



Les pràctiques de laboratori en geologia.

M^a Roser Nebot Castelló
Grup LIEC, UAB
mrnebot@gmail.com

Resum • Tot i que les pràctiques de Geologia poden ser de tipologia molt diversa i moltes d'elles són senzilles de dur a terme, als centres escolars no se'n solen fer de manera habitual. A l'article es presenten un seguit de reflexions i propostes que pretenen afavorir la seva implementació. A més de suggeriments per estudiar els minerals i les roques, s'inclouen exemples d'activitats amb modes de representació material: maquetes estàtiques i dinàmiques, i simulacions de laboratori. També s'han inclòs idees per a la seva gestió, de manera que l'alumnat pugui interpretar el que està fent i observant, establint un pont entre el món observable (fenòmens) i el món de les idees (models), que porti de la manipulació a l'abstracció.

Paraules clau • Geologia, pràctiques de laboratori, modelització, maquetes, simulacions de laboratori

Geology laboratory activities.

Abstract • There is a great diversity of practical activities in Geology, generally not difficult to carry out, but they are not usually done in schools. This article presents reflections and proposals to promote their implementation. In addition to suggestions for studying minerals and rocks, examples of activities with material representation modes are included; that is, static and dynamic models, and laboratory simulations. Ideas for their management are also included, so that students can interpret what they are doing and observing, establishing a bridge between the observable world (phenomena) and the world of ideas (models), leading from manipulation (hands-on) to abstraction (minds-on).

Keywords • Geology, practical activities, modelling, models, laboratory simulations

INTRODUCCIÓ

La Geologia és una ciència que té una importància cabdal en les nostres vides i ens pot ajudar a entendre molts fenòmens del món, que sovint resten invisibles per a la majoria de les persones. És una ciència interpretativa que estudia tant la superfície terrestre (el sòl i les roques que trepitgem o el paisatge que ens envolta) com l'interior del nostre planeta, tant des del punt de vista dels materials que el componen com dels fenòmens dinàmics que s'hi produeixen.

És una ciència històrica, però també aplicada. Ens permet estudiar els canvis de la Terra al llarg del temps i, a partir del que aprenem del passat, interpretar el present i predir possibles esdeveniments futurs. Molts dels recursos que utilitzem tenen a veure amb la Geosfera, i la seva utilització té implicacions socials, tecnològiques i ambientals. Els estudis geològics no tan sols s'utilitzen per decidir com cal explotar els recursos, sinó que també permeten avaluar els impactes i riscos associats a l'activitat humana.

Però si mirem la Terra des de l'espai, es posa de manifest que la Terra es molt més que roques i sòl. De fet, el que crida més l'atenció és l'aigua en forma de turbulents núvols suspesos sobre la superfície i l'enorme massa d'aigua que forma els oceans (Tarbuk i Lutgens, 2008). Aquesta aigua, i la que no veiem però hi és (vapor d'aigua i aqüífers), es troba en constant interacció amb les roques i els éssers vius. És per això que en estudiar l'estructura i dinàmica del nostre planeta cal anar molt més enllà de la seva subdivisió en diferents esferes o subsistemes (Geosfera, Biosfera, Hidrosfera i Atmosfera), perquè els processos que s'hi produeixen estan interconnectats formant el Sistema Terra.

El funcionament dels sistemes suposa un flux i un emmagatzematge temporal (dipòsit, reserva) de materials i d'energia a través de les seves diferents parts. Un sistema, però, no és la suma o juxtaposició d'aquests components, sinó quelcom de més complex, ja que els components estan interconnectats o relacionats entre ells formant una unitat funcional global.

La complexa relació estructural i dinàmica entre els subsistemes ha de dur a un enfocament interdisciplinari a l'hora de treballar amb l'alumnat els diferents fenòmens del nostre planeta. En el món escolar, aquest enfocament sistèmic i interdisciplinari pot ajudar a adquirir una visió holística i dinàmica dels fenòmens que es desenvolupen a la Terra. En aquest article ens centrarem en activitats relacionades amb la Geologia, concretament en la manera de mirar i interpretar els fenòmens geològics a través d'activitats pràctiques, sense oblidar les interrelacions de la Geosfera amb els altres subsistemes.

És cert que la Geologia presenta dificultats experimentals, que venen determinades per la magnitud i complexitat dels fenòmens geològics, ja que hi ha una gran quantitat de variables i interaccions que hi intervenen, una gran diversitat d'escalles (des de sub-micro a planetàries), i de velocitat i duració dels processos (des de segons fins a milions d'anys), que fan pensar que la seva representació de manera senzilla és molt difícil (Hernández Arnedo, 2013). Però aquestes dificultats no ens poden aturar, perquè tenim moltes possibilitats al laboratori escolar per estudiar i representar fenòmens geològics.

A l'article es volen posar en valor les activitats pràctiques més "clàssiques", com poden ser les de l'estudi de minerals i roques. I, també, es vol fer front a la idea que és molt difícil simular els processos geològics, a través de propostes relacionades amb la construcció i utilització de modes de representació material, com són les maquetes i les simulacions de laboratori.

ELS TREBALLS PRÀCTICS EN GEOLOGIA

Als nostres centres educatius podem trobar una extensa gradació en la implementació d'activitats de laboratori relacionades amb la Geologia, des de llocs on no se'n fan fins a centres on les activitats pràctiques s'han convertit en imprescindibles i es treballen de manera entrelaçada amb les activitats més teòriques. De tota manera, malgrat que la Geologia és una ciència experimental, quan es pensa en com cal aprendre-la és freqüent considerar que les activitats pràctiques no són imprescindibles en

el seu ensenyament. A la problemàtica de la magnitud de les escales temporals i espacials, s'hi afegeixen les raons que solen adduir-se per justificar que no és necessari o convenient fer pràctiques en el cas de qualsevol de les matèries científiques. Tanmateix, hi ha resultats de recerca que mostren que incloure activitats pràctiques ben fonamentades pot ajudar a l'alumnat a modelitzar els fenòmens naturals.

