



1.- Identificació de l'assignatura

Nom de l'assignatura: Processos Metamòrfics

Codi 20430

Nombre de crèdits 6 (3 teoria + 3 pràctiques)

2.- Objectius de l'assignatura.

Descripció clara dels objectius que es pretenen assolir amb aquesta assignatura.

La assignatura està composta de dues unitats en la part teòrica i unes pràctiques de laboratori. Els objectius són els següents:

— **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 bases 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.

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

3.- Continguts.

Descripció enumerada i realista del conjunt dels temes o continguts que es pretenen desenvolupar al llarg de l'assignatura.

TEORIA

Unitat I. Les nocions Fonamentals

Tema 1: Introducció

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

2. *Els 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*. Estructura bàsica. Termes referents al protòlit. Termes referents a la textura o fàbrica. Termes especials. Adicions amb base mineralògica. Termes referents a les condicions P-T. Conclusions.

4. *La metodologia*. Resum de 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 deformationals: 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 index. Associacions característiques. Grau metamòrfic. Zones i Isogrades. Les reaccions metamòrfiques. Les Fàcies metamòrfiques: visió històrica i actual del concepte. Les sèries de Fàcies. 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 flux calorífic. Les trajectòries P-T-t. Models senzills d'evolució P-T-t: model d'intrusió magmàtica laminar, models de duplicació crustal o models de col·lisió i models mixtes d'engruiximent crustal amb intrusions magmàtiques.

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. Proves 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.

PRÀCTIQUES

Les pràctiques de l'assignatura Processos Metamòrfics consisteixen a observar aquests tipus de roques per mitjà de dos mòduls principals. En el primer (pràctiques 1 a 4) se n'observen la mineralogia, les microestructures principals i es proporcionen les pautes per a reconèixer-les en làmina prima, al microscopi de polarització. En el segon mòdul (pràctiques 5 a 8) es fa atenció al reconeixement dels tipus de roques principals, tant en làmina prima com en mostra de mà. A més durant les pràctiques es realitzarà una bateria d'exercicis/problemes sobre diferents tècniques de descripció i modelització del metamorfisme i les roques metamòrfiques.

Pràctica 1 *Mineralogia de les roques metamòrfiques*. Observació de característiques distintives – comparació amb les propietats de minerals semblants.

Pràctica 2 *Microestructures Granoblàstiques*. Claus d'anàlisi textural de les roques i dels minerals metamòrfics. Microestructura granoblàstica polygonal. Microestructura granoblàstica decussada. Microestructura Porfiroblàstica de matriu granoblàstica.

Pràctica 3 *Microestructures reaccionals*. Zonacions composicionals en minerals metamòrfics. Vores i corones reaccionals. Pseudomorfisme. Intercreixements simplectítics. Lamel·les d'exolució.

Pràctica 4 *Microestructures deformacionals*. Microestructura Granoblàstica orientada. M. Lepidoblàstica. M. Nematoblàstica. M. Porfiroblàstica de matriu foliada. M. Porfiroclàstiques milonítiques i cataclàstiques.

Pràctica 5 *Metabasites*. Sistema NCFMASH i diagrama ACF. Xarxa petrogenètica. Sèrie de Fàcies de P baixa – mitjana: Esquists verds. Amfibolites i amfibolites amb granat. granulites màfiques. Sèrie de Fàcies d'alta P: Esquists blaus. Eclogites i retroeclogites.

Pràctica 6 *Metapelites*. Sistema KFMASH i influència d'altres elements (Mn, Ca, Na). Diagrama AFM. Xarxa petrogenètica. Metapelites de la sèrie de P mitjana (Barrow): Pissarres – Fil·lites, Esquists, gneissos pelítics. Metapelites de la sèrie de P baixa (Buchan): Pissarres, fil·lites i esquists motejats, cornianes pelítics.

Pràctica 7 *Roques quars-feldspàtiques*. Sistema KNASH. Diagrama AKN. Nomenclatura: semi-pelites, metapsamites i meta-granitoids. Canvis mineralògics principals.

Pràctica 8 *Roques calcosilicatades*. Sistema CMS-HC. Diagrama CMS. Diagrames T – X(fluid): metamorfismes amb control intern o extern de les reaccions. Canvis mineralògics principals en marbres i roques calcosilicatades senzilles a P mitjana i baixa.

4.- Temps que ha de dedicar l'alumne per tal de superar l'assignatura.

TIPUS D'ACTIVITAT	Descripció	Hores
ACTIVITAT PRESENCIALS	Classes teòriques	30
	Pràctiques de laboratori	30
	Pràctiques de camp	
ACTIVITAT NO PRESENCIALS	Completar exercicis de pràctiques	10
	Elaboració de treballs no de camp (bibliogràfics i/o pràctics)	
	Elaboració de treballs sobre sortides de camp	
	Sortides de camp optatives (individuals o en grup)	
	Lectura d'articles	
	Preparació de presentacions orals	
	Hores d'estudi	40
	Altres (especificar)	
	Total	110

5.- Capacitats o destreses a adquirir.

