

Obstacles en la construcció del concepte de temps geològic: algunes orientacions per al seu tractament

Emilio Pedrinaci i Rafael Álvarez*

Introducció

S'ha discutit amb certa freqüència si la geologia és o no és una ciència històrica. Malgrat que no falten arguments als defensors de cada una de les posicions, sembla que no es pot posar en dubte que la geologia és, si més no, una ciència amb un gran component històric. Si això és així, ha de tenir entre els seus conceptes bàsics el de temps. Sorpren, per tant, l'escassa rellevància que s'atorga al desenvolupament de les nocions temporals en la majoria de textos i materials didàctics corresponents a l'educació secundària. Encara més perquè probablement es tracta d'un dels continguts d'aquests nivells formatius que ofereix més dificultats d'aprenentatge (Sequeiros i Pedrinaci, 1992). Així doncs, la importància que, des de la lògica interna de la geologia, té el tema objecte d'aquest treball, juntament amb la dificultat de conceptualització que presenta, justifiquen el seu interès didàctic.

L'adquisició de les nocions temporals ha merescut nombrosos treballs, entre els quals destaquen els realitzats durant més de vint anys

* Emilio Pedrinaci ha estat coordinador a Andalusia de l'experimentació de la Reforma Educativa a les Ciències Experimentals. Durant 4 anys ha desenvolupat programes de formació del professorat a l'Institut Andalus de Formació del Professorat. En aquests moments és professor de l'IES de Gines (Sevilla). És membre de l'INHIGEO (Comissió Internacional per a la Història de les Ciències Geològiques). Forma part del Consell de Direcció de la revista *Alambique*, i també del Consell Assessor de la revista *Enseñanza de las Ciencias*. Pertany a l'"Equip Terra", que investiga en didàctica de les ciències de la terra.

Adreça professional: Emilio Pedrinaci. IES de Gines. c/ Enrique Granados, s/n. Gines (Sevilla).

* Rafael Álvarez ha coordinat durant 4 anys la formació permanent del professorat a Còrdova. En aquests moments és professor de l'IB Averroes (Còrdova). Pertany a l'"Equip Terra", que investiga en didàctica de les ciències de la terra.

Adreça professional: Rafael Álvarez. IB Averroes. c/ Motril, s/n. 14013 Còrdova.

per Piaget (1946) i l'Escola de Ginebra. Encara que en menor mesura, també hi ha abundants investigacions sobre com evoluciona la comprensió que els escolars tenen del temps històric i com abordar-ne l'ensenyament (Asensio, Carretero i Pozo, 1989).

Desafortunadament, pel que fa a la comprensió del temps geològic i a les propostes per al seu ensenyament i aprenentatge, existeixen molts menys treballs (Ault, 1982; Sequeiros, 1991). Es tracta, a part d'això, d'aproximacions parcials amb enfocaments generalment descriptius que no entren a analitzar el complex entramat de nocions implicades en la construcció del concepte de temps geològic i que, per tant, deixen sense abordar el nucli central del problema.

Comptem, tanmateix, amb treballs en els quals, des d'una perspectiva històrica i/o epistemològica, s'analitza el procés de construcció del concepte de temps geològic. Entre ells cal destacar el de Toulmin i Goodfield (1965), i d'altres com Rudwick (1976), Hallam (1983), Albritton (1984), Gohau (1987), Gould (1987), Pedrinaci (1993) o Ellenberger (1994). Si, tal com assenyalen Saltiel i Viennot (1985), l'epistemologia i la història de la ciència poden aportar informacions rellevants sobre el problema de la construcció del coneixement, aquests treballs han d'oferir un suport que ajudi a formular orientacions fonamentades per al tractament escolar del temps geològic. Analitzar el llarg procés pel qual els homes van adquirir el sentit que el planeta Terra tenia una història i que aquesta història era immensament extensa, és un pas, al nostre parer, obligat per comprendre les dificultats de conceptualització que representa per als alumnes, sense la valoració del qual és improbable que es doni un ensenyament adequat.

Efectivament, la història de la ciència ens alerta sobre la complexitat de determinats coneixements, sobre la dificultat de comprensió que poden presentar. Constitueix, com assenjala Bachelard (1938), un instrument eficaç per determinar els obstacles epistemològics, i la detecció d'aquests obstacles és un dels aspectes clau per a la transformació de l'ensenyament de les ciències.

L'anàlisi de l'evolució del coneixement geològic, a més d'ajudar-nos a comprendre les dificultats que planteja la introducció d'alguns continguts, pot aportar orientacions rellevants sobre la manera d'abordar aquestes dificultats: suggerint-nos l'ús de determinats "conceptes pont", la necessitat d'introduir canvis metodològics o la relació existent entre l'adquisició del coneixement en qüestió i un canvi actitudinal. La història de la ciència pot ser, en conseqüència, una bona eina per conèixer el nucli central d'un cert camp del saber i valorar la potencialitat organitzadora i reestructuradora que atresoren determinats coneixements.

D'altra banda, des d'una perspectiva constructivista, qualsevol proposta d'ensenyament que es formulï haurà de considerar els coneixements que l'alumne ja té (tant si des del punt de vista de la ciència actual són correctes com si són erronis), ja que seran els instruments que utilitzarà per a la lectura i la interpretació de les informacions i les activitats que se li presentin. Així doncs, juntament amb les fonts històrica i epistemològica, utilitzarem les concepcions dels alumnes com a tercer referent que ens ajudarà a formular algunes orientacions per a la construcció del concepte de temps geològic, que anirem plan-tejant al llarg d'aquest treball.

Què entenem per temps geològic?

Només cal fer un repàs de la literatura científica per comprovar que no tots els autors atorguen els mateixos significats al concepte que ens ocupa. Així, Eicher (1973), partint de la idea que el temps només es pot percebre pels esdeveniments que tenen lloc dins d'ell, assenyala que el temps geològic abraça "tot el que ha passat en la història del nostre planeta" i identifica en la pràctica, si bé no de manera explícita, aquest concepte amb la suma de processos ocorreguts en la Terra.

