

# Com funciona una flama? Construcció i reconstrucció de models mentals davant d'una espelma

How does a flame work?

Construction and reconstruction of mental models in front of a candle

Joan Aliberas / Professor de física i química de secundària



## resum

Es descriu la dinàmica racional i emocional produïda en l'alumnat d'una classe d'ESO quan estudia experimentalment el funcionament de la flama d'una espelma. S'analitzen els diversos models mentals dels alumnes i com els reconstrueixen fins que resultin plenament satisfactoris. El procés mostra la importància d'un bon disseny de la seqüència didàctica i d'una conducció eficient del diàleg a la classe que tingui en compte les emocions associades als models mentals dels alumnes i promogui la seva evolució fins a assolir el consens entre els participants.

## paraules clau

Canvi químic, combustió, model mental, emoció, diàleg.

## abstract

The rational and emotional dynamics produced on the students of a Secondary School class when experimentally studying a candle's flame functioning are described. The various students' mental models and how are reconstructed until they result fully satisfactory are analysed. The process shows the importance of a good didactic sequence design and an efficient dialogue to conduct the class, considering the emotions associated with the students' mental models, and stimulating its evolution until reaching a consensus among all participants.

## keywords

Chemical change, combustion, mental model, emotion, dialogue.

## Com ajudem els alumnes a pensar sobre un fenomen?

En una unitat per a tercer d'ESO (fig. 1) proposem l'estudi del foc mitjançant una seqüència didàctica basada en els experiments realitzats públicament per Michael Faraday (1861). Forma part del projecte «Competències de pensament científic, Ciències 12-15» elaborat per la Universitat Autònoma de Barcelona i el Departament d'Educació de la Generalitat de Catalunya (2019), que consta de

nou unitats didàctiques i cobreix els continguts de ciències legalment previstos per als tres primers cursos d'ESO.

Sobre una base experimental volem ajudar els alumnes a comprendre la combustió d'una espelma tot construint models mentals personals de la flama, que percebin com a *satisfactoris* (Aliberas et al., 2017). Amb aquesta finalitat es posa en marxa una *activitat científica escolar* (Izquierdo et al. 1999) amb els alumnes, dissenyada sobre

la base del model ONEPSI (Gutiérrez, 2003) i utilitzant-hi el diàleg regulat amb la tècnica *teachback* per a conèixer les seves idees al respecte i fer-les evolucionar fins a aconseguir el consens amb el grup (Aliberas et al., 2019).

Fent servir aquesta base teòrica descriurem alguns dels mecanismes fonamentals que empenyen els alumnes a l'aprenentatge. Després ho utilitzarem per a analitzar l'evolució de les idees dels alumnes durant

l'estudi de la combustió de l'espelma, tal com sol desenvolupar-se a l'aula.

Disposar de representacions fiables de la realitat forma part de la nostra necessitat vital de connexió amb el món. Per a cada persona, els seus models mentals sobre un sistema físic estan associats a emocions que oscil·len entre *satisfacció* i *insatisfacció*. Aquestes emocions sorgeixen de l'autoavaluació dels models mentals dels alumnes des del seu propi punt de vista, equivocats o no, i no pas del científic, i proporcionen a l'alumne un potent mecanisme d'autoregulació. És important entendre que el criteri científic no pot realitzar aquesta funció perquè encara no és al seu abast.

### Dinàmica dels models mentals

L'alumne experimenta *insatisfacció* envers el seu model mental per algun d'aquests tres motius:

— És incapaç de muntar una cadena causal per a interpretar un fenomen. Llavors diem que *falta coherència* per a construir el model mental.

— Construeix el seu model mental i fa la seva predicció, però el sistema evoluciona de manera diferent de la prevista. Al model mental li *falta correspondència* amb la realitat.

— Pot elaborar un model mental però no li funciona en altres sistemes amb la mateixa descripció. Al model mental li *falta robustesa*.

Un cop detectada la insatisfacció amb el model mental propi, es genera una necessitat psicològica –tant racional com emocional– de resoldre-la tot reconstruint el seu model mental, un desig que constitueix una motivació intrínseca per a l'aprenentatge.

