els volcans actuals

36

- 8.-Evidències de la formació de les roques ígnies.
- Dades indirectes: → **Controvèrsies**

Controvèrsies més recents

(principalment entre 1930-1950):

➤ Teoria “Transformista”

(Els granits i altres roques plutòniques formades per recristal·lització en estat sòlid.)

➤ Teoria “Magmatista”

(Els granits i altres roques plutòniques formades per crist·lització d'un magma.)

37

Capítol 1

Introducció. Roques ígnies i magmes.

- 9.- Àmbits de distribució de les roques ígnies.
- Cal distingir dos dominis ben diferenciats:

→ A la Terra

→ A altres cossos planetaris

38

Capítol 1

Introducció. Roques ígnies i magmes.

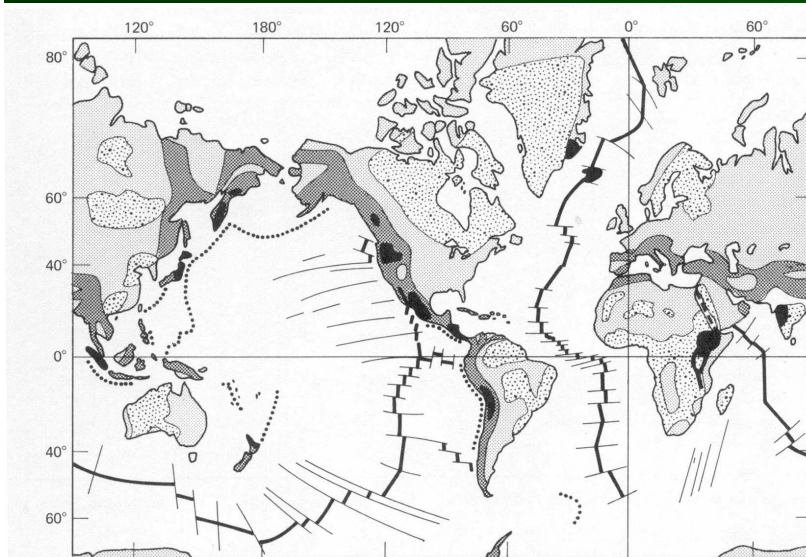


Figure 2-3. Major tectonic features of the world. Key: heavy lines, active rift systems of oceanic ridges; light lines, oceanic faults; dotted lines, oceanic trenches; light shading, continental platforms; ornamented, continental shields; dark grey, Tertiary folded mountain chains; black, Cenozoic volcanic regions (various sources).

Wyllie, 1971

9.- Àmbits de distribució de les roques ígnies.

→ A la Terra

39

Capítol 1

Introducció. Roques ígnies i magmes.

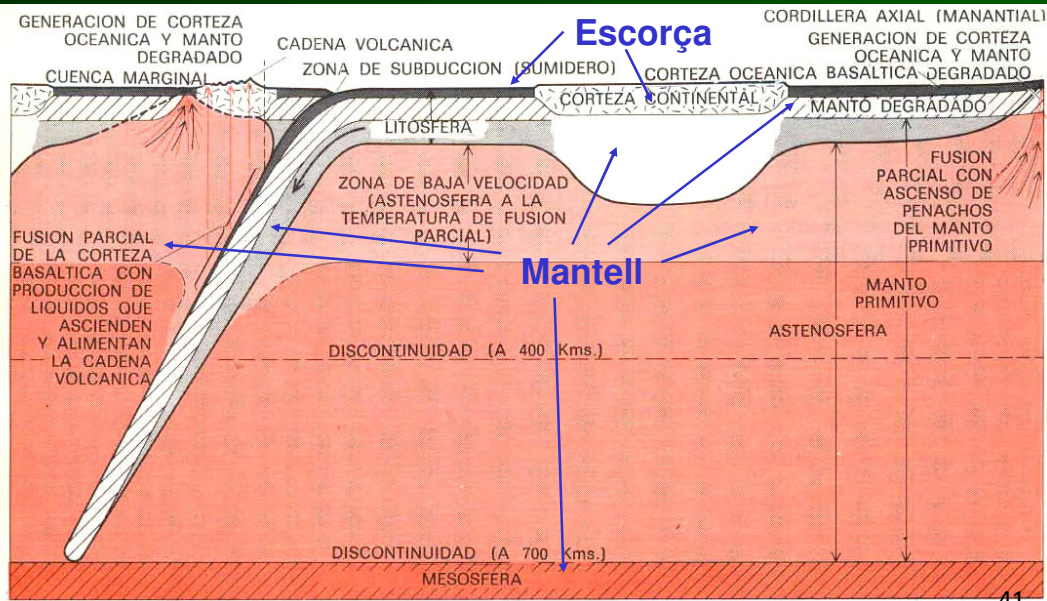
- 9.- Àmbits de distribució de les roques ígnies.
- a) Les roques ígnies a la Terra.