Albritton (*op. cit.*) es refereix a aquests significats no sempre coincidents, indicant que per a uns correspon al període comprès entre la constitució de la Terra com a planeta i l'aparició de les primeres civilitzacions, encara que per a altres arribaria fins al període en què es tenen referències de la presència de l'home. Per la seva banda, ell prefereix al·ludir amb aquest terme al temps comprès des de la constitució de la Terra com a planeta fins als nostres dies, deixant obert cap al futur aquest període.

Per a Anguita (1988) el temps geològic no és més que una porció (els últims 4.550 milions d'anys) del temps físic; per tant, no té sentit parlar-ne com si es tractés d'un concepte qualitativament diferent d'aquest. Probablement darrere d'aquesta posició d'Anguita hi ha una crítica a la nostra freqüent interpretació antropocèntrica que ens porta a considerar com a categoria diferent allò que només és una particularitat d'un domini més global.

En efecte, des d'una perspectiva estrictament cronològica, el temps geològic només és una part del temps físic. Tanmateix, creiem que hi ha altres dimensions integradores d'aquest concepte (a més de la cro-

nologia) que són bàsiques per al seu ensenyament i aprenentatge; dimensions que s'han anat construint al llarg de la història de la geologia, omplint-lo de significats, sense la consideració dels quals aquest concepte seria poc més que una referència matemàtica. És més, existeixen, com veurem, aspectes bàsics que s'escapen de la simple cronologia absoluta i de la durada, sense la construcció de les quals no té sentit el tractament cronològic.

Intentem observar-ho des d'una perspectiva docent: ¿consideraríem que una estudiant de secundària que conegués perfectament l'edat de la Terra, els noms i les durades dels períodes geològics i alguns dels principals processos ocorreguts, té construït el concepte de temps geològic? La resposta és inevitablement negativa. Podem estar d'acord que sense tenir uns referents sobre l'edat del nostre planeta i dels principals períodes geològics no sembla correcte dir que un alumne d'aquestes edats comprèn suficientment el significat del temps geològic, però només amb això tampoc.

Així, per exemple, aquest alumne pot estar convençut que les roques que veiem són tan antigues com la Terra o que no han experimentat canvis importants al llarg de la història. Amb una perspectiva estàtica com aquesta difícilment podríem considerar que té les nocions temporals bàsiques. Igualment podria tenir una visió dinàmica dels processos geològics però pensar que una serralada es forma en dos o tres mil anys o que són suficients uns quants terratrèmols seguits per separar en dos un continent, etc.

Sens dubte la cronologia absoluta i la noció de la durada dels processos geològics formen part del concepte de temps geològic però no l'esgoten. Vegem algunes preguntes que a vegades formulem als nostres estudiants: Quan creus que es va formar la Terra? Totes les roques del planeta tenen la mateixa antiguitat? Podem ordenar una sèrie d'estrats segons la seva seqüència de formació? Quina informació ens dona un fòssil de la roca en què es troba? ¿És possible que els Pirineus s'arribin a erosionar completament i donin lloc a una planúria baixa?

Són qüestions amb característiques diverses. En totes hi ha implicat el concepte de temps geològic; tanmateix la resposta a cada una d'elles activa conceptes, o subconceptes, diferents que van des del coneixement de dates i la durada dels processos, fins a les nocions de canvi o d'agrupament sincrònic.

Analitzant el temps històric, Jurd (1978) el considera integrat per tres conceptes: el de seqüenciació, el d'agrupament sincrònic i el de continuïtat, que comportaria l'establiment de relacions causals. Asensio i altres (1989) integren en el concepte de temps històric aspectes

com la cronologia, la durada, el coneixement de dates, la representació i les nocions temporals lligades al canvi social i a la causalitat.

Nosaltres considerem el temps geològic un concepte complex integrat per un conjunt de nocions bàsiques, relacionades entre si i que tenen el temps geològic com a concepte inclusor: canvi geològic, fàcies, successió causal i durada i cronologia (Pedrinaci, 1993). El coneixement de cadascuna d'elles per si mateixa no procura una adequada perspectiva geològica temporal. És el desenvolupament de totes aquestes nocions temporals i de les seves interaccions el que permet la construcció del concepte de temps geològic. Podríem dir que "hi ha molts temps en el temps geològic" i que procedir a la seva diferenciació epistemològica resulta imprescindible per avançar en la formulació d'una proposta per al seu ensenyament i aprenentatge.

Una perspectiva dinàmica: temps geològic i canvi

Des d'una perspectiva tant històrica com epistemològica, probablement el concepte de canvi és el primer que s'ha relacionat amb el de temps (en sentit genèric), i la seva connexió ha estat tan estreta que no sempre s'ha vist clar on acabava l'un i on començava l'altre. Piaget assenyala que per als nens "el temps és discontinu, així com local, ja que cada temps es deté amb el moviment. Per exemple, l'edat continua sent la mateixa per als adults que ja no creixen; una pedra té edat si creix, però ja no té edat d'ençà que deixa de créixer, etc."

Les estretes relacions existents entre els conceptes de temps i canvi ja van ser expressades pels filòsofs clàssics. Així, Aristòtil, en *La física*, formula la seva concepció del temps, el qual considera inseparable del moviment o del canvi: només percebem que el temps ha transcorregut quan observem que s'ha produït un canvi. En ser conscients de l'"abans" i el "després" del canvi som conscients del temps, que pot ser considerat un procés de numeració associat a la nostra percepció de l'abans i del després del canvi i del moviment. També Plató relaciona temps i canvi, assenyalant que si no es produïssin canvis al cel (dies, nits, estacions) no existiria el temps. Com veiem, es tracta d'unes idees molt similars a les de Eicher, comentades anteriorment. Alguns estudis realitzats sobre les concepcions alternatives dels alumnes de l'ensenyament secundari (Pedrinaci, 1987; Granda, 1988) mostren que són relativament freqüents interpretacions estàtiques sobre la part sòlida del nostre planeta o altres que introdueixen

escassos elements dinàmics. Per a Driver i altres (1985) una de les característiques del pensament dels alumnes és el fet d'estar dirigit per la percepció. En la predominança del que és perceptiu residiria una de les causes de les seves concepcions espontànies. Efectivament, l'extraordinària lentitud amb què ocorren la major part dels processos geològics fa que les evidències que els alumnes tenen sobre el relleu siguin que roman, en el que és fonamental, inalterable.