Amb la finalitat d'oferir recursos que facilitin la realització d'activitats al laboratori escolar, a continuació es presentaran diverses propostes i reflexions sobre activitats pràctiques de Geologia, que es poden estendre a les relacionades amb l'Atmosfera i la Hidrosfera, en el marc més ampli de les Ciències de la Terra. No es farà referència als nivells en què es poden implementar. De tota manera, segons l'edat de l'alumnat, el que s'hagi treballat prèviament i l'entorn on s'hagin de dur a terme, caldrà fer-hi una aproximació diferent i fer-les en l'ordre que es consideri més adient.

L'estudi dels materials geològics reals és imprescindible i per això se'n parlarà en primer lloc. Després ens centrarem en les simulacions d'estructures i processos geològics.

Estudi dels minerals i les roques

Per interpretar molts fenòmens geològics és necessari el coneixement dels minerals i les roques; per tant el seu estudi a nivell pràctic és fonamental. Per treballar l'estructura ordenada de la matèria mineral, a més d'observar hàbits cristal·lins regulars, com els de la pirita, la fluorita, la calcita o el quars, es poden fer pràctiques de cristal·lització. Hi ha moltes propostes en relació a l'estudi de l'estructura cristal·lina i es pot treballar de moltes maneres. Fer cristal·litzar diferents sals en les mateixes condicions permet treballar la unitat i la diversitat cristal·lina; altrament, fer cristal·litzar una mateixa sal en condicions diferents, permet observar l'efecte de variables com el temps i l'espai en la mida dels cristalls. També es pot estudiar la relació entre l'estructura cristal·lina i els tipus d'enllaç amb les propietats dels minerals, i es poden utilitzar aquestes pràctiques per treballar la textura de les roques ígnies.

En l'estudi dels minerals hem de defugir del mer aprenentatge memorístic, centrant-nos especialment en les propietats dels minerals que ens permeten reconèixer-los i diferenciar minerals semblants. Cal aprendre a reconèixer-los a través de les seves característiques, fent servir les proves que permeten estudiar-les. Començar fent servir claus dicotòmiques pot ser una bona estratègia, però cal passar gradualment a desenvolupar destreses que permetin classificar els minerals quan s'estudien les roques, tant al laboratori com al camp, sense ajut de les claus.

És recomanable començar pels minerals que formen les principals roques i per aquelles propietats que ens donen una informació més valuosa sobre les característiques de diagnòstic. Per exemple, si tenim minerals de colors clars estudiarem el seu gust, la seva duresa o la reacció a l'HCl, per tal d'anar descartant si es tracta d'halita, quars, guix o calcita, i anar afegint les proves que calguin fins arribar a reconèixer el mineral, com pot ser la densitat en el cas de la baritina. En els minerals foscos ens fixarem en la densitat, la lluentor i el color de la ratlla, per exemple. El color el farem servir als minerals idiocromàtics, com la pirita, la galena, la malaquita o el sofre; però també ens pot donar pistes en minerals al·locromàtics com el quars o l'ortosa.

Per altra banda, al llarg de l'escolarització es poden fer servir els minerals com a context per treballar diversos aspectes de la Física i la Química i anar consolidant el coneixement dels que ja s'han estudiat anteriorment i afegir-ne de nous. Per exemple, es poden utilitzar els minerals en pràctiques sobre la densitat, per calcular el volum de manera matemàtica (en el cas de minerals amb hàbit cristal·lí regular) o de manera experimental, submergint-los en una proveta amb aigua; o per treballar les propietats dels enllaços químics de manera experimental. En aquest cas, es pot comparar la duresa i fragilitat de minerals que tenen enllaç iònic, com l'halita, amb d'altres que el tenen covalent, com el quars; es pot relacionar l'exfoliació amb la presència de diferents tipus d'enllaç, com passa a les miques, que s'exfolien en làmines; es pot relacionar la lluentor, conductivitat i mal·leabilitat dels minerals metàl·lics amb el seu

enllaç; o l'extrema fragilitat del sofre amb la presència de forces de van der Waals. D'aquesta manera s'estudien les propietats tot relacionant-les amb fenòmens observables al laboratori.

L'observació de les roques, a ull nu o a la lupa, anirà consolidant també el coneixement dels minerals i es podran relacionar amb el seu ambient de formació. Treballar les roques dins del context en què es formen pot ser una bona aproximació per al seu estudi. Les roques ígnies juntament amb el magmatisme i els volcans, les metamòrfiques amb la tectònica, i totes dues un altre cop en el marc de la tectònica de plaques. Les roques sedimentàries detrítiques i químiques es poden estudiar dins el cicle de l'aigua, i les organògenes en estudiar els recursos geològics. Quan ho fem, es treballen de nou els minerals i les roques, ara des del punt de vista de la seva utilització.

Estudiar totes les roques en un mateix tema, com es proposa als currículums, pot dur a un desinterès. En canvi, quan es treballen de manera separada, juntament amb els processos que les formen i els minerals que les componen, es facilita la interpretació de la història que ens expliquen i l'aproximació al seu estudi presenta un canvi radical. Si es combina aquesta manera de fer amb sortides al camp, amb activitats de Geologia urbana, i amb activitats de laboratori de tipus simulació, com poden ser fabricar roques sedimentàries detrítiques amb llavors, acabant amb una activitat final que les relacioni, com la representació del cicle de les roques amb cera, es pot arribar al seu coneixement d'una manera motivadora. Treballar el cicle de les roques com a síntesi té molt més sentit que com a introducció.

Modes de representació material: maquetes i simulacions de laboratori

Els minerals i les roques no són l'únic que podem estudiar al laboratori. Quan volem treballar els fenòmens geològics se'ns obre un gran ventall de possibilitats de representar-los si en endinsem en el món dels modes de representació material. Es tracta de representacions tangibles, que permeten simular l'estructura dels seus referents a la Natura i/o representar les seves funcions. Poden ser maquetes, estàtiques o dinàmiques, i simulacions de

laboratori, que sovint es poden fer amb materials que es troben fàcilment al nostre abast.

