



TEORIA (Curs 2003 – 2004)

Unitat I. Nocions Fonamentals

Tema 1: Introducció

1. *El metamorfisme*. Definició. Límits. Causes: estat estacionari, perturbacions i estats transients a la litosfera. Factors: pressió, temperatura, fluids, esforç-deformació, composició. Tipus de canvis metamòrfics: canvi mineralògic i canvi textural.

2. *Tipus de metamorfisme*. Relació amb la tectònica de plaques. Metamorfisme regional en zones distensives: metamorfisme de soterrament, metamorfisme de dorsal centre-oceànica. Metamorfisme regional en zones convergents: metamorfisme orogènic. Zones de subducció i zones de col·lisió. metamorfisme de contacte, metamorfisme d'alta deformació i metamorfisme d'impacte.

3. *La nomenclatura de les roques metamòrfiques*. Bases. Termes referents al protòlit. Termes referents a la textura o fàbrica. Termes especials. Addicions amb base mineralògica. Addicions amb base a les condicions P-T. Conclusions.

4. *Metodologia*. Història de la petrologia metamòrfica. El mètode modern: Limitacions, tipus d'aproximacions: empírica, experimental i teòrica. Introducció a la Petrogènesi metamòrfica: les variables observables i no observables. El model d'equilibri. Objectius de la Petrologia Metamòrfica.

Unitat II. Els factors del metamorfisme

Tema 2: Els factors del metamorfisme I. Les variables observables

5. *La Textura i la fàbrica*. Introducció: definicions i nomenclatura. La transferència de massa. Difusió. Nucleació i creixement-reabsorció. Deformació. Textures de cristal·lització estàtica: granoblàstiques, porfiroblàstiques. Textures de desequilibri: reaccionals. Textures deformacionals: Foliacions i liniacions. Textures cataclàstiques i milonítiques. Textures mixtes: relacions cristal·lització-deformació.

6. *L'associació mineral estable*. Definicions. Equilibri mineralògic: evidències. La regla de les Fases. La composició mineral: components de fase. Espais composicionals als silicats: relacions amb l'estructura. La composició global de les roques: components del sistema. La moda. La relació moda – composició mineral – composició global. Representació: diagrames de compatibilitat.

7. *L'associació mineral en canvi*. Minerals índex. Associacions característiques. Grau metamòrfic. Zones i Isogrades. Les reaccions metamòrfiques. Les Fàcies metamòrfiques: visió històrica i actual del concepte. Les sèries de Facies. El gradient metamòrfic de camp o MFG.

Tema 3: Els factors del metamorfisme II. Les variables no observables

8. *La pressió i la temperatura.* Pressió litostàtica i pressió dirigida. Geotèrmia i flux de calor a la litosfera. La geoterma. Estimació per mesures superficials. Càlcul teòric de la geoterma. Equació del fluxe calorífic.

9. *El temps.* Introducció. Duració dels esdeveniments metamòrfics. Velocitats característiques: cinètica dels canvis metamòrfics. Conceptes de geocronologia. La temperatura de tancament. Mètodes de datació. La trajectòria P-T-t. Relacions entre trajectòries P-T, geotermes litosfèriques i gradients metamòrfics de camp.

10. *Els fluids.* Introducció. Importància. Probes de la seva existència. Característiques de la fase fluida: quantitat, estat físic, composició, localització. Mecanismes de mobilitat. Influència en les reaccions metamòrfiques: control intern vs. control extern.

Unitat III. Models del metamorfisme

Tema 4: Models de les associacions minerals i simulació del metamorfisme

11. *Models de les associacions minerals. Espai Reaccional.* Introducció: La regla de les fases i la regla de Gibbs - Duhem. Les reaccions de transferència neta i d'intercanvi. Reaccions contínues i discontinues. Reaccions entre sòlids i reaccions sòlid-fluid. Tamponament. Espai Reaccional. Equacions fonamentals de l'equilibri en una paragènesi mineral.

12. *Models de les associacions minerals. Representació.* Diagrames de fase. El diagrama de fases multidimensional. Seccions i projeccions. La funció $G=f(P,T,X)$. Diagrames de compatibilitat. Diagrames P-T: regles de Schreinemaker. Xarxes petrogenètiques. Diagrames T-X i P-X. Visibilitat de les reaccions en funció de la composició global: pseudoseccions P-T.

13. *Les Trajectòries P-T-t. Simulació del metamorfisme.* Gradients de P y T i transferència de calor a la litosfera. Models tèrmics senzills: càlcul de la geoterma estacionària, model d'intrusió magmàtica laminar, models de plutons, models de duplicació crustal, models mixtes: duplicació crustal i intrusió magmàtica.