L'anàlisi de la història de la geologia permet comprovar que idees similars a les dels nostres alumnes han estat defensades per filòsofs i homes de ciència en el passat, encara que amb això no volem indicar, com a vegades s'ha assenyalat, que l'ontogènesi recapituli la filogènesi.

El "fixisme" ha suposat un gran obstacle epistemològic per a la construcció de les teories sobre l'origen de les roques, sobre l'edat de la Terra o sobre l'origen de les serralades (Pedrinaci, 1992b). Aquest obstacle ha presentat diversos graus. Així, durant els segles xvi, xvii i, d'acord amb Gohau (1987), encara en el segle XVIII, no han estat excepcionals els casos en els quals s'ha negat l'existència de canvis rellevants en la superfície terrestre. Així, per exemple, León de Pinelo, en la seva obra *El Paraíso en el Nuevo Mundo* (1656) defensa l'estabilitat de la Terra, recolzant-se fins i tot en l'observació de la naturalesa

"¿... no la vemos [l'aigua] con braveza increíble ayudada de furiosos vientos batir arrecifes, reventar escollos, desde hace tantos siglos, sin poderlos vencer ni aún minorar?".

Gould (*op. cit.*) ressenya una carta que Isaac Newton escriu al seu col·lega Burnet el 1681, en la qual l'indica:

"l'actual topografia de la Terra es va modelar durant la seva formació inicial a partir del caos primitiu, i per tant no fou esculpida pel diluvi de Noè."

Newton fa referència aquí a la teoria que Burnet acabava de publicar en el seu *Telluris theoria sacra*, en la qual defensava que la superfície terrestre original era perfectament regular, d'acord amb una distribució en capes concèntriques de la Terra i que el diluvi hauria estat el causant de les irregularitats del relleu que observem avui. Com veiem, la crítica que Newton fa de les tesis de Burnet està formulada des d'una perspectiva estàtica.

Per al tema que ens ocupa, la conclusió que hem de treure tant de l'estudi de les idees dels alumnes com de l'anàlisi de la història de la geologia seria el que constitueix la nostra primera orientació per

a la construcció del concepte de temps geològic:

S'han de programar estratègies d'intervenció que ajudin a mobilitzar les idees dels alumnes des de posicions estàtiques cap a perspectives dinàmiques.

Toulmin (*op. cit.*) diu que "reconèixer la mutabilitat de la Terra, dels éssers vius que hi han habitat i fins dels mateixos cels, és una cosa que els homes només fan sota la pressió d'arguments aclaparadors." Aquesta afirmació la fonamenta en una anàlisi rigorosa de la història del coneixement i ens ha de conduir a no subestimar les dificultats que poden tenir els nostres alumnes per abandonar posicions fixistes.

La importància que té una visió dinàmica no solament per a la construcció del concepte de temps geològic, sinó per a la comprensió de tots els processos que tenen lloc en la naturalesa, justifica que se li dediqui una atenció especial. Si el nostre objectiu és dinamitzar les idees dels alumnes, les activitats que proposem, entre altres qüestions, han d'incloure una anàlisi en la qual s'estableixi de manera explícita la posició de partida (abans del canvi), la situació resultant, què s'ha modificat i què roman, quin és l'agent causant i en què consisteix la seva intervenció, i quines petjades deixa el canvi produït.

L'abandonament d'unes interpretacions estàtiques o fixistes per assumir altres dinàmiques no sembla que tingui lloc d'una sola vegada i que afecti la totalitat dels processos. Es tracta, més aviat, d'una sèrie de conquestes parcials que han d'anar afectant camps progressivament més amplis. No tots els fenòmens geològics exigeixen, per a la seva percepció i conceptualització, les mateixes operacions intel·lectuals, ni presentaran, consegüentment, els mateixos obstacles per a la seva construcció. Així, no és estrany que els processos geològics siguin més espectaculars i d'efectes quasi instantanis, com els sismes o les erupcions volcàniques, els que històricament s'han citat més. Els processos erosius també s'han descrit freqüentment, si bé no sempre han estat suficientment valorats.

Cal seqüenciar al llarg de tota l'educació secundària la construcció de models progressivament més dinàmics.

Hem fet referència a l'existència de posicions fixistes al llarg de la història de la geologia. Podem trobar-ne exemples menys extrems, però no menys importants, fins i tot en la segona meitat d'aquest segle. Efectivament, encara que la mobilitat dels continents va ser exposada (i, almenys, parcialment fonamentada) per Wegener a principi de segle, no serà admesa de manera general per la comunitat científica fins al final dels seixanta i només, parafrasejant Toulmin, "sota la pressió d'arguments aclaparadors".

En una Terra estàtica, sense processos de canvi geològic, no seria possible la separació per edats, i no tindria sentit parlar de temps geològic. Des d'aquesta perspectiva el primer graó per a la construcció d'aquest concepte seria el pas d'una concepció estàtica a una altra, almenys, parcialment dinàmica.

Al costat del tractament dels processos de canvi geològic cal anar oferint referències temporals que ajudin a valorar en la seva dimensió justa el fenomen que estem analitzant i el ritme en el qual té lloc.

En el curs d'una visita a una zona càrstica de la província de Sevilla vam preguntar a un grup d'escolars:

- Què són aquests solcs que es veuen a la calcària?

Pedro (15 anys), que "tenia la lliçó ben apresada" ens va dir:

- Són solcs de dissolució que ha fet l'aigua de la pluja.

Ens vam adreçar de nou a tot el grup:

- Bé, i ¿com podríem comprovar que la interpretació que fa en Pedro és correcta?

Pedro va tornar a prendre la paraula:

- Bé... podem agafar un tros de roca, la portem a l'Institut, la posem al pati i esperem que plougui. Després veurem si s'hi han format solcs.

- Després d'una pluja s'hauran format solcs?

- Bé, potser haurem d'esperar que plougui diverses vegades.

Com veiem, aquest alumne ofería una interpretació dinàmica del procés. Sabia què canviava i què romania. Coneixia l'agent causant del canvi i identificava l'empremta que deixava a la roca, però s'havia format una idea desajustada del temps necessari perquè aquest agent produís un efecte perceptible. A més de tot això, li faltava una referència temporal. Això ens dóna peu a formular una orientació nova.