### Conducció d'un diàleg productiu

Per a dirigir la conversa sobre un sistema, el professor utilitza



Figura 1. Portada de la unitat 8, «Què es manté inalterat quan tot canvia? De l'espelma als aliments» (<https://formacio.cesire.cat/ciencias1215/>).

la tècnica *teachback*. Consisteix a detectar ambigüitats en les afirmacions dels alumnes i formular-los preguntes per a intentar aclarir-les. Això els empeny a fer explícits els seus raonaments, a avaluar els seus models mentals i potser a revisar-los i reconstruir-los fins a arribar finalment a una solució que tots els participants percebin com a satisfactòria, assolint un consens.

Les respostes, en tot cas, han de ser formulades pels mateixos alumnes després d'inferir-les del funcionament del seu model mental individual. Quan és el professor qui innecessàriament realitza aquestes inferències, està privant l'alumnat de poder experimentar aquesta satisfacció, i ell mateix perd l'oportunitat de comprovar si ja són capaços de fer-les correctament.

Al llarg de la seqüència didàctica sobre la combustió d'una espelma es busca que cada alumne experimenti aquests moments de satisfacció o d'insatisfacció amb el seu propi model mental, que són els que tenen conseqüències educatives. Els indicarem i numerarem al final

de cada episodi després d'haver-ne concretat el motiu.

### Seqüència didàctica: «Com funciona una espelma?»

#### Tothom sap com funciona una espelma!

Molts alumnes de tercer d'ESO creuen que el que realment es crema en una espelma és el seu ble (tothom veu que la flama surt del ble, i no pas de la parafina); que la parafina només serveix per a sostenir dret el ble i que la parafina no es crema, sinó que va regalimant a mida que es fon i per això la seva quantitat no varia. Una explicació científicament molt deficient, però que per a ells és empíricament claríssima. *Hi ha correspondència (1)*.

#### Què hi ha al costat del ble?

Per entendre el que passa dins la flama col·loquem un tubet de vidre amb un extrem gairebé tocant el ble. Veurem que el tub s'omple d'un fum blanc que acaba sortint per l'altre extrem (fig. 2) i que ningú no sap explicar. *Falta coherència (2)*.

Amb una mica de paciència fins i tot podrem aconseguir que s'encengui. I si retirem el tub i apaguem l'espelma, apareix de nou fum blanc (fig. 3). Casualtat? Seguim sense entendre el que succeeix. *Falta coherència (3)*.

Si acostem una flama a aquest fum, encara que sigui a alguns centímetres de distància del ble, amb una mica de traça aconseguirem que sorprenentment la flama viatgi pel fum fins al ble, que es torna a encendre. Va quedant prou clar que el ble de l'espelma encesa –o acabada d'apagar– és un emissor d'aquest misteriós fum blanc combustible. Pot ser que la flama sigui la combustió d'aquest fum blanc? No ens ho expliquem. *Falta coherència (4)*.



Figura 2. El tub s'omple de fum blanc.



Figura 3. El fum blanc és combustible. També apareix en apagar l'espelma.

### Però, què és aquest fum blanc?

En aquest punt el dossier de l'alumne mostra un nuvolet blanc al cel (fig. 4) i pregunta si té cap semblança amb el fum blanc que acabem d'obtenir. Ara el diàleg s'adreça a recordar com es formava el núvol, un procés que han estudiat a primer. Aniran recordant que el que veiem al cel no és vapor, sinó gotetes o petits cristalls d'aigua que es formen a partir del refredament del vapor d'aigua –invisible!– present a l'aire.

Per aplicar-ho al nostre cas, aparentment molt diferent, el primer problema és determinar quin material forma el núvol blanc. La comparació amb el núvol d'aigua contribueix a orientar els alumnes fins que conclouen que la calor de la flama evapora la parafina líquida i la converteix en gas, un gas que al llarg del tub es refreda i forma gotes líquides o partícules sòlides de parafina, que veiem en forma de fum blanc. Els vapors d'aigua i de parafina són sistemes que es comporten de manera semblant. *Hi ha robustesa* (5).