Maquetes

Les maquetes estan pensades per assemblar-se físicament al sistema de referència que representen, tot i que el grau de semblança és molt variable. Poden ser fetes a escala o no. En el cas de la Geologia no es solen fer maquetes a escala a causa de la magnitud del que es vol representar. Però les maquetes que no conserven l'escala poden ser molt útils, sobretot si són dinàmiques, ja que s'hi poden representar fenòmens. Seria el cas, per exemple, de maquetes del cicle de l'aigua (Figura 1) o de fenòmens de la tectònica de plaques (Figura 2).

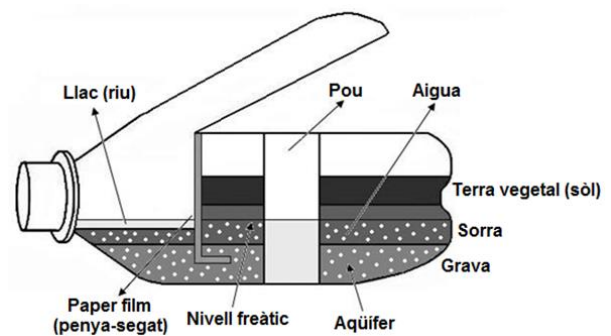


Figura 1: Maqueta dinàmica del cicle de l'aigua. El cicle de l'aigua dins d'una garrafa. Labbat:

<https://docs.google.com/document/d/1ZEbYaEfWvcUrgm-ablt1I3s7URNNdDQo1ZPkWM8qEsM/edit>

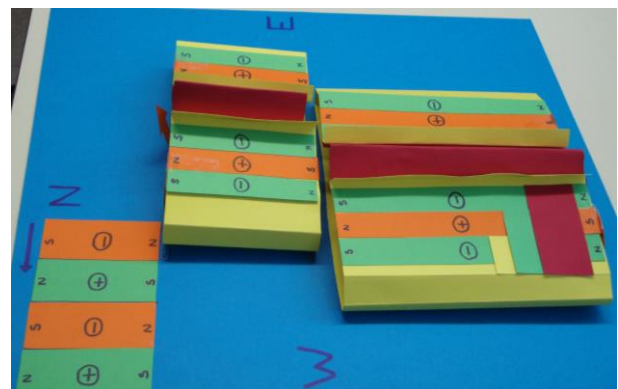


Figura 2: Maqueta estàtica d'una dorsal oceànica.

Simulacions de laboratori

Les simulacions de laboratori són especialment interessants, perquè permeten representar el funcionament d'algun dels seus aspectes, ja sigui de manera anàloga o similar (Gilbert i Ireton, 2003).

Alguns exemples de simulacions basades en analogies són:

- la viscositat de la lava fent servir oli, aigua i sabó
- la formació d'intrusions ígnies amb cera (Figura 3)
- la composició i estructura de les capes de la Terra, utilitzant materials com el suro, la vaselina o el caramel líquid (Figura 4).

Els materials que fem servir no són lava, magma o minerals, però el seu comportament ens permet relacionar el que observem a la pràctica amb el que passa a la Natura.



Figura 3: Simulació d'intrusions ígnies amb cera.



Figura 4: Simulació de la diferenciació de les capes de la Terra. La terra: Un planeta dividit en capes. Labbat: <https://docs.google.com/document/d/1n5X1W204wrDz0zvzGA8fquTzQ4pNDNJbOmUBiTUerdI/edit>



Figura 5: Simulació d'un iceberg.

Alguns exemples que reproduïen el que passa a la Natura de manera similar al procés que s'estudia són: congelar llavors i trossos de fulles per simular materials atrapats al gel; posar roques al congelador per simular la gelifracció; o fer simulacions d'icebergs utilitzant gel i còdols (Figura 5).

En algunes ocasions fem activitats que tenen una part analògica i una part similar al que passa a la Natura. La creació d'un núvol fent servir aigua calenta, gel i el fum de llumins, en seria un exemple. El material utilitzat és el mateix líquid, l'aigua, que s'evapora i es condensa de la mateixa manera que ho fa a la Natura però, en lloc d'augmentar la seva temperatura amb el sol, s'escalfa amb una altra font de calor (una placa tèrmica per exemple), i els nuclis de condensació no són pols o pol·len, sinó cendra de llumí. Hi ha altres tipus de simulacions semblants a aquesta en què es combina realitat i ficció, com fabricar un fòssil amb petxines actuals per fer la impressió sobre plastilina, omplint el forat amb guix.

Cadascuna d'aquestes representacions té unes utilitats diferents i, sovint, complementàries. De tota manera, els modes de representació concrets, siguin funcionals o no, tenen unes limitacions que cal tenir en compte. Segons Oliva, Aragón, Mateo i Bonat (2001), els problemes més importants que s'han trobat en relació a l'ús d'analogies són que de vegades el sistema de referència no és prou familiar per l'alumnat, que normalment no participa en la construcció de l'analogia, sinó que aquesta es presenta com una cosa feta i acabada.

Aquestes limitacions poden superar-se amb l'ús de maquetes i les simulacions de laboratori, que poden ajudar a l'alumnat a familiaritzar-se amb el referent, tant quant a la seva estructura com a la seva dinàmica. A més, poden representar fenòmens ocults a la Natura, com l'ascensió del magma, els moviments del nucli extern o les aigües subterrànies. De tota manera, per superar les limitacions intrínseques de l'ús d'aquestes representacions, cal treballar de manera explícita amb l'alumnat aspectes com: què representa la maqueta o la simulació de manera global, quines són les seves parts i què representa cadascuna d'elles, i quines funcions relacionades amb el fenomen es representen i de quina manera, si és el cas.

És molt important buscar les semblances i diferències entre el sistema de representació i el seu referent del món, tot establint relacions entre el que s'observa al laboratori i les estructures i la dinàmica del sistema de referència que s'està representant. Reflexionar sobre les limitacions de la representació pot portar a superar l'altra dificultat apuntada anteriorment, ja que l'alumnat pot participar en la millora del disseny del mode de representació, solucionant algun problema que presenta o millorant-ne algun aspecte. Així, l'alumnat es va familiaritzant amb el referent, i va desenvolupant destreses que poden portar a l'elaboració de dissenys propis.