Partint d'estudis qualitius dels canvis geològics s'han d'anar oferint referències temporals que ajudin a valorar la durada dels processos i la importància dels seus efectes quan es consideren períodes de temps llargs.

Agrupament sincrònic: temps geològic i concepte de fàcies

Per poder reconstruir el passat de la Terra no solament és necessari que hi hagi hagut canvis, sinó que resulta imprescindible una segona condició: que la dinàmica terrestre deixi algun tipus d'"empremtes", restes o evidències d'aquests canvis, és a dir, n'ha de quedar constància "documental". Dit d'una altra manera, preguntar-se quina és l'edat de la Terra només té sentit, des d'una perspectiva científica, quan és possible investigar-la, és a dir, quan hi ha restes, arxius (Gohau, 1983) o elements que ens permetin fer inferències fonamentades.

Avui, això ens pot semblar una obvietat; tanmateix, en aquesta suposada obvietat s'ha trobat, històricament, el principal obstacle per conèixer el passat de la Terra i probablement bona part de les dificultats dels alumnes tenen les seves arrels aquí.

Toulmin i Goodfield (*op. cit.*) destaquen com un dels primers exemples de crítica històrica en el pensament europeu el memoràndum del cardenal Nicolas de Cusa en el Concili de Basilea (1430). Durant segles l'Església havia reclamat la seva autoritat política sobre l'Imperi Romà d'Occident. La base legal d'aquesta demanda era "La donació de Constantí", document, suposadament de Constantí el Gran (segle iv), pel qual dividia l'Imperi Romà en dos, atorgant les províncies d'Occident al Bisbe de Roma i als seus successors. Doncs bé, per a Nicolas de Cusa "La donació" era un frau. No sabia qui l'havia escrit, però un lleu coneixement de la Roma del segle iv era suficient per comprendre que no podia ser autèntica. Els termes en què estava escrita, l'estil i les interpretacions que es feien de la societat no es corresponien amb aquest moment històric.

Per a Toulmin, l'argumentació de Nicolas de Cusa

"utilitza un axioma essencial de la moderna crítica històrica: el de la unitat orgànica d'una època, per la qual les restes genuïnes de temps anteriors poden ser separades de les fraudulentos i les teories possibles de les inconcebibles".

Aquesta reflexió, ¿té alguna lectura geològica? L'argumentació de Cusa porta implícita la perspectiva d'una societat en canvi constant. Si la societat canvia, cada moment històric tindrà els seus senyals d'identitat que el diferenciaran d'altres. O, dit en termes geològics, si la Terra canvia constantment, i només en aquest supòsit, cada període

geològic és susceptible de ser caracteritzat, diferenciant-lo dels anteriors i dels posteriors.

En la pràctica docent, amb freqüència, donem per evidents certs conceptes que a vegades estan molt lluny de ser-ho. És el cas de la noció que les roques que veiem actualment tenen un origen més o menys pròxim, que totes s'han anat formant al llarg de la història de la Terra.

Si donem un cop d'ull als llibres de text d'educació secundària i fins i tot d'escola elemental, les roques són classificades a priori en sedimentàries, ignies i metamòrfiques. Podríem dir que, en tractar-se d'una classificació genètica, precisament es vol subratllar la importància de l'origen. Tanmateix, sovint s'obvia l'aspecte fonamental: mostrar que totes les roques tenen un origen. Només després d'haver mostrat que les roques tenen un origen adquireix sentit establir categories en funció d'aquest origen.

Des d'aquesta perspectiva es poden entendre les concepcions que presenten els alumnes d'entre 12 i 15 anys sobre l'origen de les roques (Pedrinaci, 1992a), que podem sintetitzar d'acord amb la tipologia següent:

1. Els que tenen una visió de les roques com a materials molt estables, no sotmesos, per tant, a canvis rellevants.
2. Els que, entre els canvis, només consideren els processos destructius de les roques (erosió).
3. Els que relacionen la sedimentació amb l'erosió, però sense associar-la al procés de formació d'algunes roques.
4. Els que consideren la possibilitat de formació de noves roques, encara que la limiten a la superfície terrestre.
5. Els que inclouen, a més, processos de formació de roques endògenes.

Els alumnes del primer grup tenen una perspectiva clarament estàtica, des de la qual les roques i les muntanyes que observem en el camp no experimenten canvis importants, si bé no solen presentar grans dificultats per assumir la possibilitat que les roques i el relleu es desgastin. Per tant, els límits entre els grups 1 i 2 són poc definits. Però en l'apartat anterior ja ens hem referit a aquest punt. Ara ens interessa remarcar que uns i altres, quan se'ls plantegen problemes nous o que no identifiquen com a estrictament acadèmics, elaboren les seves respostes considerant, implícitament, que les roques que existeixen actualment són tan antigues com la Terra.

Les concepcions dels estudiants inclosos al tercer grup es diferencien dels dos anteriors en el fet que donen entrada a algun pro-

cés constructiu com la sedimentació. Es tracta d'un pas important ja que suposa la introducció d'un element que ajuda a trencar la interpretació unidireccional dels fenòmens geològics. Però aquests alumnes continuen sense modificar en l'essencial la seva concepció sobre l'origen de les roques.

Aquesta modificació es produeix en el pas als alumnes del quart grup, que necessitaran construir la noció de diagènesi. Aquest és un concepte bàsic les dificultats d'aprenentatge del qual convé no subestimar. La idea que uns materials solts poden adquirir, seguint processos naturals, la consistència i la solidesa d'una roca no ha resultat fàcil en la història de la geologia, i això, si més no, ens ha d'alertar davant de possibles dificultats per part dels nostres alumnes.

Les consideracions anteriors ens conviden a remarcar que:

L'origen de les roques s'ha de plantejar com un problema abans d'abordar la seva diversitat genètica. El primer objectiu seria mostrar que totes les roques tenen un origen.

Tal com hem indicat, la noció que totes les roques tenen un origen més o menys pròxim, històricament ha hagut de superar obstacles epistemològics importants. Així, fins al segle XVII no solament no hi ha teories sobre l'origen de les roques, sinó que ni tan sols s'havia plantejat formalment la qüestió. El problema era explicar l'existència d'estructures més o menys curioses (fòssils, estalactites o geodes), de les quals sí que es feien conjectures sobre el seu origen però no sobre les formacions rocoses. Senzillament no hi havia res per explicar, el problema no existia i, per tant, no es buscaven respostes.