Tres dominis principals de distribució de les roques ígnies:

- ⇒ 1) El Mantell : És el domini de les roques **ultramàfiques** (peridotites, eclogites (subordinades)) (Està separat de l'escorça per la discontinuïtat de Mohorovicic (MOHO).
- ⇒ 2) L'Escorça Oceànica : Roques ígnies bàsiques (basalts toleítics, diabases, gabres)
- ⇒ 3) L'Escorça Continental : Roques **plutòniques àcides i intermèdies**: granodiorites i tonalites (20%), granits (18%), així com els seus equivalents metamòrfics, els gneissos (38%), altres (16%) (Wyllie, 1971).

40

- 1) El Mantell : Peridotites, Eclogites (subordinades)
- 2) L'Escorça Oceànica : Basalts, Diabases, Gabres
- 3) L'Escorça Continental : Granits, Granodiorites, Tonalites, etc.



Sci. Am. (1974)

41

- 1.- Definició de Petrologia.
- 2.- Classificació de les roques.
- 3.- Definició de Magma.
- 4.- Definició de Petrologia Ígnia.
- 5.- Procedència dels magmes.
- 6.- Relacions entre la Petrologia Ígnia i la Petrologia Metamòrfica.
- 7.- Relacions entre la Petrologia Ígnia i la Petrologia Sedimentària.
- 8.- Evidències de la formació de les roques ígnies.
- 9.- Àmbits de distribució de les roques ígnies.
- 10.- Primers indicis d'activitat ígnia preservats en la història geològica de la Terra.

Capítol 1

Introducció. Roques ígnies i magmes.

• 9.- Àmbits de distribució de les roques ígnies.

• Cal distingir dos dominis ben diferenciats:

→ A la Terra

→ A altres cossos planetaris

42

- 9.- Àmbits de distribució de les roques ígnies.

b) Les roques ígnies a altres cossos planetaris.

En l'estudi de les roques ígnies a altres cossos planetaris cal fer una distinció clara entre:

(I) els cossos planetaris anomenats "terrestres" o "interns", i

(II) els "externs"

(III) **EXOPLANETES**

43

1.- Definició de Petrologia.

2.- Classificació de les roques.

3.- Definició de Magma.

4.- Definició de Petrologia Ígnia.

5.- Procedència dels magmes.

6.- Relacions entre la Petrologia Ígnia i la Petrologia Metamòrfica.

7.- Relacions entre la Petrologia Ígnia i la Petrologia Sedimentària.

8.- Evidències de la formació de les roques ígnies.

9.- Àmbits de distribució de les roques ígnies.

10.- Primers indicis d'activitat ígnia preservats en la història geològica de la Terra.

Capítol 1

Introducció. Roques ígnies i magmes.

10.- Primers indicis d'activitat ígnia preservats en la història geològica de la Terra.

• Edat aprox. de la Terra : **4600 Ma**

• Roques més antigues conegudes:

→ gneissos d'Amîtsoq (Groenlàndia) **3800 Ma**

→ gneissos d'Acasta (Canadà): **3960 Ma**

→ "amfibolites" de Nuvvuagittuq (Canadà) **4280 Ma**

44

Gneissos i
amfibolites

de l' Escut
cratònic
canadenc



Les roques
terrestres més
antigues
conegudes:

Nuvvuagittuq

4280 Ma

O'Neil et al. (2008)



CBC News Canada 26Sept2008:
<http://www.cbc.ca/canada/story/2008/09/25/oldest-rocks.html>

45

Gneissos
de l' Escut
cratònic

d' Acasta
(Canadà)

Les roques
terrestres
més antigues
conegudes



York, D (1993)

46

1.-Definició de Petrologia.

2.- Classificació de les roques.

3.- Definició de Magma.

4.- Definició de Petrologia Ígnia.

5.- Procedència dels magmes.

6.- Relacions entre la Petrologia Ígnia i la Petrologia Metamòrfica.

7.- Relacions entre la Petrologia Ígnia i la Petrologia Sedimentària.

8.-Evidències de la formació de les roques ígnies.

9.- Àmbits de distribució de les roques ígnies.

10.- Primers indicis d'activitat ígnia preservats en la història geològica de la Terra.

Capítol 1

Introducció. Roques ígnies i magmes.

