

Unitat 18

La Terra, un planeta en continu canvi.

Els fòssils com a indicadors.

El temps geològic

Explicacions històriques al problema dels canvis

1. Introducció
2. Datació relativa: principis fonamentals
3. Fòssils: evidències de vida en el passat.
4. Datació cronològica absoluta
5. L'escala del temps geològic
6. Explicacions històriques al problema dels canvis.

1. Introducció

La Terra té un passat i, en conseqüència, una història en la que s'han succeït tota una sèrie d'esdeveniments en el transcurs del temps. El seu estat actual no és altra cosa que la conseqüència final de tots aquests esdeveniments, encadenats en el temps.

Interpretar la història de la Terra és un objectiu fonamental de la geologia. Com un detectiu actual, el geòleg ha d'interpretar les pistes que es troben conservades en les roques. Estudiant aquestes roques, especialment les roques sedimentàries, i els trets que contenen, els geòlegs poden desvetllar les complexitats del passat i veure com anat canviant la Terra des d'aleshores.

La geologia estudia els canvis que ha sofert la Terra. Els canvis geològics es realitzen en temps que no són perceptibles per l'ésser humà. La unitat de temps en geologia és el milió d'anys. (m.a). La geologia tracta de determinar l'ordre en que s'han anat produint els fets al llarg de la història i en quin moment es van produir.

La cronologia relativa ordena els diferents esdeveniments geològics des del més antic al més modern. *La cronologia absoluta* fixa dates el més exactes possibles per al moment en que es produïren els esdeveniments, sent la datació radiomètrica la que ens ho permet fer amb més precisió.

2. Datació relativa: principis fonamentals

La datació relativa significa que les roques es col·loquen en una seqüència de formació adequada: quina es va formar en primer lloc, en segon, en tercer i així successivament. La datació relativa no ens diu quant fa que ha succeït alguna cosa, només què va passar després d'un esdeveniment i abans que un altre. Per establir una escala de temps relatiu es va haver d'establir uns **principis i normes bàsiques** i aplicar-les. Tot i que en l'actualitat semblen normes obvietes en el seu temps van constituir avanços importants.

Principi de l'actualisme geològic

En termes generals s'admet que els fenòmens geològics han ocorregut sempre de la mateixa forma que tenen lloc en l'actualitat

Llei de la superposició d'estrats

En una seqüència no deformada de roques sedimentàries, cada estrat és més antic que el que té per damunt i més modern que el que té per sota. Tot i la senzillesa d'aquest principi, representa una llei de primer rang en geologia.

Aquesta norma s'aplica també a altres materials dipositats en la superfície, com les colades de lava i els estrats de cendres de les erupcions volcàniques.

Principi de l'horitzontalitat original

Les capes de sediments es dipositen en general en posició horitzontal. Per tant, quan observem estrats rocosos plans, es dedueix que no han experimentat pertorbació i que mantenen encara l'horitzontalitat original. Però si estan plegats o inclinats deu ser perquè han estat moguts a

aquesta nova posició per algun tipus de pertorbació de l'escorça temps després de la seva deposició.

Principi de continuïtat lateral

Cada estrat té la mateixa edat en tots els seus punts. Si veiem un estrat al que assignem l'edat "A", quan trobem aquest estrat en un altra localització separada de la primera podem seguir assignant-li la edat "A" (hem d'estar segurs però de que es tracta del mateix estrat). Correlacionant les roques d'un lloc amb les d'un altre, és possible una visió més complerta de la història geològica d'una regió.

Principi d'intersecció

Quan una falla travessa altres oques, o quan un magma fa intrusió i cristal·litza, podem suposar que la falla o la intrusió són més moderns que les roques afectades.

Inclusions

De vegades les inclusions poden contribuir al procés de datació relativa. Les inclusions són fragments de roca que han quedat tancats dintre d'una altra. El principi bàsic és lògic i directe. La massa de roca adjacent a la que conté les inclusions ha d'haver estat allí primer per proporcionar els fragments de roca. Per tant la roca que conté les inclusions és la més moderna.

Discontinuitats estratigràfiques

Quan observem estrats rocosos que s'han anat dipositant sense interrupció, diem que són **concordants**. Una sèrie estratigràfica concordant pot haver patit processos tectònics que l'hagin plegat, perdent els seus estrats l'horitzontalitat original, sense que per això deixi de ser concordant.