Un estudi contextualitzat dels fòssils pot ser de tanta ajuda en les nostres aules com ho fou històricament. Aquí no podem analitzar detingudament el llarg i interessant debat mantingut durant molts segles sobre l'origen dels fòssils i el de les roques que els contenen. A Ellenberger (1988) podem veure una àmplia ressenya de la seva obra.

Steno dona resposta a les qüestions relacionades amb la forma dels fòssils, la naturalesa de la matèria que els constitueix i la seva localització en el si dels estrats. Aquestes respostes coherents són possibles en la mesura que disposa d'una teoria sobre la formació de les roques que avui coneixem com a sedimentàries, la qual cosa li permet justificar-hi la presència de fòssils que s'hi haurien dipositat al mateix temps que els sediments. O, dit utilitzant la terminologia cronològica: Steno va intuir, a diferència dels seus contemporanis, que els processos de fossilització i de formació de la roca eren sincrònics.

Entre les idees mantingudes històricament sobre els fòssils i les concepcions dels alumnes hi ha diferències clares; per exemple, els estudiants de secundària no dubten a relacionar d'una manera o altra els fòssils amb éssers vius que van existir en altres temps. Però també hi ha elements comuns: sovint no consideren sincrònics els processos de fossilització i de formació de les roques.

En el decurs d'una entrevista a una alumna de 14 anys li vam ensenyar una roca calcària que tenia el fòssil d'una Ostrea en la seva superfície. El desenvolupament d'aquesta part de l'entrevista fou com segueix:

- Què és això, Ana?
- Un fòssil.
- Per què creus que és un fòssil?
- Perquè és de pedra.
- Tot el que és de pedra és fòssil?
- Bé, si és un animal mort, sí.
- On es deu haver format aquest fòssil?
- Es deu haver format al mar, perquè és de mar.
- Com es deu haver format?
- No ho sé.
- Fes un esforç per imaginar-te el moment en què aquest animal era viu i pensa què devia passar després.
- No ho sé, pot ser que la petxina visqués en el mar sobre aquesta pedra (assenyala la roca calcària en la qual hi ha el fòssil).
- I després, què va passar?
- No ho sé, doncs que a poc a poc es va anar fent de pedra.
- Com es va poder fer de pedra?
- Quan es va morir es devia quedar enganxada a la pedra i amb el temps...
- Què va passar, amb el temps?
- Que es va anar fent de pedra.
- Però, com s'ha pogut passar de la petxina a la pedra?
- És que ha passat molt de temps.

Més endavant comentarem algun altre aspecte interessant de l'entrevista. Ara volem remarcar que per a l'alumna, com per a altres estudiants d'aquestes edats, la roca és anterior al fòssil. No es tracta, doncs, d'elements sincrònics. Per això consideren sovint que els fòssils han d'estar sobre les roques, en la seva superfície externa, més que no pas en el seu si.

Cal fer un estudi contextualitzat dels fòssils relacionant la seva presència amb el moment i el lloc en què es va formar la roca que el conté.

Hem remarcat que el primer objectiu que ens hauríem de plantejar quan abordem l'estudi de les roques seria mostrar que totes elles (encara que inicialment convé centrar-se en les sedimentàries) tenen un origen. El segon seria comprovar que en les roques hi ha elements que ens ajuden a descobrir aquest origen.

Considerem que un dels conceptes geològics més importants i amb una major potencialitat organitzadora (Sequeiros i Pedrinaci, 1992) és que "les roques poden ser considerades arxius històrics que contenen informació sobre les condicions en què es van originar i les alteracions posteriors que han experimentat". La construcció d'aquest concepte suposa per a l'alumne, com va passar històricament, no solament una manera diferent de veure les roques, sinó que atorga una dimensió nova a l'aprenentatge de la geologia, i passa a convertir-se en l'aprenentatge d'aquells instruments metodològics i conceptuals que ens ajuden a desxifrar les roques, a conèixer-ne el passat i, per tant, el passat de la Terra.

Encara que avui és usual referir-se a fàcies metamòrfiques o tectòniques, històricament la noció de fàcies s'ha desenvolupat en relació amb la reconstrucció de les conques sedimentàries. Pocs coneixements geològics resulten més sorprenents i suggerents per als alumnes d'aquestes edats que el descobriment que les característiques d'una roca estan condicionades pel moment i el lloc en què es va originar i que, per tant, el seu estudi ens permet aproximar-nos a la reconstrucció de l'ambient en què es va formar.

Seqüenciació: temps geològic i successió causal

Perquè es pugui reconstruir el passat geològic, no n'hi ha prou que hi hagi canvis i que aquests canvis deixin empremtes. És necessari que hi hagi una lògica interna que permeti seqüenciar els processos, establint un ordre en la successió temporal.

Convé destacar que en el concepte de roca com a "arxiu històric" que hem ressenyat, a més de fer referència a la informació que aporta sobre l'ambient en què es va formar, al·ludeix a les alteracions posteriors experimentades per la roca. Això ens convida a plantejar que:

A més del tractament dels elements sincrònics cal abordar el dels elements diacrònics.

En aquest apartat també hem de citar Steno, qui descriu la formació dels estrats com un procés històric en què l'ordre de superposició ens indica la seqüència de formació. És a dir, un cop assumit que els estrats són antics sediments acumulats a poc a poc, Steno formula una hipòtesi més: si les roques no daten del moment en què es va originar la Terra, sinó que s'han anat formant a poc a poc, unes tindran més antiguitat que altres i haurà de ser possible seqüenciar-les o ordenar-les d'acord amb criteris espaciotemporals: els criteris de superposició, de continuïtat i d'horitzontalitat dels estrats. Steno estableix així algunes de les bases per a la determinació del que se sol denominar cronologia relativa.

Però, a més, la seva interpretació històrica dels estrats no la redueix al moment en què es van formar, sinó que l'estén a les deformacions posteriors que van experimentar i que han deixat empremtes en aquests estrats. Això queda patent en la quarta part del *Prodomus*: "Les mutacions ocorregudes a la Toscana". Aquí realitza el que avui anomenaríem una història geològica d'aquesta zona d'Etrúria.