Els alumnes de l'assignatura Processos Metamòrfics, hauran de assolir les següents capacitats teòriques:

1. Aprendre els aspectes bàsics identificatius dels Processos Metamòrfics: definició, límits, causes, factors, tipus de canvis metamòrfics, contexts y relació amb la tectònica global.
2. Comprendre i poder utilitzar la nomenclatura de les roques metamòrfiques, en els seus aspectes fonamentals.
3. Aprendre a aplicar el mètode científic al coneixement dels Processos Metamòrfics. Entendre les aproximacions teòrica, empírica i experimental i les seves limitacions.
4. Aprendre el significat de les principals microestructures de les roques metamòrfiques.
5. Aprendre els canvis mineralògics principals en les composicions globals més abundants: metapelites, metabasites, roques quars-felsdpàtiques i roques calcosilicatades.
6. Aprendre els aspectes bàsics de l'aplicació de la Termodinàmica química a la construcció de models de les associacions minerals metamòrfiques.
7. Aprendre els aspectes bàsics de l'aplicació de la Termodinàmica física (teoria de la transmissió de l'energia calorífica) a la construcció de models o simulacions del metamorfisme.
8. Aprendre els conceptes bàsics de la descripció de camp de les roques metamòrfiques: Zonacions metamòrfiques, Isògrades, Gradient metamòrfic de camp, Facies metamòrfiques i series de Facies metamòrfiques.
9. Entendre la influència dels factors principals: Pressió, temperatura, composició química global de les roques i fluids en l'evolució de les roques metamòrfiques.

Els alumnes de l'assignatura Processos Metamòrfics, hauran de assolir les següents destreses:

1. Aprendre una metodologia de descripció de les roques metamòrfiques desde els punts de vista mineralògic i microestructural, tot i fent servir la nomenclatura actual de les roques metamorfiques en base a criteris de composició global de les roques, microestructura, mineralogia, condicions de formació i altres criteris especials, tant en un context de laboratori com de camp.
2. Aprendre a interpretar els aspectes fonamentals de la representació d'associacions minerals en diagrames de compatibilitat i diagrames P-X, T-X i P-T.

6.- Requisits previs.

Per a un bon aprofitament de les classes teòriques es requereixen coneixements de geologia a nivell de curs introductori universitari (1er curs de grau), així com també coneixements sòlids de mineralogia (silicats i no silicats), Petrologia Endògena, Geoquímica i Geologia Estructural. Es del tot necessari haver assimilat els conceptes químics bàsics, com ara els d'estructura atòmica i enllàs, pes elemental i molecular, el concepte de mol, equilibri de reaccions químiques. Cal tenir les nocions bàsiques tant de termodinàmica química (termodinàmica de l'equilibri, amb les nocions d'entalpia, entropia i energia lliure de Gibbs) i física (teoria de la transmissió del calor). Es altament recomanable haver cursat l'assignatura optativa Aspectes teòrics de l'estudi de minerals i roques. Son necessaris coneixements elementals d'àlgebra i càlcul.

Per a les classes de pràctiques son necessaris coneixements de Mineralogia, i Cristal·lografia adquirits per l'alumne en cursos precedents, essent del tot imprescindible cursar l'assignatura optativa de Mineralogia Òptica. S'han tenir ben apresos els coneixements de microscòpia òptica sobre el comportament de la llum al travessar els minerals, així com haver adquirit certa destresa en el maneig del microscopi petrogràfic.

Per que fà a requisits previs de caràcter més específic de cada un desls temes, aquests es proporcionan als alumnes en l'apartat Materials, del campus virtual de l'assignatura.

7.- Metodologia.

Es tractarà de diversificar els mètodes docents:

TEORIA:

El mètode principal seran les Lliçons Magistral. Es del màxim interès que aquestes siguin participatives. A part es proporciona als alumnes, en format fotocopia els continguts de les transparències utilitzades pel professor a les classes teòriques amb la finalitat no únicament de que serveixin per l'estudi de cara a la avaluació sino també de poder fer una lectura previa a les classes, de manera que aquestes poguessin ser més participatives.

PRACTIQUES:

Es basen en l'estudi d'un conjunt de materials (làmines primes petrogràfiques i mostres de visu de roques metamòrfiques. Les classes s'estructuren en: a) una introducció, on es proporciona una explicació breu dels materials de la pràctica, dels seus mètodes d'estudi i descripció. Eventualment es fa ús del sistema de video-monitor, acoplat al microscopi del professor, b) Tot seguit els alumnes han de fer les observacions pertinents i anotacions en forma literal i d'esquemes que hauran d'anar incorporant a un dossier que hauran d'entregar al professor al finalitzar el semestre, per a la seva avaluació. Algunes pràctiques incorporen també exercicis o problemes que els alumnes hauran de resoldre i entregar junt amb el dossier

de descripcions. S'avalua l'assistència a pràctiques i un mínim d'assistència es obligatori per superar l'assignatura.

TUTORIES:

Es proporciona als alumnes la possibilitat de concertar amb el professor tutories presencials o bé realitzar-les a través de les eines del campus virtual de l'assignatura (e-mail).