Figura 4. Sistema que es proposa per a aclarir la formació del fum blanc.

Però la parafina líquida està situada més avall que la flama. Com pot pujar per si sola pel ble sense cap bombament? *Falta coherència* (6).

### Com vols que pugui tota sola!

Hem tingut la previsió d'haver preparat dos vasos, l'un al costat de l'altre, amb un full de paper de cuina fent de pont entre els dos recipients (fig. 5). En un d'ells hi posem una bona quantitat d'aigua. Passat prou temps trobarem aigua en el vas que estava buit. Un altre misteri per aclarir. Però... això de què ve, ara?

Centrem-nos en les entitats presents i les seves propietats. Per què les molècules d'aigua (ja utilitzades a primer) puguen pel paper? Deuen ser més atretes per les molècules del paper que per les altres molècules d'aigua? El resultat de l'experiment amb els gots ens suggereix que s'atreuen més amb les del paper que amb les de l'aigua, amb les quals també s'atrauen força. Per aquest motiu van pujant espontàniament pel material porós arrosse-

gant altres molècules d'aigua. Un bon moment per a introduir el terme «capil·laritat». Tornant a l'espelma, aviat s'adonen que la parafina líquida ascendeix per capil·laritat pel ble porós de forma semblant a com ho fa l'aigua; els dos sistemes es comporten de manera semblant. *Hi ha robustesa* (7).

Demaneu que completin la seqüència del que ocorre a la parafina. Va quedant clar que la parafina sòlida es va fonent per la calor de la flama propera. Quan ja és líquida ascendeix per capil·laritat pel ble i, en la seva part més alta, ja dins de la flama, es vaporitza. Aquest és el vapor que hem apartat amb el tub i que en refredar-se forma el fum blanc. Un fum blanc que també es forma en apagar l'espelma perquè a la punta del ble encara hi ha una part de parafina líquida amb prou energia per a evaporar-se (i que en refredar-se es condensa per a formar també el núvol blanc). *Hi ha correspondència!* (8).

El núvol d'aigua i els dos gots amb el paper són dos sistemes utilitzats aquí com a models. Un model és un sistema que ens resulta útil per a respondre preguntes sobre un altre sistema (Minsky, 1986). Constitueix un potent recurs didàctic per a transferir la dinàmica d'un sistema a un altre amb entitats diferents.

### I aquesta «copa», per què no es fon?

Fixem-nos ara en la «copa» plena de parafina líquida situada



Figura 5. L'aigua passa espontàniament del vas de la dreta al de l'esquerra.



Figura 6. Diferències entre la «copa» d'una espelma normal i la d'una altra de molt més gruixuda.

a la part superior de l'espelma. Aparentment no té res de particular, conté parafina fosa per la proximitat de la flama. Podem aportar imatges (fig. 6) on es pugui comparar una espelma ordinària amb una altra de molt més gruixuda, on la copa faci uns 5 cm de diàmetre.

Si la flama és capaç de fondre la parafina a més de dos centímetres de distància, per què a les nostres «copes», més reduïdes, no se'ls fon la paret tenint la flama molt més a prop? És un sistema on no és aplicable el mecanisme establert per a un altre de semblant. *Falta robustesa* (9).

Per ajudar els alumnes a trobar quina causa evita la fusió de la vora de la copa en l'espelma prima, fixem la seva atenció en l'intens corrent de gasos calents que puja des de la flama. Podem comparar-ho amb un cas semblant estudiat a primer i que ens servirà de model: la formació d'una tempesta, amb un

corrent ascendent que crea una baixa pressió i que obliga l'aire de l'entorn a dirigir-se cap allà. Això ajuda els alumnes a construir una nova explicació: el corrent ascendent s'emporta gasos cap amunt, creant a la flama una zona de baixa pressió que provoca un flux d'aire fresc cap a ella. Aquest aire, constantment renovat, refreda prou la vora de la «copa» per impedir que es fongui, tot i que la flama sigui tan propera. *Hi ha robustesa!* (10).