Aquestes activitats de meta-reflexió, combinades amb l'ús de múltiples modes de representació, com poden ser les personificacions (representacions fetes per l'alumnat amb el seu cos), els diagrames i dibuixos, els experiments mentals o les simulacions d'ordinador; poden ajudar a construir un model mental més ric del fenomen estudiat (Gilbert i Ireton, 2003).

Visió sistèmica

Molt sovint es fan pràctiques puntuals, relacionades només amb un aspecte d'un tema, com poden ser les simulacions del desplaçament de les ones sísmiques amb cordes i molles, la simulació de moviments de vessant fent servir llavors o la simulació de plecs i falles amb plastilina.

Tanmateix, els processos geològics són complexos i estan relacionats entre ells. Per abordar el seu estudi també es poden fer pràctiques relacio-

nades entre elles, complementàries, que representin diversos fenòmens, que ens ajudin a modelitzar de manera més holística el referent que estem estudiant. Si interrelacionem el que s'ha treballat en cada pràctica, i també amb el referent a la natura, podem crear un entramat que ens permeti apropar-nos a l'estructura i dinàmica del que estem estudiant, com per exemple el modelat càrstic, el cicle de l'aigua o la circulació termohalina.

Com a exemple presentem el conjunt de pràctiques del Modelat càrstic (Figura 6). La proposta (Nebot 2020) comença amb activitats relacionades amb la solubilitat de les roques carbonatades. Es treballa la carbonatació, és a dir la meteorització a la superfície del massís i la formació de cavitats a l'interior. A més del grup d'experiències en què es visualitzen els canvis de pH associats a les reaccions químiques que porten a la dissolució de les calcàries, n'hi ha una de proposada per un alumne. Es va preguntar què passaria si buféssim dins un tub d'assaig amb aigua amb gas, i el resultat va portar a simular els canvis de pH de l'aigua quan surt a l'exterior per una surgència, que porten a la precipitació dels carbonats. Les pràctiques sobre les reaccions químiques es complementen amb activitats per estudiar la porositat i permeabilitat, que permeten modelitzar el moviment i emmagatzematge de l'aigua dins del massís. Tant unes com les altres mostren processos similars als que passen a la natura. En canvi, la simulació de la formació de coves i dolines, fent servir sorra i globus, alguns amb aire i altres amb aigua, només s'assembla al que passa al sistema de referència en el resultat, però el procés de formació és molt diferent.

Cada representació té avantatges i inconvenients, i en cada cas cal treballar les similituds i les diferències entre el referent del món natural i el que hem representat, per anar acostant l'alumnat al coneixement de les parts i com es relacionen formant el tot.

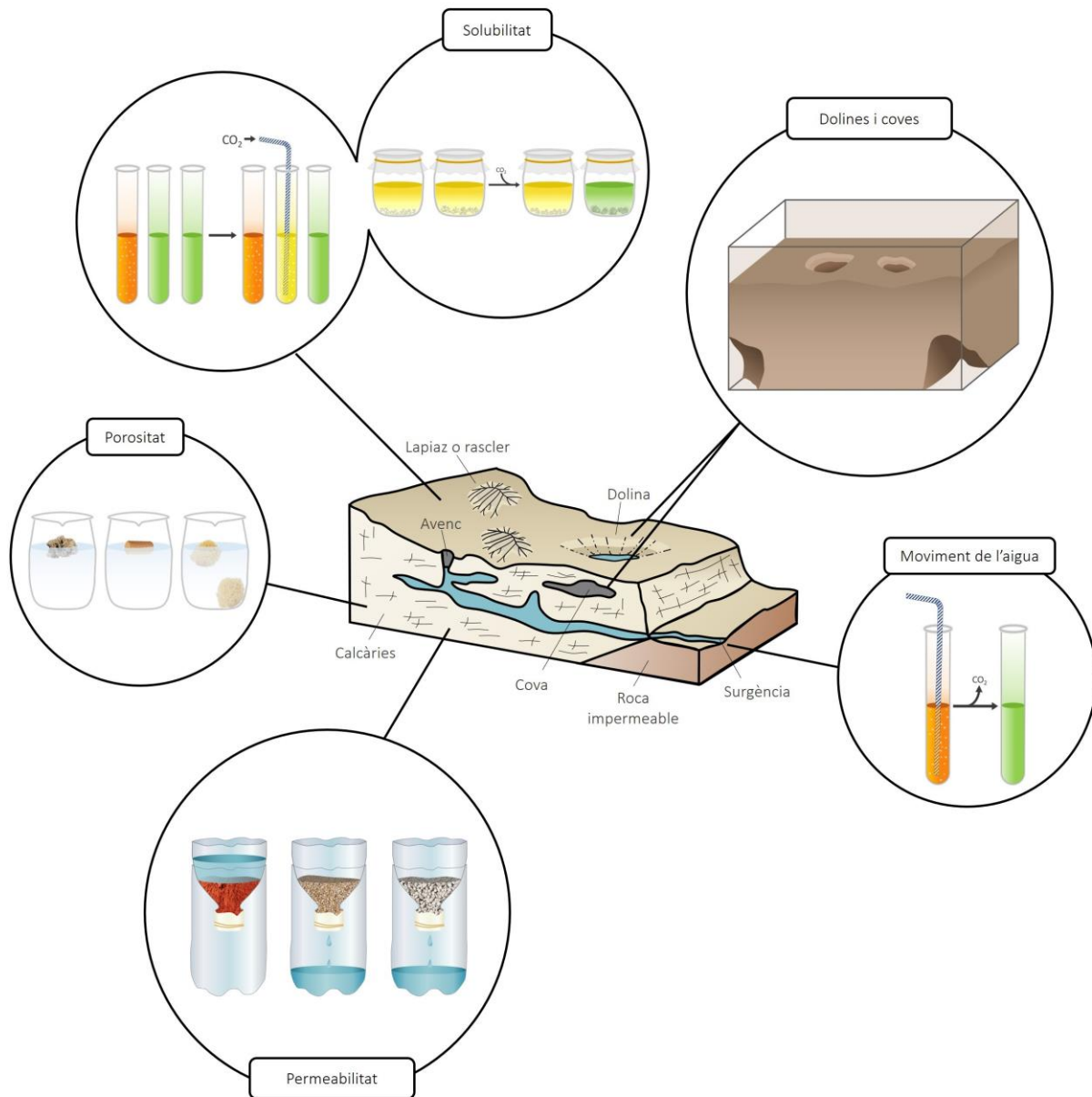


Figura 6: El modelat càrstic a través de pràctiques relacionades, Alambique nº 102. Elaboració pròpia amb disseny de Laura Vila Tura (2020).