Al llarg de la història de la Terra, el dipòsit de sediments s'ha vist interromput contínuament. Aquesta classe d'interrupcions sedimentàries que suposen el no registre en la sèrie d'un cert lapse de temps s'anomenen **discontinuitats estratigràfiques**. Les discontinuitats estratigràfiques són "cicatris" produïdes per una interrupció de la sedimentació durant un període de temps en que la regió considerada pot haver estat sotmesa a més, a processos erosius i posteriorment al reprendre's la sedimentació fer-ho sobre la superfície generada donant lloc a la "cicatriu".

Les discontinuitats són trets importants perquè representen esdeveniments geològics significatius de la història de la Terra.

Tipus de discontinuitats estratigràfiques

- **Disconformitat:** és la discontinuïtat estratigràfica en què malgrat la superfície d'erosió entre dues formacions es manté el paral·lelisme entre els estrats, la qual cosa dona a entendre l'absència de fenòmens de plegament durant el procés.
- **Paraconformitat:** si es manté el paral·lelisme entre els estrats superiors i els inferiors, i no ha hagut erosió, la discontinuïtat rep el nom de paraconformitat, i sovint passa desapercibuda.
- **Discordança angular:** és la discontinuïtat més fàcil de reconèixer. En una discordança no existeix paral·lelisme entre els estrats corresponents als materials dipositats abans i després de la interrupció. Una discordança angular indica que durant el temps que

abraça la discontinuïtat, s'ha produït el plegament de la unitat inferior i erosió (no sempre te perquè haver erosió posterior al plegament)

- Inconformitat: aquí la interrupció separa roques ígnies i metamòrfiques més antigues dels estrats sedimentaris més moderns. Com les roques ígnies i metamòrfiques s'originen per sota de la superfície, per a que es produeixi una inconformitat ha d'haver ocorregut un període d'elevació i un cop exposades a la superfície, les roques ígnies i metamòrfiques ser sotmeses a meteorització i erosió abans de la subsidència i posterior sedimentació.

3. Fòssils: evidències de vida en el passat

Els fòssils són inclusions importants en els sediments i les roques sedimentàries. Són eines importants i bàsiques per interpretar el passat geològic. Els fòssils són indicadors cronològics importants i representen un paper clau en la correlació de les roques d'edats similars que procedeixen de llocs diferents.

Des del punt de vista paleontològic és coneix un dels principis més importants i bàsic de la història geològica, el *principi de la successió de fòssils*.

Principi de la successió de fòssils

Els organismes vius es van succeint uns als altres en un ordre definit i determinable i per tant, qualsevol "temps" geològic es pot reconèixer pel seu contingut fòssil característic. Els fòssils documenten l'evolució de la vida a través del temps.

Per exemple, molt aviat en el registre fòssil es reconeix una edat dels trilobits, més tard, els paleontòlegs reconeixen una edat dels peixos, una edat dels pantans carbonífers, una edat dels rèptils i una edat dels mamífers. Aquestes "edats" pertanyen a grups que foren especialment abundants i característics durant períodes concrets. Dintre de cadascuna de les edats, hi ha moltes subdivisions basades, per exemple, en certes espècies de trilobits, en certs tipus de peixos, rèptils, etc.

Quan es va descobrir que els fòssils eren indicadors del temps geològic, es van convertir en el mitjà més útil de correlacionar les roques d'edats similars en regions diferents. Els geòlegs presten una atenció particular a certs fòssils anomenats **fòssils índex o guia**. Aquests fòssils estan geogràficament extensos i limitats a un curt període de temps geològic, de manera que la seva presència proporciona un mètode important per equiparar roques de la mateixa edat. De vegades però, una formació litològica no presenta un fòssil índex específic. En aquest cas s'ha de recórrer a **grups de fòssils** coincidents per establir l'edat de l'estrat.

Conèixer les formes de vida que van existir en un moment determinat ajuda també als investigadors a comprendre les **condicions ambientals del passat**. Per exemple, quan es troba en una caliza restes de certes cloïsses, el geòleg pot suposar que la regió va estar coberta per mar. Un altre exemple, els animals fòssils amb closques gruixudes, capaços de suportar els cops de les ondes, habitaven en les línies de costa. Per contra, animals amb closques fines i delicades són indicadors de que habitaven en aigües mar endins, profundes i calmades.