Quan la flama s'inclina per un corrent persistent d'aire es pot acostar massa a la paret sòlida de la «copa» i fondre-la, provocant el vessament de la parafina i els regalims corresponents (fig. 7). Experimentalment comprovem que la predicció, efectivament, es compleix. *Hi ha correspondència* (11).

I ara, després d'aconseguir explicar diversos processos físics, abordarem el canvi químic. Ja hem vist que la parafina arriba a

la flama i hi desapareix. Però per a formar què?

### Què s'està formant?

Posem un vas envoltant la flama sense ofegar-la. Al cap d'uns moments el vas s'entela (fig. 8). Comprovem que s'hi està formant aigua, com als vidres de la classe els dies que fa fred.

Els nostres alumnes consideren que, com els dies de fred, el vapor ambiental es condensa sobre un objecte fred. El problema és que la condensació no ha aparegut abans, sinó només a prop d'una flama molt calenta. On hi hauria d'haver fred resulta que hi ha calor. *Falta correspondència* (12).

Centrem l'atenció sobre el fet que la condensació es produeix a la cara interna del vas, no a l'exterior. D'on pot haver sortit el vapor d'aigua? Sembla clar que només pot haver sortit de la flama i que, en acumular-se vapor d'aigua al costat d'un vidre



Figura 7. Una flama inclinada pot fondre la paret de la copa i provocar el vessament del líquid.



Figura 8. Al cap de poc el vas s'entela.



relativament fred, s'hi condensa. *Hi ha correspondència (13).*

Ara és normal preguntar-nos si la parafina contenia aigua. Malgrat les aparences, que al principi poden fer-los dubtar, la resposta dels alumnes s'inclinarà més aviat pel no, ja que es tracta d'un derivat del petroli. Així que no sabem d'on ha sortit. *Falta coherència (14).*

Buscarem un altre tipus d'interpretació. De què està formada l'aigua? Els alumnes, que ja han utilitzat moltes vegades la fórmula  $H_2O$ , ho tenen clar: d'hidrogen i oxigen..., encara que mai no s'hagin aturat a pensar què vol dir això exactament. Ara la pregunta és d'on ha sortit l'oxigen per a fabricar aquesta aigua. La resposta apareix amb rapidesa: de l'aire, ja que sense aire l'espelma s'apaga (ho podem comprovar deixant el mateix got de cap per avall sobre la taula amb l'espelma encesa en el seu interior). I d'on ha sortit l'hidrogen? Només pot haver sortit de la parafina. La parafina ha de contenir l'element hidrogen. Això ho fa quadrar tot i proporciona una base empírica al concepte «element químic». *Hi ha correspondència (15).*

### Què més s'està formant?

Si ara posem l'extrem del tub a la part central o superior de la flama, el fum que en surt no és blanc, sinó negre (fig. 9). Això no sembla seriós perquè sembla que les mateixes causes estan produint efectes diferents, i un model mental no pot conduir-nos a dos resultats incompatibles. *Falta robustesa! (16).*

Si toquem la flama amb un objecte fred, com unes tisores o una reixeta metàl·lica, també es produeix fum negre. A més a més, quan crema amb estabilitat no es produeix fum visible, però si hi ha turbulències també apareix aquest fum negre inexplicable. *Falta coherència (17).*

En tocar la part superior de la flama, un vidre gruixut o un plat s'ennegreixen. Els nostres alumnes afirmaran que el vidre s'ha cremat. *Hi ha correspondència (18).* Però ho descarten immediatament quan veuen que el color negre desapareix en passar el dit per la taca i veuen el vidre intacte (fig. 10). El nostre model mental actual no pot explicar la presència d'aquesta misteriosa substància negra. *Falta coherència (19).*

Amb el residu que ha quedat al dit es pot dibuixar, com si fos al carbonet; ho poden intentar. Coneixen els nostres alumnes algun material de color negre amb el qual es pot dibuixar al carbonet? Naturalment, el carbó. Els hem de fer recordar que també el van veure aparèixer en una unitat anterior en carbonitzar una fulla d'enciam. Es tracta d'una substància elemental ja coneguda: el carboni. Les peces van encaixant. *Hi ha robustesa (20).*