Els models i la modelització als treballs pràctics

Per poder passar de la manipulació a l'abstracció primer cal fer observacions acurades dels fenòmens i després interpretar-les. Al laboratori cal posar els "ulls en acció" i fixar la mirada en allò que passa, en els objectes, processos i propietats involucrats en la pràctica (domini observable), i relacionar el que veiem (els fenòmens) amb el domini de les idees (els models) per tal d'interpretar i entendre què passa.

Hi ha uns models que cal anar treballant amb l'alumnat al llarg de la seva escolarització, de ma-

nera que s'estableixi una progressió d'aprenentatge i que, paulatinament, aquests vagin formant part del seu bagatge científic. Es tracta de models relacionats amb les característiques intrínseques de la Geologia, com el de sistema geològic, però també el cinètico-corpúscular, els dels fenòmens físics o el de canvi químic, ja que per interpretar el que observem al laboratori molt sovint hem de recórrer a la Física i a la Química.

En el model de sistema geològic (Márquez i Sanmartí, Figura 7), que trobem a la pàgina web Tresor de Recursos (<https://tresorderecursos.com/>),

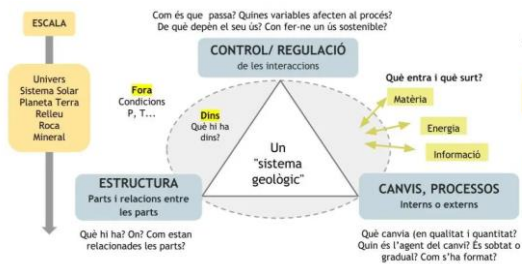


Figura 7: Model de canvi geològic (Márquez i Sanmartí).

es relaciona l'estructura, és a dir les parts que formen el sistema i les seves relacions, amb els canvis que s'hi produeixen (processos interns i externs), com es produeix el control del sistema, i com es regulen les interaccions. A més, cal tenir en compte les escales d'espai i de temps i les entrades i sortides del sistema.

El cinètico-corpuscular és un model fonamental per interpretar el què passa a moltes pràctiques de Geologia, perquè permet predir i explicar una gran varietat de fenòmens físics (Benarroch, 2000). Tot allò que estigui relacionat amb la massa, la densitat, la pressió, la temperatura o els canvis de volum, és susceptible de ser interpretat amb aquest model.

De vegades els models es poden combinar per facilitar la comprensió dels fenòmens, com passa, per exemple, a una pràctica que es fa servir per simular la fusió i ascensió del magma en la formació d'un volcà (Figura 8). Es posa cera fosa a la base d'un pot i s'espera que solidifiqui. A sobre s'hi posa una petita capa de sorra i aigua freda fins a la part superior. El conjunt s'escalfa al bany Maria. Al cap d'una estona s'observa com es fon la cera i empeny la capa de sorra i puja a través d'ella i de l'aigua, formant conductes de diferents diàmetres i formes i, sovint, una capa de cera sobre la superfície de l'aigua. Els moviments observats estan associats als canvis de temperatura i de pressió, relacionats amb els canvis de densitat i els canvis d'estat. El model cinètico-corpuscular ens permet explicar tot allò que hem observat, però es pot complementar amb el model de fenòmens físics (Couso i Hinojosa, Tresor de Recursos), concretat en aquest cas en el d'interaccions mecàniques, en les forces d'empenyiment i del pes.

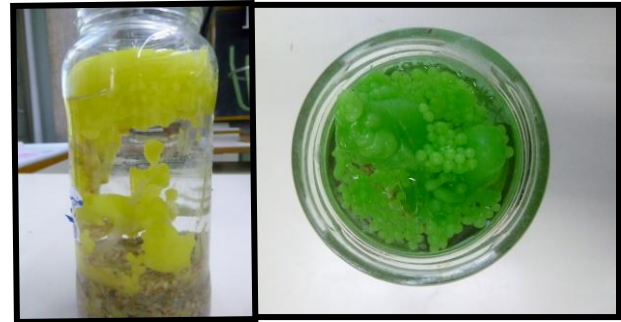


Figura 8: Simulació de la formació d'un volcà amb cera. Simulació d'una erupció volcànica. Labbat:

<https://docs.google.com/document/d/1BfTKIzz15tgzj5HLODkdYn42MTRglmEIF0yxPN4f4XY/edit>

Quan dissenyem o implementem una pràctica hem de pensar, en cada ocasió, quins són els models de ciència escolar que facilitaran la predicció i interpretació dels fenòmens observats; és a dir, quins models són més adients en relació amb el que estem treballant. Per exemple, el model de canvi químic serà imprescindible per treballar la meteorització química o el modelat càrstic.

Hem de pensar també com es compartiran les idees clau d'aquests models amb l'alumnat, de manera que tinguin les eines per descriure el què estan observant, fer interpretacions i inferències, i que tot plegat els permeti fer explicacions científiques coherents i fonamentades.

Quan s'està realitzant la pràctica cal que s'estableixi un diàleg entre professorat i alumnat per tal que es vagin establint models de consens per interpretar el que s'observa, a partir de la negociació del seu significat (Gilbert, 2004). Aquests models permetran parlar el mateix llenguatge i facilitaran la comunicació durant la realització de les pràctiques i en les posades en comú. Com que el professorat no té accés als models mentals de l'alumnat, cal desenvolupar estratègies perquè aquests models mentals passin a ser expressats (Bravo, 2012). Així, el professorat tindrà accés al coneixement de l'alumnat, a les seves idees, tant abans, com durant i després de les activitats.