4. Datació cronològica absoluta

Mètodes no radioactius

Mètode de les varves glacials

En zones properes a les glaceres de muntanya, s'hi troben llacs originats per la fusió del gel glacial. A l'època del desgel (primavera - estiu) els rius transporten cap als llacs aigües tèrboles, carregades de materials erosionats per la glacera. En arribar al llac, es diposita ràpidament el material arenós, de textura més grossa, que forma una capa de color clar. A la tardor s'atura el desgel i no arriba aigua als llacs. En aquest moment s'hi dipositarà el material en suspensió (llim, argila, matèria orgànica) en forma d'una capa més fosca: Així doncs, cada any es diposita al llac una parella d'estrats, un inferior, clar i arenós i un altre superior, fosc i argilós. Aquesta parella d'estrats rep el nom de **varva** i correspon a un any. El gruix dels seus components varia d'un any a un altre en funció de la intensitat del desgel. Les varves conservades en diferents llacs poden relacionar-se entre elles.

La dendrocronologia o mètode de creixement dels anells dels arbres

S'utilitza per a la datació de temps recent (fins a 10.000 anys). El seu fonament és semblant a l'anterior: Els arbres mostren, en ser tallats, una sèrie d'anells concèntrics resultat del seu creixement en grossor. Cada anell presenta dues coloracions: Una interna, clara constituïda per grans cèl·lules que es formen a la primavera, i una altra més fosca constituïda per cèl·lules formades al llarg de l'estiu. A la tardor -hivern s'atura el creixement de l'arbre. La primavera següent es formarà entre el lleny i l'escorça un nou anell de característiques semblants a l'anterior. A l'igual que en les varves, cada anell representa el registre d'un any.

Les característiques de cada anell, com el tamany i la densitat, reflecteixen les condicions ambientals (especialment el clima) predominants l'any en què es va formar l'anell: primaveres llargues i benignes produiran anells més amples. Els arbres que creixen al mateix temps en la mateixa regió presenten patrons d'anells semblants.

Mètode dels coralls fòssils

Els coralls fòssils presenten unes estries de creixement diürn i uns anells de creixement anual. Un recompte permet conèixer el nombre de dies que tenia l'any a l'època en què aquest corall vivia. Sabem que ha hagut una disminució en el nombre de dies que constitueix un any, a causa de la fricció mareal, fet que va fer alentir la velocitat de rotació de la Terra. La longitud del dia augmenta 20 segons per cada milió d'anys; Per això, hem passat d'anys de 421 dies fa ara 570 m.a, als actuals de 365 dies. Si es raona a l'inversa, les marques enregistrades als coralls ens permeten d'estimar el nombre de m.a que ens separen del seu moment de formació.

Mètodes paleomagnètics

Els mètodes paleomagnètics, basats en les inversions periòdiques del camp magnètic de la Terra, registrades en les roques que contenen minerals ferromagnètics (roques del fons oceànic, tipus basalt), són una eina de gran utilitat per datar roques i han contribuït al desenvolupament de la teoria de la tectònica de plaques.

Mètodes radioactius. El rellotge radioactiu

Una de les conseqüències més importants del descobriment de la radioactivitat és que va proporcionar un mètode fiable per calcular l'edat de les roques i minerals que contenen isòtops radioactius. El procediment es diu **datació radiomètrica** i es basa amb el fet que cada isòtop radioactiu usat per a la datació (isòtop "pare") ha estat desintegrant-se a una velocitat fixa des de la formació de les roques en les que apareix, i els productes de la seva descomposició (isòtops "fills") s'han estat acumulant a una velocitat equivalent. Per exemple, quan l'urani s'incorpora a un mineral que cristal·litza a partir d'un magma, no existeix plom (l'isòtop fill estable que resulta de la desintegració de l'urani pare inestable). El "*rellotge radiomètric*" comença en aquest moment. A mesura que es va desintegrant l'urani d'aquest mineral recent format, van quedant atrapats els àtoms de plom fills i es van acumulant.