Si volem conèixer els obstacles que hi pot haver en la construcció del concepte de temps geològic, no ens podem deixar de preguntar per què principis com el de superposició dels estrats, que avui ens semblen obvis, no són exposats fins al segle XVII i, el que encara resulta més curiós, per què un cop Steno els ha formulat triguen encara un segle més a ser assumits. Tradicionalment, els historiadors de la geologia ho han explicat assenyalant que l'obra de Steno va romandre oblidada o desconeguda fins al segle XIX. Per a Ellenberger (*op. cit.*) aquesta afirmació no és correcta; es tracta d'una obra molt citada des de finals del XVII i al llarg de tot el XVIII, però "tan poderosament innovadora que no podia ser compresa i adoptada immediatament per la comunitat intel·lectual."

En efecte, resultava difícil donar entrada a formulacions com les de Steno en uns moments en què les visions dominants sobre la Terra oscil·laven entre perspectives estàtiques i d'altres condicionades per una causalitat lineal i simple en què, si exceptuem els volcans i els terratrèmols, els processos geodinàmics quedaven reduïts a l'erosió.

No és fàcil per als alumnes de nivells no universitaris comprendre que en una mateixa roca hi ha registres dels moments més diversos de la seva història. En aquestes edats, pot ser suficient diferenciar, d'una banda, els processos relacionats amb la formació de les roques i, de l'altra, els relacionats amb la tectònica (presència de fractures o canvis en la disposició) i, finalment, els processos de meteorització i erosius.

<p>Cal exercitar els estudiants en la utilització dels principis bàsics de la cronologia relativa.</p>

Malgrat les matisacions i les limitacions que actualment la geologia introdueix en aquests principis, l'enorme potencialitat que històricament han mostrat (sobre aquests principis s'ha construït tota una ciència, l'estratigrafia), juntament amb la funcionalitat que tenen per al tractament de situacions problemàtiques susceptibles de ser abordades per alumnes d'educació secundària, n'aconsellen l'ús d'acord amb l'enfocament i la formulació que en fa la geologia clàssica. Es tracta, a part d'això, d'uns principis que, treballats adequadament, tenen poca complexitat terminològica o conceptual i en els quals, generalment, resulta assequible establir les relacions causa-efecte, cosa que ens permet introduir criteris de causalitat en la seqüenciació que s'estableixi.

Però tornem a l'entrevista que fèiem a l'alumna. L'Ana ens deia, referint-se a l'Ostrea, que "amb el temps es va fer pedra" i com a explicació d'aquest procés no vam poder obtenir d'ella sinó que "ha passat molt de temps". Hi ha dues interpretacions possibles dels comentaris d'aquesta alumna: una, que el procés de fossilització ha requerit molt temps o s'ha realitzat al llarg d'un lapse important; una altra, que, coincidint amb Astolfi (1991), el temps ha estat l'agent d'aquest procés de fossilització.

En els nostres estudis amb alumnes de 12 a 16 anys hem pogut constatar que força sovint fan la segona interpretació. És a dir, que no són excepcionals els estudiants d'aquestes edats que consideren el temps un element causal dels canvis geològics més diversos. El temps adquiriria, així, un poder "màgic" capaç d'explicar per si sol processos que d'una altra manera els resulten inexplicables.

Temps geològic, durada i cronologia

Els aspectes cronològics són els significats que presenten una relació més evident amb el concepte de temps geològic. En efecte, si hi ha res que hagi estat destacat per tothom que s'ha acostat a l'estudi de les dificultats de comprensió del concepte de temps geològic és la "barrera imaginativa" que sembla existir per representar-se mentalment xifres de tan gran magnitud com les utilitzades quan s'estudia la

història de la Terra i dels processos que hi han tingut lloc. Piaget (*op. cit.*) assenyala que una de les característiques de les idees que els nens tenen sobre el temps és la seva percepció discontinua. En la mateixa línia, Ritger i Cummins (1991) apunten que encara que els alumnes han sentit parlar de determinats passatges del passat terrestre (per exemple, el juràssic i els seus dinosaures), la majoria no estableix connexions clares ni sobretot dotades de continuïtat, entre aquest passat i el present.

Hi ha un ampli consens a l'hora de destacar l'interès que té la realització d'activitats en què els alumnes representen espacialment escales temporals. Per això proposem que:

Cal realitzar la representació espacial de períodes de temps llargs, ja que això ajuda els alumnes a construir una representació mental d'aquest temps

Des d'una perspectiva científica, interrogar-se sobre l'edat de la Terra només té sentit quan és possible investigar-la, quan hi ha restes, arxius o criteris que ens permetin fer inferències fonamentades. En aquest punt, la història de la geologia també pot introduir elements clarificadors.

Així, Aristòtil participava de la perspectiva d'un món etern i cíclic, sense un origen temporal en el passat ni una perspectiva de fi en el futur; per tant, pensava que no tenia gaire sentit preguntar-se sobre l'edat de la Terra.

Les idees que exposa Hutton en la seva *Theory of the Earth* (1788) tenen alguns punts en comú amb les d'Aristòtil. Considerava que no era possible calcular l'edat de la Terra, ja que cada cicle geològic esborrava les empremtes del cicle anterior. Tampoc no semblava importar-li gaire. Tant ell com Lyell estaven més interessats a disposar de temps suficient que evités haver de recórrer a explicacions catastrofistes per explicar la formació o la destrucció de les serralades o els canvis en la distribució de terres i mars.

En la segona meitat del segle XIX se succeeixen diversos intents per calcular l'edat de la Terra. L'interès d'algun d'ells no és només històric, sinó també epistemològic, i considerem que el seu tractament a l'aula pot contribuir a donar significat al concepte de temps geològic.

Més enllà de les propostes de Darwin o de Phillips, els càlculs de

l'edat de la Terra són un exemple excel·lent de la dependència que els mesuraments, i els procediments d'investigació en general, tenen respecte a les teories que els sustenten. Així es poden mostrar des de l'absència de càlculs (per a aquells, com Hutton, que tenen una perspectiva cíclica) passant per altres basats en l'estudi de la Bíblia o la tradició oral, fins aquells que van utilitzar la concentració de sals en l'aigua dels oceans o els càlculs radiomètrics.