14. *Les Trajectòries P-T-t. Geotermobarometria.* Equilibris getermomètrics i geobaromètrics. Calibració. Aproximació a P-T per reaccions úniques. Aproximació per múltiples reaccions. Mètode AvgPT. Obtenció de trajectòries P-T. Anàlisi de la zonació mineral i dels canvis modals. Aproximació per diagrames de fases: introducció als diagrames d'isopletes i pseudoseccions P-T.

Unitat IV. Aplicació dels models a l'explicació de dades

Tema 5: El metamorfisme de les composicions globals principals

15.. *Les metabasites.* El sistema NCFMASH. Diagrama de compatibilitat ACF. Xarxa petrogenètica. Metamorfisme incipient. Metamorfisme hidrotermal. Les sèries de P mitjana-baixa: esquistos verds, amfibolites i granulites. Les sèries de P alta: esquistos blaus, eclogites i granulites d'alta P. **

16 - 17. *Les metapelites.* El sistema KFMASH. Diagrama de compatibilitat AFM. Xarxa petrogenètica. La sèrie Barrow o de P mitjana, la sèrie de P baixa - T alta. Migmatització. Metapelites en fàcies granulítica. la sèrie de P alta. *

18. *Les roques calcàries i calcosilicatades.* El sistema CMS-HC. Diagrama de compatibilitat CMS. Diagrames T - X(fluid): metamorfisme amb tamponament del fluid, metamorfisme amb tamponament de les paragènesis. Canvis mineralògics a P mitja i baixa.

* *Les quarzites i roques quarz-feldspàtiques (es poden incloure a 16 - 17. El sistema KNASH. Diagrama de compatibilitat AKN. Canvis mineralògics en semi-pelites i metagranitoids. Migmatització de roques quarz-feldspàtiques.*

** *Les roques ultramàfiques (es poden incloure a 15). Sistema CMS-HC. Diagrama de compatibilitat MSH. Metamorfisme progressiu. Isogrades. Serpentinització. Reaccions a alta T.*

Tema 6: Els Cinturons i els Complexos Metamòrfics i els seus contextos geodinàmics

19. *Metamorfisme regional en zones d'extensió litosfèrica.* Metamorfisme regional de soterrament: metamorfisme de grauvaques, tobres i metavulcanites del Grup Haast (Otago, Nova Zelanda). Metamorfisme incipient als mantells helvètics inferiors (Alps). Metamorfisme de dorsal centre-oceànica. La Ophiolita de Troodos (Xipre). ***

20. *Metamorfisme regional en zones de convergència litosfèrica I.* Metamorfisme de alta P a les zones de subducció. Esquists blaus. Trajectòries P-T del Complex Franciscà (Califòrnia). Trajectòries P-T als Alps occidentals. Altres localitats: Cinturó Sambagawa (Japó), Península Seward (Alaska), Nova Caledònia. Eclogites (Alps, massís Central francès, Cíclades, Nova Caledònia, Noruega). ***

21. *Metamorfisme regional en zones de convergència litosfèrica II.* Metamorfisme de P variable a les zones de col·lisió continental. El cinturó metamòrfic de l'Himalaia. El cinturó metamòrfic Acadia als Apalaches de Nova Anglaterra (Estats Units). El cinturó metamòrfic Caledonià d'Europa Nororiental. Extensió post col·lisió: els "Metamorphic Core Complexes". Metamorfisme a l'escorça mitjana-inferior: Granulites de mitjana i alta P. Complexes granulítics aflorants als escuts i cratons (Complex Lewisian de l'NW d'Escòcia, Muntanyes Adirondacks de Nova York, USA, Namaqualand a Sudafrica). ***

22. *El Metamorfisme a la Península Ibèrica i àrees relacionades.* Introducció. Distribució i significat de les àrees metamòrfiques. El massís Ibèric. Els Pirineus i les Serralades Costaneres Catalanes. *El Metamorfisme alpin a la Península Ibèrica.* Introducció. Distribució de les àrees metamòrfiques. Metamorfisme a la Serralada Bètica.

Es poden incloure a 19,20,21:

*** *El Metamorfisme de contacte.* Exemples: L'aureola de Skiddaw (Anglaterra). L'aureola de Beinn an Dubhaich (Illa de Skye, Escòcia). L'aureola d'Onawa (Maine, USA).