DISSENY I GESTIÓ DE LES PRÀCTIQUES

Dissenyar una pràctica no és fàcil, i és per això que és convenient començar basant-se en activitats ja dissenyades. Abans d'implementar-les, cal analitzar el disseny de la pràctica proposada. Ens

hem de preguntar quina era la intenció de qui ho va dissenyar, si aquesta s'assoleix, quins són els nostres objectius i si la pràctica ens ajudarà a aconseguir-los. Si ho considerem convenient, pensarem en quins canvis podem introduir per millorar el disseny i com ho hem de fer, i ho revisarem cada vegada en relació als resultats obtinguts. Si la pràctica la dissenyem nosaltres, ens haurem de fer les preguntes pertinents un cop acabades les activitats, per veure si cal fer-hi canvis.

Durant la implementació cal incloure preguntes per tal que l'alumnat vagi elaborant explicacions científiques del que observa, fent servir els models adequats, tot treballant el que es fa al laboratori de manera integrada al que es fa a l'aula. Les pràctiques han d'estar interconnectades amb les reflexions teòriques, no han de ser activitats a part. En el cas de la utilització de maquetes o de simulacions de laboratori caldrà relacionar la representació amb el referent de la natura.

Respecte al guió de l'alumnat, pensem que cal demanar només allò que serà imprescindible per a la discussió posterior. Durant les pràctiques cal centrar-se en l'observació amb propòsit, en la descoberta, en l'emoció, en el diàleg. Cal que l'alumnat tingui una certa llibertat i que el treball s'aprofundeixi amb activitats posteriors a classe, tot integrant les pràctiques de laboratori i la teoria.

EXEMPLES

A continuació s'inclouen dos exemples per il·lustrar com el professorat i l'alumnat poden fer canvis en el disseny de les activitats que millorin la representació del que es simula o que ajudin a modelitzar els fenòmens estudiats de manera més adequada. En el primer cas ens centrarem en una simulació de laboratori sobre la viscositat de la lava en què es van fer un seguit de canvis en el guió al llarg dels anys, per tal de contemplar l'efecte d'un major nombre de variables. En el segon cas s'explicaran els canvis, al llarg de diferents cursos, en l'elaboració de maquetes de fenòmens de la tècnica de plaques a partir de dissenys proposats per l'alumnat.

Estudi de la viscositat de la lava i del magma [1]

Guió original

S'estudia com afecten diverses variables a la viscositat de la lava i del magma fent servir mel, que cal fer baixar per un petit pendent i mesurar el temps que triga en baixar. Els tractaments proposats són: escalfar, afegir aigua i afegir sorra.

Canvis en el disseny

Al principi es va demanar a l'alumnat quines altres variables es podien simular que modifiquessin la viscositat de la mel. Es van afegir el pendent del volcà i la presència de gasos, a més de fer tractaments a diferents temperatures (a la placa tèrmica, a la nevera i al congelador) o afegir més o menys aigua o sorra.

Més endavant la professora va afegir una activitat prèvia, que consisteix en fer la simulació amb diferents materials a temperatura ambient per observar la influència de la composició química en la viscositat. Es pot fer servir caramel líquid, oli, vinagre, xampú, sabó líquid, aigua, aigua amb gas o d'altres materials proposats per l'alumnat. Després l'alumnat dissenya com vol estudiar la influència de les altres variables, fent propostes que es discuteixen amb el professorat. Tothom ha d'estudiar la influència de la temperatura i de la presència de sòlids, fent servir xampú o sabó líquid, perquè proporciona una bona simulació i és fàcil de netejar. La resta de variables a estudiar es decideixen a cada grup de pràctiques. Si es considera oportú, es pot fer algun muntatge en què es combinin dues variables, la temperatura de la lava i el pendent del volcà per exemple.

Resultats i interpretació

Abans de dur a terme l'activitat es fan prediccions sobre els resultats esperats i aquests es comparen amb els resultats obtinguts. En fer la pràctica, s'anota el temps que triga en baixar cada tractament i, en el cas que alguna substància quedi aturada, com passa per exemple amb el xampú amb molta sorra, es mesura la llargada de la "colada de lava".

S'observa que materials amb diferent composició química tenen viscositats diferents. Per exem-

ple l'aigua es desplaça molt més ràpid que el xampú i es relaciona amb la diferent composició química dels magmes. El xampú simula la lava àcida, molt viscosa, que també es pot simular amb mel o caramel líquid. L'aigua, l'oli o el vinagre simulen la lava bàsica, poc viscosa.

S'observa que l'augment de temperatura, la presència d'aigua i de gasos disminueix la viscositat i fa que el xampú es desplaci més ràpidament. D'altra banda, la presència de sorra (sòlids) augmenta la viscositat i disminueix la velocitat de desplaçament.

El tractament d'augment de temperatura simula com l'augment de temperatura fa la lava menys viscosa i determina un moviment ràpid, com passa amb la dels volcans efusius. El fet d'afegir aigua i/o gasos, que també disminueix la viscositat, pretén simular el magma de les zones hidrotermals. En afegir sorra es simula el comportament del magma i de la lava dels volcans explosius.

El model emprat per a la interpretació dels resultats és l'atòmic-molecular en relació a la composició química del magma i la lava, i el cinético-corpúscular en relació a la fricció interna de les partícules, que determina la viscositat, i per interpretar els efectes en aquesta dels canvis de temperatura, o de contingut d'aigua, gasos o sòlids. A partir de les conclusions, elaborades primer per grups i després amb tot el grup-classe, es relaciona el que s'ha observat amb els diferents tipus de magma i de lava, i la influència de la viscositat en la tipologia de les erupcions volcàniques.

Activitats relacionades

Aquesta activitat es complementa amb:

- pràctiques per estudiar la composició i la textura de mostres de roques, a partir de l'observació directa i amb l'ajut de pràctiques de cristallització.
- simulacions de la formació d'intrusions o de volcans amb cera.
- elaboració de maquetes dinàmiques de les erupcions volcàniques que completen la idea de la diversa tipologia de l'activitat volcànica
- visualització de documentals o de volcans en directe a través de web-cams.