Sí, la flama conté carboni; però, d'on ha sortit? Aquí ja és més fàcil: la parafina ha de contenir l'element carboni, a més a més de l'hidrogen que abans hi hem descobert. *Hi ha correspondència (21).*

Podem informar-los que, efectivament, la parafina i altres derivats del petroli són un grup de substàncies anomenades «hidrocarburs» perquè estan compostes

únicament per aquests dos elements. Com en el cas de la capil·laritat, només introduïm un terme nou quan el concepte ja està construït, no abans.

### Què li passa al carboni?

El carboni que veiem com a fum negre es deu produir en una etapa de la combustió de la parafina en què, una vegada ja consumit l'hidrogen, el carboni restant encara no ha reaccionat amb l'oxigen. En aquell moment, quin és l'estat del carboni? Si busquem informació esbrinarem que el carboni no es fon, però se sublima a  $3.642\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Com que la nostra espelma no proporciona tanta temperatura (pot arribar a uns  $1.400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), el carboni ha d'estar en estat sòlid, i forma el fum negre. *Hi ha correspondència (22).*

No obstant això, la flama és prou calenta com perquè el carboni sòlid es posi incandescent per la calor produïda a mida que va reaccionant amb l'oxigen i va produint diòxid de carboni. Està incandescent de forma similar al que veiem en la combustió del carbó o del ferro (fig. 11), ja que totes dues substàncies cremem sense flama. Que estrany! Pot cremar alguna cosa sense flama? *Falta coherència (23).*

Arribem a la conclusió que en totes dues combustions no es produeix cap gas combustible (no



Figura 9. Amb el tub a la part alta de la flama o tocant-la amb un objecte fred apareix fum negre.

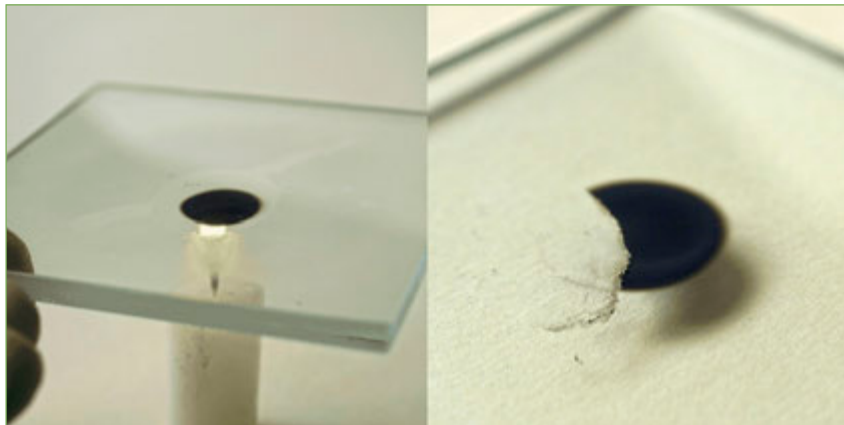


Figura 10. L'espelma deixa en el vidre un residu negre que es pot retirar fàcilment.

ho són ni el diòxid de carboni ni l'òxid de ferro) i és per aquest motiu que no hi ha flames, però sí incandescència a les parts més calentes. *Hi ha robustesa* (24).

La sorprenent presència de partícules negres a la flama també es pot comprovar il·luminant la flama lateralment en un ambient fosc. La part superior de la flama lluminosa de l'espelma efectivament projecta una ombra, però no ho fa la flama oxidant i poc lluminosa d'un Bunsen (fig. 12). *Hi ha robustesa* (25).

### Quina és la part més calenta de la flama?

Els nostres alumnes consideraran que la temperatura màxima deu ser al centre de la flama, ja que sembla la part més lluminosa i també la més allunyada de l'aire fred de l'exterior. *Hi ha coherència* (26).