Podem preguntar-nos quins avantatges té, més enllà d'un interès cultural, reproduir uns càlculs històrics, plens d'errors, basats en teories poc fonamentades que fa molt temps que van ser rebutjades i que, per si això fos poc, condueixen a unes datacions equivocades. Segons el nostre parer, els avantatges que té un tractament com el que se suggereix es poden resumir com segueix:

- D'aquesta manera el coneixement de l'edat de la Terra es planteja com un problema sobre el qual cal reflexionar.
- El coneixement del problema i la seva valoració ajuden a entendre la relació que hi ha entre un procediment d'investigació o càlcul i la teoria sobre la qual recolza.
- Ajuda a valorar la teoria, la seva potencialitat explicativa i les seves limitacions, a entendre per què s'obtenen uns resultats que no responen a les idees que tenim avui.
- Els procediments que es posen en joc són geològics, enfront del que passa si proposem criteris radiomètrics, i estan basats en teories geològiques.
- Si, tal com assenyalen Giordan i Vecchi (1987), les teories científiques han sorgit sempre com a respostes a problemes formulats, un plantejament com aquest ajudarà a conèixer com es construeix la ciència.

Abans d'oferir respostes cronològiques precises sobre l'edat de la Terra, és convenient formular el problema i reflexionar sobre la possibilitat de disposar de mètodes que ofereixin respostes

El coneixement de la història de la Terra sol ser, en general, poc valorat. No els falten raons als que el consideren un estudi memorístic, dominat per l'anecdòtic, en el qual els noms i les dates tenen poc sentit. Convé, tanmateix, que ens interroguem sobre què pot aportar el coneixement dels grans períodes geològics i sobre alguns dels esdeveniments que hi han ocorregut. El següent text de Buffon ens hi pot ajudar:

"Comme dans l'Histoire civile, on consulte les titres, on recherche les médailles, on déchifre les inscriptions antiques, pour déterminer les époques des révolutions humaines, et constater les dates des évènements moraux; de même, dans l'Histoire Naturelle, il faut fouiller les archives du monde, tirer des entrailles de la terre les vieux monuments, recueillir leurs débris, et rassembler en un corps de preuves tous les indices des changemens physiques qui peuvent nous faire remonter aux différens âges de la Nature. C'est le seul moyen de fixer quelques points dans l'immensité de l'espace, et de placer un certain nombre de pierres numéraires sur la route éternelle du temps.

Le passé est comme la distance; notre vue y décroît, et s'y perdrait de même, si l'Histoire et la Chronologie n'eussent placé des fanaux, des flambeaux aux points les plus obscurs."

(Les Époques de la nature. Premier Discours)

Tal com es pot veure, es tracta d'un text del tot aprofitable, en el qual Buffon, a més de mostrar-nos la fluïdesa de la seva prosa, ens ofereix dues metàfores precioses. La primera està relacionada amb alguns dels aspectes metodològics de la investigació geològica que hem tractat anteriorment. La segona està relacionada amb la qüestió que acabem de plantejar i l'esbossa al final del primer paràgraf per concretar-la magistralment en l'últim.

Pensem, com Buffon, que el coneixement d'alguns elements destacables de la història de la Terra ajuda a construir el concepte de temps geològic en la mesura que actuen com a "fars o torxes" sense els quals la nostra visió del passat "es contrauria i fins i tot es perdria".

No és estrany que alumnes d'aquestes edats considerin que els períodes geològics van existir com a tals, que no són una construcció humana utilitzada per ajudar-nos a ordenar el passat. Per això és útil, quan s'introdueixen els noms d'alguns períodes, assenyalar esdeveniments que han impulsat la seva consideració com a límits (molts d'ells serien els "fars o torxes" de Buffon).

Abordar conjuntament la història de la Terra i la de la vida no solament aporta llum al passat terrestre, i ajuda per tant a la comprensió del concepte de temps geològic, sinó que aporta referents sense el coneixement dels quals no sembla probable que es puguin comprendre les característiques i la distribució actual dels éssers vius en el nostre planeta o l'evolució biològica (Sequeiros i altres, 1986). Per això proposem l'orientació següent:

És convenient realitzar un tractament conjunt que incorpori elements bàsics de la història de la Terra i de la vida.

Percepció global del temps geològic

Encara que per facilitar l'anàlisi d'un concepte tan complex com el de temps geològic s'ha ofert un tractament analític, diferenciant els diversos subconceptes que l'integren, és convenient que com a mínim algunes activitats que es realitzen afavoreixin l'establiment de relacions entre aquests conceptes. D'aquesta manera no solament s'afavoreix el seu desenvolupament mutu, sinó que adquireix ple sentit el temps geològic com a concepte inclúsor.

Cal proposar activitats que afavoreixin l'establiment de relacions entre els conceptes de canvi, fàcies, successió causal i cronologia.

A manera de síntesi final direm que tant l'anàlisi històrica i l'epistemològica com l'estudi de les concepcions dels alumnes ens parlen del temps geològic com un concepte complex que sembla que no s'adquireix d'una sola vegada ni seguint un procés lineal, sinó més aviat gràcies a adquisicions parcials que es van relacionant i integrant. No resulta adequat, per tant, limitar-ne el tractament a una sola unitat didàctica. Un aprenentatge significatiu d'aquest concepte implica el seu desenvolupament al llarg dels diferents cursos de l'educació secundària.

Hem assenyalat la necessitat de diferenciar un conjunt de subconceptes: canvi, fàcies, successió causal i cronologia, que estan relacionats entre si i que tenen el temps geològic com a concepte inclúsor. L'interès didàctic d'aquesta distinció és triple: d'una banda, perquè es tracta de conceptes que no se situen en un mateix nivell, ja que alguns són anteriors als altres; d'altra banda, perquè l'establiment de relacions entre ells afavoreix el seu desenvolupament mutu i, finalment, perquè cada un d'ells exigeix unes operacions intel·lectuals determinades, no sempre coincidents, els ritmes específics d'adquisició de les quals convé considerar.