S'anomena **període de semidesintegració** el temps necessari perquè es desintegri a la meitat una substància radioactiva. El període de semidesintegració és una manera molt comú d'expressar la velocitat de desintegració radioactiva. Quan ha passat un període de semidesintegració, les quantitats d'isòtop pare i d'isòtop fill són iguals (proporció pare/fill = 1/1). Quan han passat dos períodes de semidesintegració la proporció pare/fill serà de 1/3, i així successivament. Si es coneix el període de semidesintegració d'un isòtop radioactiu i pot determinar-se la proporció pare/fill que hi ha en un moment determinat, es pot calcular l'edat de la mostra.

La clau per a la datació radiomètrica està en que a mesura que disminueix el percentatge d'àtoms del radioisòtop pare, augmenta la proporció del isòtop fill estable, coincidint exactament l'augment d'àtoms fill amb la disminució d'àtoms pare.

Els isòtops radioactius més freqüentment usats en mètodes de datació radiomètrica són:

<u>Radioisòtop pare</u>	<u>Isòtop fill estable</u>	<u>Període de semidesintegració</u>
Urani-238	Plom-206	4.500 m.a
Urani-235	Plom-207	713 m.a
Tori-232	Plom-208	14.100 m.a
Rubidi-87	Estronci-87	47.000 m.a
Potassi-40	Argó-40	1.300 m.a

Per poder datar un mineral per mètodes radioactius es necessari que es compleixen dues condicions bàsiques:

- I- L'element radioactiu ha d'estar perfectament integrat dintre de l'estructura mineral des del moment de la seva formació.
- II- L'element fill estable ha de conservar-se íntegrament dintre de l'estructura del mineral sense patir fugues.

Els mètodes radioactius només es poden aplicar doncs en roques que continguin originàriament isòtops radioactius. Les roques ígnies, contenen nombrosos minerals amb elements radioactius en la seva composició. Mitjançant aquest mètode és més difícil poder datar roques sedimentaries perquè poden contenir minerals "heretats" d'altres roques.

Mètode del carboni-14

El carboni-14 és l'isòtop radioactiu del carboni. L'isòtop estable i més comú del carboni, el que es troba formant part del CO₂ per exemple, és el carboni-12. El període de semidesintegració del carboni-14 és de 5.730 anys. Aquest mètode és utilitzat per datar esdeveniments molt recents i es basa amb el següent:

En la part alta de l'atmosfera, com a conseqüència del bombardeigs de raigs còsmics, el nitrogen atmosfèric es transforma en carboni-14. Aquest isòtop s'incorpora ràpidament al diòxid de carboni que circula per l'atmosfera i es absorbit per la matèria viva. Com a conseqüència, tots els organismes contenen una petita quantitat de carboni-14, inclòs nosaltres mateix.

Mentre un organisme està viu, la proporció entre el C14 i el C12 és manté constant (ja que la quantitat de C14 que es desintegra es compensa amb l'absorció de nous àtoms de C14). Ara bé quan l'animal o la planta moren, la quantitat de C14 disminueix gradualment conforme es va desintegrant. Comparant les proporcions de C14 i C12 és pot datar una mostra. És important destacar que quest mètode sols és útil per datar materials orgànics com fusta, ossos, turba, llavors, fulles, etc.

5. L'escala del temps geològic

L'escala del temps geològic subdivideix els 4.500 milions d'anys de la història de la terra en moltes unitats diferents i proporciona una estructura temporal significativa dintre de la qual es disposen els esdeveniments del passat geològic.

Els **eons** representen les extensions de temps més grans. L'eó que va començar fa uns 540 m.a. és el **Fanerozoic**, terme que significa "vida visible". Les roques i depòsits del fanerozoic contenen abundants fòssils.

L'eó fanerozoic es divideix en **eres**. Les tres eres que comprèn l'eó fanerozoic són l'**era Paleozoica**, l'**era Mesozoica** i l'**era Cenozoica**. Les eres impliquen canvis profunds en les formes de vida a nivell global.

Cada era està subdividida en unitats temporals conegudes com a **períodes**. L'era paleozoica té sis períodes, l'era mesozoica tres i l'era cenozoica dos. Cadascun d'aquests onze períodes es caracteritza per un canvi menys profund de les formes de vida en comparació amb el de les eres.

<u>Períodes era paleozoica</u>	<u>Períodes era mesozoica</u>	<u>Períodes era cenozoica</u>
Cambrià	Triàsic	Terciari
Ordovicià	Juràssic	Quaternari
Silurià	Cretaci	
Devonià		
Carbonífer		
Permià		

Cadascun dels onze períodes es divideix en unitats més petites anomenades **èpoques**.