CAMPUS VIRTUAL:

Es tracta fonamentalment de proporcionar als alumnes noves connexions amb els temes d'estudi, diferents de les proporcionades a classe de teoria i pràctiques, donar la possibilitat de connectar amb la matèria en qualsevol moment i en funció de la disponibilitat de l'estudiant, fomentar la interactivitat entre alumnes i professor i entre els alumnes entre sí, mitjançant l'ús de l'e-mail i forums de discussió, donar la possibilitat als alumnes d'autoevaluar-se i possibilitar el seguiment de l'actualitat de l'assignatura a través de notes d'avis periòdiques. Això es fa a través de l'ús de l'eina Campus Virtual de la UAB (assignatura en alta desde setembre de 2002) on es proporcionen bàsicament guies d'estudi dels diferents temes de teoria i pràctiques. Els continguts (materials) de l'assignatura consten de:

Una carpeta amb una introducció i comentaris sobre el programa i metodologia de l'assignatura, una carpeta per a cadascuna de les dues unitats de continguts i un segon nivell amb els temes i lliçons de cada unitat, que contenen: Un llistat específic i comentat dels prerequisits i objectius específics del tema o lliçó i resums sinòptics de la lliçó. En alguns casos també s'hi poden trobar hiperlinks o enllaços d'Internet, seleccionats tenint en compte la qualitat didàctica, amb un petit comentari. Es pretén introduir bateries de FAQ's (Frequently asked questions), així com conjunts de problemes, exercicis o bateries de preguntes de multiple opció (test) per a cada lliçó.

8.- Avaluació.

1. TEORIA: L'avaluació es fa tenint com a base els següents criteris:

— 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 els següents criteris:

— Assistència a les pràctiques. Es valora el grau d'assistència a través d'un control de signatures.

— Qualificació del DOSSIER DE PRÀCTIQUES. De presentació obligatòria el dia de l'examen pràctic, haurà de contenir les següents parts: Per cada pràctica: Apunts introductoris i/o fotocopies proporcionades, a més de: Practica 1: Recull d'observacions de minerals metamòrfics (format lliure).

Pràctica 2: Descripció i esquema (dibuix) textural d'un mínim de tres làmines primes. Pràctica 3: Ídem. Pràctica 4: Ídem. Pràctica 5: Descripció de la mineralogia, microestructura i classificació de cinc làmines primes, una làmina prima per cada una de les fàcies principals (esquist verd, amfibolita, granulita màfica, eclogita, esquist blau). Cinc Descripcions de mostres de mà corresponents a roques de les fàcies anteriors. Pràctica 6: Ídem per cinc làmines primes de metapelites (dues han de ser de la sèrie motejada) i cinc roques (dues de la sèrie motejada). S'ha de descriure làmines/roques de: pissarra-fil.lita / esquist / gneis pelític /pissarra-fil.lita-esquist motejat/corniana pelítica. Pràctica 7: Ídem per a tres làmines primes / tres roques quarso-feldspàtiques (ha d'haver-hi una quarsita, un ortogneis i un paragneis. Pràctica 8: Ídem per tres làmines primes / tres roques calcosilicatades (ha d'haver-hi un marbre i dos roques calcosilicatades).

— Qualificació dels exercicis/problemes. Els exercicis, amb una guia per la seva resolució, podran ser enviats pel professor i entregats pels alumnes via el lliurament d'arxius (facilitat disponible dins l'espai Virtual de l'assignatura, al Campus Virtual) o bé en format clàssic. Les dates límit per entregar els problemes es comunicaran en el moment de fer els enviaments o presentar l'exercici.

— Qualificació que s'obté d'un examen pràctic de dues làmines primes i de dues mostres de mà. 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 mà 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 QUALIFICACIÓ FINAL de l'assignatura Processos Metamòrfics s'obté com a resultat de la ponderació següent: [nota de l'examen de teoria (sobre 10) x (0.50)] + [nota de l'examen de pràctiques (sobre 10) x (0.30)] + [nota del dossier de pràctiques (sobre 10) x (0.10)] + [assistència a les pràctiques (sobre 10) x (0.05)] + [nota dels exercicis/problemes (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 de juliol. 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.

9.- Bibliografia.

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. (2002). *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. 7th Edition, Springer-Verlag. **
- CASTRO DORADO, A., (1989). *Petrografia bàsica. Texturas, clasificació y nomenclatura de rocas*. Ed. Paraninfo.
- KORNPROBST, J., (1996). *Manual de Petrologia Metamòrfica 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.**

Pràctiques

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

Notes: La bibliografia de preferència, recomanada d'acord amb el programa de l'assignatura està marcada amb **. La referència "TOPOGRÀFIC" es dona per facilitar la cerca dels llibres a la Biblioteca de Ciències de la UAB.

10.- Professorat.

TEORIA:

Joan Reche i Estrada
Classes de Teòria
CB-125, 935811781
joan.reche@uab.cat

PRÀCTIQUES:

Joan Reche i Estrada
Pràctiques de Laboratori
CB-125, 935811781
joan.reche@uab.cat