***. *El metamorfisme dinàmic.* Metamorfisme d'alta deformació: zones de milonites (Cabalgament del Moine, NW d'Escòcia; La milonita de Mutki, Turquia; La milonita de Lochseiten, Suïssa). Metamorfisme d'impacte: Cràter de Nördlinger Ries, Alemanya

PRÀCTIQUES

Curs 2003/04

Les pràctiques de l'assignatura Processos Metamòrfics consisteixen a observar aquests tipus de roques per mitjà de tres mòduls. En el primer (quatre pràctiques) se n'observen la mineralogia, les textures principals, es proporcionen les pautes per a reconèixer-les en làmina prima, al microscopi de polarització. En el segon mòdul (dues pràctiques) es tracta de conèixer les principals eines de modelització teòrica i en el tercer es fa atenció al reconeixement dels tipus de roques principals, tant en làmina prima com en mostra de ma.

Pràctica 1 Mineralogia de les roques metamòrfiques.

Pràctica 2 Textures Granoblàstiques.

Pràctica 3 Textures reaccionals.

Pràctica 4 Textures deformacionals.

Pràctica 5 Models del metamorfisme I: Diagrames de fase

Pràctica 6 Models del metamorfisme II: Simulació del metamorfisme

Pràctica 7 Metabasites

Pràctica 8 Metapelites

Pràctica 9 Roques calcosilicatades

BIBLIOGRAFIA

BARKER, A.J., (1990). *Introduction to Metamorphic Textures and Microstructures*. Blackie & Son. Nova York. TOPOGRÀFIC: 552.4 Bar.

SPRY, A., (1969). *Metamorphic Textures*. Pergamon Press. Oxford. TOPOGRÀFIC: 552.4 Spr.

YARDLEY, B.W.D., MACKENZIE, W.S. Y GUILFORD, C. (1990). *Atlas of metamorphic rocks and their textures*. Longman Scientific & Technical. TOPOGRÀFIC: 552.4 Yar.**

** Bibliografia de preferència, recomanada d'acord amb el programa de l'assignatura. Els llibres que tenen la referència TOPOGRÀFIC són disponibles i es poden consultar a la Biblioteca de Ciències de la UAB.

OBJECTIUS:

— **Teoria (Unitat I):** Tenir una visió global del fenomen del metamorfisme, tot remarcant-ne els aspectes següents: la definició, la tipologia, els tipus de contextos geològics, les relacions amb la tectònica global i la influència relativa dels factors pressió, la temperatura, la coexistència amb fluids i variables cinètiques. Conèixer les basses de la nomenclatura de les roques metamòrfiques i de la metodologia de treball.

— **Teoria (Unitat II):** Conèixer els trets principals de la teoria química-mineralògica i d'anàlisi de textures per a esbrinar l'evolució de les roques metamòrfiques tant pel que fa a les seves textures i fàbriques com a la seva mineralogia. Aprendre com a partir de l'estudi químic-mineralògic i textural es pot extreure informació sobre variables no observables com la pressió i temperatura de formació, l'edat del metamorfisme i les característiques dels fluids que hi varen participar.

— **Teoria (Unitat III):** Conèixer els trets principals dels models teòrics dels processos metamòrfics.

— **Teoria (Unitat IV):** Conèixer les observacions més importants de camp i de laboratori i les hipòtesis genètiques associades a aquestes observacions sobre els processos metamòrfics dels diferents tipus de roques, sobre els diversos contextos de metamorfisme i sobre els principals episodis metamòrfics de l'edat herciniana i alpina a la península Ibèrica.

— **Pràctiques:** Saber reconèixer en làmina prima els minerals metamòrfics (els silicats i no-silicats principals i, també, alguns d'ells en mostra de ma), les textures metamòrfiques i els tipus de roques metamòrfiques (aquests dos en làmina prima i en mostra de mà). Saber aplicar la nomenclatura de les roques metamòrfiques. Conèixer les eines bàsiques de representació i descripció teòrica de les associacions minerals metamòrfiques.

CRITERIS D'AVUACIÓ:

1. TEORIA: L'avaluació es fa tenint com a base la qualificació que s'obté d'un examen teòric, que consta de dues parts: la primera està formada per preguntes de resposta curta o bé de tipus test (la valoració total és de 5 punts) i la segona, per preguntes de resposta més llarga, de desenvolupament de temes o comentaris d'interpretació sobre gràfics de l'assignatura (la valoració total és de 5 punts).

2. PRÀCTIQUES: L'avaluació es fa tenint com a base el següent:

— Assistència a les pràctiques. Es valora el grau d'assistència a través d'un control de signatures, de la manera que s'especifica en l'apartat 3.

— Confecció d'un dossier de pràctiques. Es valora la presentació d'un dossier (en el format que s'establirà durant el curs), de la manera que s'especifica en l'apartat 3.

— Confecció i exposició d'un treball en grup sobre una de les lliçons del tema 6 (Unitat IV), de la manera que s'especifica en l'apartat 3.