El conjunt d'activitats dona eines que permeten "llegir" els que ens diuen els materials ignis i, també, interpretar les erupcions volcàniques, relacionant les característiques del magma amb l'índex d'explosivitat dels volcans.

Informe de les pràctiques

Un cop acabades les activitats, l'alumnat escull una de les pràctiques i en fa un informe, utilitzant el format escollit d'un seguit de propostes de la professora o a partir d'una proposta pròpia, consensuada amb la docent. Per exemple, es pot fer un informe escrit, una presentació de PPT, un vídeo, un pòster o mural, un còmic, un relat curt, etc. Sempre incloent a l'explicació el que s'ha observat, el que s'ha inferit, el que s'ha interpretat i a quines conclusions s'ha arribat.

Elaboració de maquetes dels fenòmens de la tectònica de plaques (Figures 9,10 ,11 i 12).

Guió original

Pensant en possibles representacions de les estructures i fenòmens relacionats amb la tectònica de plaques, la professora va proposar l'elaboració de maquetes d'una dorsal oceànica a l'alumnat de Ciències de la Terra i el Medi Ambient del curs 2009/10. Per fer-les es van utilitzar cartolines de diferents colors. Hi havia poques instruccions, però la representació havia d'incloure la vall de rift central si es representava la Dorsal Atlàntica o l'Índica o el horst central si es representava la Dorsal Pacífica. També s'havien d'incloure els canvis de polaritat magnètics i els sediments de sobre la dorsal.

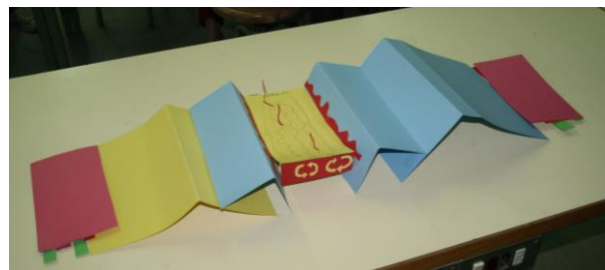


Figura 9: Maqueta estàtica d'una dorsal oceànica. Exemple 1.



Figura 10: Maqueta estàtica d'una dorsal oceànica. Exemple 2.

Canvis en el disseny

L'activitat es va repetir el curs següent, afegint nous tipus de contacte. A més de les de les dorsals oceàniques, es van fer maquetes de falles transformants com la de Sant Andreu, o de zones de subducció, representant la formació de l'Himalaia, dels Andes o de les illes del Japó. També se'n van fer de fenòmens intraplaca, com els volcans linials de Hawaii o la Vall de Rift africana. Es van incloure instruccions més detallades del que calia representar en cada cas i es va demanar que les maquetes fossin tridimensionals. Per altra banda, es va suggerir que seria interessant afegir-hi dinamisme per representar algun dels fenòmens.

Les maquetes es va anar elaborant de manera anual fins al curs 2016/17 amb instruccions similars, però a partir del curs 2011/12 es va demanar de manera obligatòria que tingués algun tipus de dinamisme i, a suggeriment de l'alumnat, es van anar incorporant nous materials i es van anar afegint més maneres d'explicar el que es representava.



Figura 11. Maqueta dinàmica d'una dorsal oceànica. Exemple 1.



Figura 12. Maqueta dinàmica d'una dorsal oceànica. Exemple 2.

Resultats

El curs 2009/10 totes les maquetes van ser estàtiques i la majoria tenien poc aspecte tridimensional. El curs 2010/11 totes les maquetes van ser tridimensionals i un dels grups va incloure dinamisme a la seva representació de la dorsal oceànica, afegint moviment a una falla transformant (Figures 11 i 12). Des del curs 2011/12 fins el 2016/17 totes les maquetes van ser tridimensionals i, com a mínim, amb un fenomen dinàmic (Figures 11 i 12).

Interpretació

Els models per interpretar el que es representa i s'observa a la maqueta són el model de tectònica de plaques, el cinètico-corporal i el de fenòmens físics.

Presentació de les maquetes

L'alumnat prepara una presentació de la maqueta per a la resta de la classe, indicant el fenomen que es representa, situant-lo geogràficament al món i explicant l'estructura i els processos del contacte o del fenomen intraplaca representat i com s'ha fet aquesta representació.

Activitats relacionades

L'activitat es combina amb d'altres, entre elles un treball d'experts en què cada alumne s'especialitza en una placa i els seus contactes,

personificacions en grup o un concurs sobre la tècnica de plaques, de manera que un tema que es sol treballar de manera teòrica adquireix un marcat tractament pràctic i participatiu.

CONCLUSIONS

Per ser bons professionals, cal que tinguem en ment que mai deixem d'aprendre i, en concret, d'aprendre a ensenyar Ciències (Sanmartí, 2003). Una manera de fer-nos conscients del que cal millorar en la nostra pràctica docent és implementar la metodologia de la Recerca Basada en el Disseny (RBD) de Seqüències d'Ensenyament-Aprenentatge (SEA). Aquesta línia de recerca té l'objectiu de generar coneixement sobre els processos associats a l'ensenyament i l'aprenentatge i pot ser una bona eina per avaluar la nostra intervenció (Guissola, Ametller i Zuza, 2020). És una metodologia iterativa de disseny, avaluació i re-disseny. Per tant, un cop implementades les activitats, cal avaluar-ne els resultats per trobar els aspectes que han presentat més dificultats per a l'alumnat i introduir canvis en el disseny, tant dels materials de treball com de la intervenció del professorat.

Prèviament, cal que siguem conscients de quines són les dificultats que comporta per a l'alumnat allò que treballarem, quines idees prèvies en tenen, i tenir-ho molt en compte en fer el disseny de la seqüència d'EA. Per conèixer aquestes idees podem utilitzar diferents estratègies, com poden ser dibuixos o preguntes sobre situacions contextualitzades. També podem buscar informació en recerques sobre aquestes idees, que sol ser molt útil, i utilitzar-la per crear les nostres activitats. D'aquesta manera no ens caldrà fer sempre activitats per conèixer les idees alternatives. Tanmateix, un cop acabades les activitats, hem de crear situacions que permetin veure si l'alumnat s'ha fet conscient de les seves idees inicials i de com aquestes han canviat.