- Roques més antigues conegudes:
→ gneissos d'Acasta (Canadà):

3960 Ma



Smithsonian National Museum of Natural History. The Dynamic Earth: **Catalog Number: USNM 116542**
http://www.mnh.si.edu/earth/text/geogallery_main.html

47

1.-Definició de Petrologia.

2.- Classificació de les roques.

3.- Definició de Magma.

4.- Definició de Petrologia Ígnia.

5.- Procedència dels magmes.

6.- Relacions entre la Petrologia Ígnia i la Petrologia Metamòrfica.

7.- Relacions entre la Petrologia Ígnia i la Petrologia Sedimentària.

8.-Evidències de la formació de les roques ígnies.

9.- Àmbits de distribució de les roques ígnies.

10.- Primers indicis d'activitat ígnia preservats en la història geològica de la Terra.

•Amîtsoq

•Isua

~3800 Ma

Moorbath, (1977)



48

- DEWEY, J.F. (1974): Placas Tectónicas . En *Deriva Continental y Tectónica de Placas*. Ed. Blume. 231 p.
- EASTERN CONNECTICUT STATE UNIVERSITY (2007): <http://www.easternct.edu>
- ENRIQUE, P., (1995): Pluton de Perramó-Posets. En A. Barnolas et J.C. Chiron, *Synthèse géologique et géophysique des Pyrénées*. Tome I- Cycle Hercynien, pp. 423-424. Édition BRGM-ITGE Orléans et Madrid.
- ENRIQUE, P. (1986): Les roques ignies de la Serralada Costanera Catalana. In: P. Santanach, ed. *Geologia I (Història Natural dels Països Catalans)* . Enciclopèdia Catalana S.A. Barcelona, pp. 191-196.
- GASS, I. G. & THORPE, R. S. (1976): *Igneous Case Study: the Tertiary igneous rocks of Skye, NW Scotland* (ed. Aprahamian, F.) (Open University Press, Milton Keynes.).
- HUANG, W.T. (1968): *Petrologia*. 547 pp. Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana. México.
- JONES, C.E.: <http://www.pitt.edu/~cejones/Geolimages/2IgneousRocks/IgneousTextures/6Glassyz/ObsidianOrangeFlake.jpg>
- MINING AND GEOLOGY IN FUJI (2011): <http://www.mrd.gov.fj/gfiji/geology/educate/rocks.html>
- MOORBATH, S. (1977): The Oldest Rocks and the Growth of Continents. *Sci Am*. 236: 92-104.
- NASA (2011): <http://scign.jpl.nasa.gov/learn/plate1.htm>
- O'NEIL, J., CARLSON, R. W., FRANCIS, D. & STEVENSON R. K. (2008): Neodymium-142 Evidence for Hadean Mafic Crust. *Science* **321**, 1828-1831.
- SCIENTIFIC AMERICAN (1974): *Deriva Continental y Tectónica de Placas*. Ed. Blume. 231 p.
- SMITH, D. G. (Ed.) (1981): *The Cambridge Encyclopedia of Earth Sciences*, (Cambridge University Press), 496 p.
- SOLE, J., DELALOYE, M., & ENRIQUE, P. (1998): K-Ar ages in biotites and K-feldspars from the Catalan Coastal batholith: Evidence of a post-Hercynian overprinting. *Eclogae geol. Helv.* 91: 139-148.
- SOPER, D. E. (2011): zebu.uoregon.edu/~soper/Earth/earthstructure.html
- SMITHSONIAN NATIONAL MUSEUM OF NATURAL HISTORY. *The Dynamic Earth*: http://www.mnh.si.edu/earth/text/geogallery_main.html
- ST JOHN, J. (2011): The Ohio State University Newark: <http://www1.newark.ohio.state.edu/Professional/OSU/Faculty/jstjohn/Acasta%20Gneiss%20stuff/Acasta%20Gneiss.htm>
- VAN ROSE, S. & MERCER, I. (1974): *Volcanoes*. Geological Museum
- WAGER, L.R. & BROWN, G.M. (1968): *Layered Igneous Rocks*. Oliver & Boyd. 588 pp.
- WEISEL, D. & JOHNSON, C. (1994): *Fire on the Mountain: The nature of volcanoes*. 132 p. Chronicle Books. San Francisco.
- WINTER, J.D. (2001): *Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall. N.J. 697 p.
- WYLLIE, P.J. (1971): *The Dynamic Earth: Textbook in Geosciences*. 416 pp. John Wiley & Sons.
- YORK, D. (1993): *Protohistoria de la Terra*. Inv. y Ciencia. 198: 40-47.