— Qualificació que s'obté d'un examen pràctic de dues làmines primes i de dues mostres de ma. Cada làmina s'haurà de reconèixer i enumerar-ne la mineralogia (3 punts) i les textures, fent-ne un esquema i situant-hi els minerals i les textures que es reconeguin (3 punts) i se n'haurà d'identificar el tipus de roca segons els criteris de composició global, texturals i mineralògics (2 punts). Pel que fa a les dues mostres de ma se n'haurà de fer la descripció (utilitzant els criteris que s'indiquen al llarg del curs) i també s'haurà d'identificar-ne la mostra (2 punts en total). Per a fer l'esquema caldrà dur instruments de dibuix (especialment llapis de colors). Es permetrà consultar els apunts elaborats personalment durant el curs, però no els apunts de qualsevol altre tipus, com llibres, especialment els referenciats a la bibliografia de pràctiques.

3. La nota final de l'assignatura Processos Metamòrfics s'obté com a resultat de la ponderació següent: [nota de l'examen de teoria (sobre 10) x (0.45)] + [nota de l'examen de pràctiques (sobre 10) x (0.30)] + [nota del dossier de pràctiques (sobre 10) x (0.1)] + [nota del treball en grup d'una de les lliçons del tema 6 de la Unitat IV (sobre 10) x (0.1)] [assistència a les pràctiques (sobre 10) x (0.05)]. Per aprovar l'assignatura cal obtenir una nota de 5 punts.

És obligatori de presentar-se a ambdós exàmens (teòric i pràctic). Si un/a alumne/a no es presenta a un dels dos, es considerarà suspès/essa, la convocatòria li comptarà i la nota obtinguda en l'examen que s'ha presentat es considerarà nul·la. Si es presenta a ambdós exàmens i en té suspesa una part la nota final serà de suspès/esa, i la convocatòria li comptarà, però se li reservarà la nota de la part aprovada únicament fins a la convocatòria següent. Si no es presenta a cap de les dues parts la qualificació serà de no presentat/ada i, per tant, la convocatòria no li comptarà.

BIBLIOGRAFIA

Processos Metamòrfics

TEORIA

- BEST, M.G. (1982). *Igneous and Metamorphic Petrology*. W.H. Freeman & Company. San Francisco. TOPOGRÀFIC: 552 Bes.**
- BOWES, D. R., (1989). *The Encyclopedia of Igneous and Metamorphic Petrology. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Rodes W. Fairbridge (ed.). Van Nostrand Reinhold. Nova York.
- BUCHER, K. & FREY, M. (1994). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. 6th Edition, Springer-Verlag. TOPOGRÀFIC: 552.4 Win **
- CASTRO DORADO, A., (1989). *Petrografia bàsica. Texturas, clasificación y nomenclatura de rocas*. Ed. Paraninfo.
- KEARY, P., (ED.).1993. *The Encyclopedia of the Solid Earth Sciences*. Blackwell Scientific Publications.
- KORNPROBST, J., (1996). *Manual de Petrología Metamórfica y su contexto geodinámico*. Ed. Masson.
- KRETZ, R., (1994). *Metamorphic Crystallization*. Jhon Wiley & Sons. Nova York. TOPOGRÀFIC: 552.4 Kre.
- MARTINEZ, F. J. & IBARGUCHI, I., (1983). *El metamorfismo en el Macizo Ibérico*. En *Libro Jubilar J.M. Rios*. IGME. **.
- MASON, R. (1990). *Petrology of the Metamorphic Rocks*. Second ed. Unwin Hyman. Londres. TOPOGRÀFIC: 552.4 Mas. **.
- MIYASHIRO, A., (1994). *Metamorphic Petrology*. UCL Press. Londres. TOPOGRÀFIC: 552.4 Miy.
- PRESS, F. & SIEVER, R.S., (1994). *Understanding Earth*. Chap. 8: *Metamorphic Rocks*. W. H. Freeman & Co. Nova York.
- SPEAR, F.S., (1993). *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure - Temperature - time Paths*. Mineralogical Society of America monograph. Whashington DC. **
- PHILPOTTS, A.R. (1990). *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall. TOPOGRÀFIC: 552 Phi.
- WINTER, J.D. (2001). *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall. TOPOGRÀFIC: 552 Win. **
- YARDLEY, B.W.D. (1989). *An Introduction to Metamorphic Petrology*. Longman Earth Science Series. John Wiley & Sons, Inc. Nova York. TOPOGRÀFIC: 552.4 Yar.**

** Bibliografia de preferència, recomanada d'acord amb el programa de l'assignatura. Els llibres que tenen la referència TOPOGRÀFIC són disponibles i es poden consultar a la Biblioteca de Ciències de la UAB.