Referències bibliogràfiques

- ALBRITTON, C. (1984): "Geologic Time". *Journal of Geological Education*, V. 32, p. 29-37.
- ANGUITA, F. (1988): *Origen e Historia de la Tierra*. Madrid: Rueda.
- ARISTÓTELES (1935): *La Física* (trad. E. González. Bergua). Madrid.
- ASENSIO, M.; CARRETERO, M.; POZO, J.I. (1989): "La comprensión del tiempo histórico". *La enseñanza de las Ciencias Sociales*, M. Carretero, J.I. Pozo i M. Asensio. Madrid: Visor.
- ASTOLFI, J.P. (1991): "Quelques logiques de construction d'une séquence d'apprentissage en sciences". *Aster* núm. 13, p. 157-186.
- AULT, CH. R. (1982): "Time in Geological Explanations as perceived by elementary-School Students. *Journal of Geological Education*, v. 30, p. 304-309.
- BACHELARD, G. (1938): *La formation de l'esprit scientifique*. París: Vrin.
- BUFFON (1988): *Les Epoques de la Nature*. Edició crítica per J. Roger. París: Memoires du Muséum National d'Histoire Naturelle.
- DARWIN, CH. (1983): *On the Origin of species...* (trad. Froufe, *El origen de las especies*. Madrid: Sarpe.
- DRIVER, R.; GUESNE, E.; TIBERGHEN, A.: *Children's ideas in science*. Open University Press. 1985. (trad. P. Manzano: *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: MEC-Morata).
- EICHER, D.: *Geologic Time*. Nova Jersey. Prentice-Hall. 1973. (Trad. Turner i Levi de Caminos, *El Tiempo Geológico*. Barcelona: Omega.)
- ELLENBERGER, F. (1989): *Histoire de la Geologie*. 1988. (Trad. M. Rubió, *Historia de la Geología*. Madrid: Labor.
- GIORDAN, A.; VECCHI, G. (1988): *Les orígenes du savoir*. Neuchâtel. Delachaux-Niestlé. 1987 (trad. A. Martínez, *Los orígenes del saber*. Sevilla: Diada.
- GOHAU, G. (1983): "Idées anciennes sur la formation des montagnes". *Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, núm. 7.
- GOULD, S.G. (1987): *Time's Arrow. Time's Cycle. Myth and Metaphor in the Discovery of Geological Time*. Harvard University Press. 1987. (Trad. *La flecha del tiempo*. Madrid. Alianza 1992.)
- GRANDA, A. (1988): "Esquemas conceptuales previos de los alumnos en Geología". *Enseñanza de las Ciencias*, v. 6, núm. 3, p. 239-243.
- HALLAM, A. (1983): *Great Geological Controversies*. Oxford University Press. (trad. J.M. Fontboté, *Grandes controversias geológicas*. Barcelona. Labor).
- HAPPS, J.C. (1984): *The utility of Alternative knowledge Frameworks in effecting Conceptual Change: some examples from the Earth Sciences*. Tesi. New Zealand. University of Waikato.
- JURD, M.F.: "Concrete and formal operational thinking in history". A: J.A. KEATS; K.F. COLLIS; G.S. HALFORD (Eds.) (1978): *Cognitive Development*. Nova York: Wiley.

- PEDRINACI, E. (1992b): "Catastrofismo versus actualismo. Implicaciones didácticas". *Enseñanza de las Ciencias*. Vol. 10, (2), p. 216-222.
- PIAGET, J. (1946): *Le développement de la notion du temps chez l'enfant*. París. PUF. (trad. V.M. SUÁREZ i J. UTRILLA, *El desarrollo de la noción de tiempo en el niño*. Mèxic: FCE. 1978).
- RITGER, S.D.; CUMMINS, R.H. (1991): "Using student-created metaphors to comprehend Geologic Time. *Journal of Geological Education*. V. 39, núm. 1, p. 9-11.
- RUDWICK, M. (1987): *The meaning of fossils: episodes in the History of Paleontology*. Illinois: University of Chicago (trad. A. RESINES, *El significado de los fósiles*. Madrid: Blume.
- SEQUEIROS, L. (1991): "Desarrollo de las representaciones mentales sobre la evolución. *Alminar*, núm. 20, p. 39-45.
- SEQUEIROS, L.; GOZALVO, M.; BIEDMA, M.; ESPINA, A. (1986): "Programación integrada interdisciplinar de la evolución geobiológica. Objetivos y metodología". *IV Simposio sobre Enseñanza de la Geología*, p. 275-285.
- SEQUEIROS, L.; PEDRINACI, E. (1992): "Una propuesta de contenidos de Geología para la ESO". *III Congreso Geológico de España*. Salamanca, v. 1, p. 471-480.
- TOULMIN, S.; GOODFIELD, J. (1990): *The Discovery of Time*. Londres: Hutchinson and Co. (trad. N. Míguez, *El descubrimiento del tiempo*. Barcelona: Paidós.

Paraules clau

Geologia

Educació secundària

Intervenció Educativa

Història

Epistemologia

Abstracts

El tiempo geológico es generalmente considerado un concepto clave para la comprensión de los procesos geológicos. Se trata, sin embargo, de una de las nociones cuya construcción resulta más difícil para los alumnos de educación secundaria (14 a 18 años), nivel educativo en el que se centra este trabajo. Se pretende mostrar que se trata de un concepto complejo, integrado por una serie de subconceptos cuya diferenciación es necesaria para formular una propuesta fundamentada de intervención en el aula. Se toma para ello un triple referente: las aportaciones de la Historia de la Geología, de la Epistemología y de las concepciones de los alumnos.

Le temps géologique est généralement considéré comme un concept clé pour la compréhension des processus géologiques. Il s'agit, cependant, de l'une des notions dont la construction est la plus difficile pour les élèves du secondaire (de 14 à 18 ans), niveau éducatif concerné par cette étude. L'auteur se propose de montrer qu'il s'agit d'un concept complexe, formé par une série de sous-conceptes dont la différenciation est nécessaire pour formuler une proposition fondamentalement d'intervention dans la classe. Pour ce faire, ses références sont triples: les apports de l'histoire de la géologie, de l'épistémologie et des conceptions des élèves.

Geological time is generally considered a key concept for understanding geological processes. Nevertheless, this is one of the most difficult notions for secondary school students (14 to 18), the age on which this work focuses, to construct. The aim is to show that it is a complex concept, made up of a series of subconcepts which need to be differentiated in order to formulate a well-founded proposal for action in the classroom. Three reference points are taken: the history of geology, the history of epistemology and the students' own concepts.