En el cas de la Geologia, la metodologia de RBD pot ajudar a dissenyar activitats que permetin arribar al nivell de comprensió necessari per entendre com funciona la Terra i comprendre els nostres problemes ambientals locals i globals. Però dissenyar materials no és una tasca senzilla, i tant si fem servir activitats ja proposades o de disseny propi,

cal analitzar-les abans i després d'implementar-les, si pot ser amb altres membres del professorat, per tal d'anar-les modificant, adequant-les al nostre entorn i refinant-les per millorar la seva efectivitat.

Per fer dissenys de "ciència que s'aprèn" cal que els coneixements sobre didàctica es combinin amb els de les disciplines científiques (Adúriz-Bravo i Izquierdo-Aymerich, 2009). Les activitats han de ser pensades per tal que l'alumnat pugui involucrar-se en les pràctiques científiques, sempre tenint en compte que són científics i científiques escolars, i que l'activitat científica escolar (ACE) és anàloga, no igual, a l'activitat científica (Izquierdo, Sanmartí i Espinet, 1999). Així, en les activitats d'ensenyament-aprenentatge cal promoure una manera d'entendre les idees existents sobre el món natural que ens envolta, que permeti comprendre el cos existent de coneixement consensuat i ben establert, apropant l'alumnat a la manera científica de treballar, sense oblidar la seva edat, les seves capacitats i el seu entorn.

L'ús de maquetes i de simulacions de laboratori pot ser una bona estratègia per representar els fenòmens geològics, que pot facilitar el viatge de l'alumnat des del món observable fins al món de les idees, mitjançant la utilització de models de ciència escolar, que permeten interpretar el que es fa i s'observa. A partir de pràctiques inicials, dissenyades amb uns objectius concrets, es pot arribar a elaborar-ne altres versions, que ajudin a simular d'una manera molt més adequada el què passa a la natura i, també, a crear-ne de noves. Amb el diàleg alumnat-alumnat/alumnat-professorat es poden anar afegint aspectes que ajudin a superar les limitacions de les maquetes i de les simulacions de laboratori, de manera que el que es fa al laboratori es pugui relacionar millor amb els referents de la natura que s'estan estudiant.

BIBLIOGRAFIA

- Adúriz-Bravo, A. i Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*, 4(1), 40 - 49. Recuperat el 22 de febrer de 2021 de:

http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-66662009000100004&script=sci_arttext

Benarroch, A. (2000). Del modelo cinético-copular a los modelos atómicos. Reflexiones didácticas. *Alambique*, 23, 95-108.

Bravo, B. (2012). *El desempeño de las competencias científicas de uso de pruebas y modelización en un problema de gestión de recursos marinos* (Tesis doctoral). Universidad de Santiago de Compostela.

Couso, D. i Hinojosa, J. (2021, 17 de març) Model de fenòmens físics. Tresor de recursos. <https://tresorderecursos.com/idees-clau-3/>

Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 115–130. <https://doi.org/10.1007/s10763-004-3186-4>

Gilbert, S. W., i Ireton, S.W. (2003). *Understanding models in Earth and Space Science*. Arlington. VA: NSTA Press.

Guisasola, J., Ametller, J., i Zuza, K. (2021). Investigación basada en el diseño de secuencias de Enseñanza-aprendizaje: una línea de investigación emergente en Enseñanza de las Ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y divulgación de las Ciencias* 18(1), 1801. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1801

Hernández Arnedo, M.J. (2013). Investigando la Tierra y el Universo. Proyecto Curricular Investigando Nuestro Mundo (6-12). <https://inmweb.wordpress.com/libros/8-investigando-la-tierra-y-el-universo/>

Izquierdo, M., Sanmartí N., i Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las ciencias*, 17(1), 45- 59.

Márquez, C. i Sanmartí, N. (2021, 17 de març) Model de sistema geològic. Tresor de recursos. [https://tresorderecursos.com/idees-clau-del-](https://tresorderecursos.com/idees-clau-del-model-per-explicar-i-interpretar-els-sistemes-geologics/)

[model-per-explicar-i-interpretar-els-sistemes-geologics/](https://tresorderecursos.com/idees-clau-del-model-per-explicar-i-interpretar-els-sistemes-geologics/)

Nebot, MR. (2020). Modelización del relieve kárstico en el laboratorio. *Alambique*, 102, 38-46.

Tarbut, E.J., i Lutgens, F.K. (2005). *Ciencias de la Tierra: una aproximación a la Geología Física*. Madrid: Pearson Educación, S.A.

Oliva, J.M., Aragón, M.M., Mateo, J., i Bonat, M. (2001). Una propuesta didáctica basada en la investigación para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(3), 453-470.

Sanmartí, N. (2003). Aprender Ciències: connectar l'experiència, el pensament i la parla a través de models. Recuperat el 22 de febrer de 2021 de: <https://docplayer.es/63500278-Aprender-ciencias-connectar-l-experiencia-el-pensament-i-la-parla-a-traves-de-models-neus-sanmarti-universitat-autonoma-de-barcelona.html>

SUGGERIMENTS

Per començar a introduir-se en aquesta metodologia suggerim consultar:

- “Earth learning idea” (<https://www.earthlearningidea.com/>): activitats pràctiques de Geologia, amb comentaris per al professorat.
- “Labbat” <https://sites.google.com/xtec.cat/practiques-batxillerat/inici?authuser=0>): activitats pràctiques de Ciències de la Terra i de Biologia per Batxillerat, algunes de les quals es poden fer a diferents nivells de l'ESO. Als guions de les pràctiques hi ha indicacions i recomanacions per al professorat. Es tracta d'un web obert al qual s'hi poden afegir propostes.

NOTES

[1] Qui arriba abans? Estudi de la viscositat. Simulació del desplaçament de diferents tipus de lava. Labbat:

https://docs.google.com/document/d/1GIJiqYMFROyI9aIF_tCWeyd_1-xTlgHBK_2urvkNwes/edit