L'era cenozoica té set èpoques:

<u>Èpoques període terciari</u>	<u>Èpoques període quaternari</u>
Paleocè	Plistocè
Eocè	Holocè
Oligocè	
Miocè	
Pliocè	

Les èpoques dels altres períodes s'anomenen simplement com època primerenca, mitjana i tardana. Les èpoques també inclouen subdivisions.

Veiem que el fanerozoic comença fa 540 m.a, data que comença el període cambrià. Els més de 4.000 m.a anteriors al cambrià, es divideix en tres eons, l'**hàdic**, l'**arcaic** i el **proterozoic**. Es freqüent també anomenar aquest llarg període de temps com a **precambrià**. Tot i que representa més del 88% de la història de la Terra, el precambrià no es troba dividit en tantes unitats de temps com ho està el fanerozoic. La raó és que no es coneix amb tant detall la història precàmbrica. La primera evidència fòssil abundant data de començaments del cambrià. Abans, predominaven formes de vida com algues, bacteris, fongs i cucs. Tots ells organismes sense parts dures, condició important que afavoreix la conservació. Només hi ha un registre fòssil precambrià escàs. Per un altra banda, les roques del precambrià són molt antigues i han estat subjectes a molts canvis. Gran part del registre litològic del precambrià es compon de roques molt deformades que dificulta molt la interpretació dels ambients del passat.

6. Explicacions històriques al problema dels canvis

La Terra és un cos dinàmic, amb moltes parts que interactuen entre si i una història llarga i complexa. En el transcurs de la seva existència, la Terra ha anat canviant. De vegades els canvis són ràpids i violents, com per exemple quan es produeix una esllavissada o una erupció volcànica. La majoria de vegades però, els canvis es produeixen tan lentament que no s'aprecien durant tota una vida humana.

El nostre planeta ha estat objecte d'estudis durant molts segles. Els grecs, ja fa més de 2.300 anys escrivien sobre els fòssils, els terratrèmols i els volcans. Sens dubte el filòsof grec més influent fou Aristòtil. Les explicacions d'Aristòtil sobre el món no es basaven en observacions ni experiments, eren opinions arbitràries (les roques es formaven per influència de les estrelles, els terratrèmols es produïen perquè l'aire entrava en força a la terra, s'escalfava i escapava de forma violenta, etc) Tot i així es van acceptar durant molts segles.

A mitjans del segle XVI, James Ussher va construir una cronologia de la història humana i de la Terra, en la que determinava que la Terra tenia tan sols uns pocs de milers d'anys, ja que havia estat creada l'any 4004 a.C. L'acceptació va ser generalitzada.

Durant els segles XVII i XVIII la **teoria del catastrofisme** es va imposar amb força en el pensament sobre la dinàmica de la terra. Els partidaris del catastrofisme creien que els paisatges de la Terra havien estat formats inicialment per grans catàstrofes. Per exemple la formació de les muntanyes era el resultat d'un desastre sobtat produït per causes desconegudes que en aquell

moment ja no actuaven. Aquesta manera de pensar era un intent d'encaixar la velocitat dels processos terrestres amb les idees a les hores regnants sobre la edat de la terra. Alguns naturalistes, s'aferraven al catastrofisme per explicar de forma coherent les grans extincions periòdiques de la fauna que observaven com a discontinuïtats en el registre fòssil.

A finals del segle XVII, James Hutton, publicà el llibre *La teoria de la Terra*. En aquest llibre estableix un principi que es clau en la geologia actual: l'**uniformisme**. Segons aquest principi, les lleis físiques, químiques i biològiques que actuen avui, ho han fet també en el passat geològic. Això significa que les forces i processos que donen forma al nostre planeta actuaven també en el passat d'una manera similar. El present és la clau del passat.

Abans de Hutton ningú havia demostrat que els processos geològics es produïen al llarg de períodes de temps extremadament llargs. Tot i així, Hutton va defensar la idea de que forces que semblen petites produeixen, al llarg del temps, efectes exactament igual de grans que els derivats d'esdeveniments catastròfics sobtats.

L'acceptació de l'uniformisme va significar l'acceptació d'una història molt llarga per a la Terra.