Per posar a prova aquesta explicació, el professor sostindrà una petita cartolina una mica més amunt del ble i la hi deixarà immòbil durant uns segons (fig. 13), atent a retirar-la abans que s'encengui. La predicció de l'alumnat serà que es cremarà inicialment pel centre. Sorprenentment, però, el centre del cercle no es crema. *Falta correspondència* (27).

Per reconstruir el model mental podem fixar-nos millor en la disposició del sistema. Ens adonem que la flama s'ha eixamplat en acostar-hi la cartolina i que el seu nou diàmetre és semblant al de la part cremada. En les condicions de l'experiment, la part més calenta de la flama ha de ser la seva part exterior. Però no ho sabem explicar. *Falta coherència* (28).

Ja ha quedat clar que la calor es produeix en la reacció de la parafina

amb l'oxigen. Però, on reaccionen? En arribar aire a la flama –ara eixamplada– es troba amb la parafina vaporitzada que hi ha al seu interior. Només en trobar-se poden reaccionar i formar aigua i diòxid de carboni, alliberant calor en aquell lloc. Una calor suficient perquè allà cremi la cartolina, coincidint amb el que hem observat. *Hi ha correspondència* (29).

### Combustions més eficaces?

Ja que utilitzar una flama d'aquesta mena, molt lluminosa, al laboratori ennegriria els utensilis, s'han ideat flames més eficients. De moment, els alumnes no saben com fer-ho. *Falta coherència* (30).

En un bec Bunsen, la mescla de gas butà (un altre hidrocarbur) amb l'aire es produeix eficaçment al llarg del tub, permetent així la combustió del carboni de forma molt més ràpida, sense que tinguí temps de formar partícules sòlides ni que es posin incandescents (fig. 14). La prova és que la flama del bec Bunsen no és especialment lluminosa si crema correctament, ja que disposa de suficient oxigen per a reaccionar ràpid i sense arribar a formar carboni sòlid. És una flama oxidant per l'abundància d'oxigen. *Hi ha robustesa* (31).

En canvi, tapant l'entrada inferior d'aire en el tub, la flama es converteix en lluminosa a causa, de nou, del carboni incandescent. Ara és una flama reductora amb dèficit d'oxigen. El carboni que es pugui dipositar en els utensilis és el que no ha acabat de reaccionar amb l'oxigen; per aquest motiu no pot alliberar tot el seu potencial energètic. El mateix ocorre amb els vehicles que emeten fum negre. *Hi ha robustesa* (32).

### Combustions al cos humà?

El que s'ha après en aquesta seqüència connecta bé amb



Figura 11. El carbó i la llana de ferro, incandescents, cremen sense flama.



Figura 12. Una flama lluminosa fa ombra però, curiosament, una flama menys brillant no en fa.

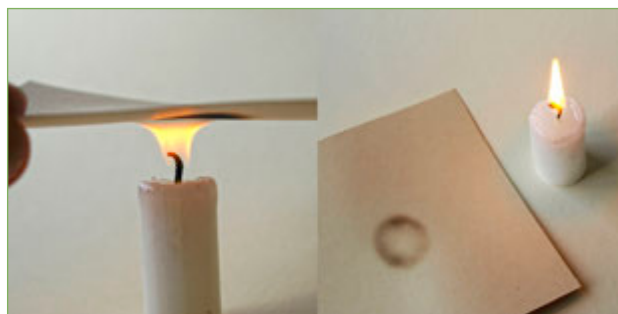


Figura 13. Es crema un anell a la cartolina, però no el seu centre.



Figura 14. Un bec Bunsen amb flama oxidant (esquerra) i un altre amb flama reductora.

l'experiment, fet a segon curs, de cremar un fruit sec i escalfar aigua amb la calor produïda per mesurar el seu important contingut energètic. La combustió dels aliments es desenvolupa en el cos humà a una temperatura molt menor i sense flama, però alliberant la mateixa energia. Però no de cop, sinó per processos molt més graduals que resulten més eficients. *Hi ha robustesa* (33).

Tots aquests resultats seran fonamentals per a comprendre el funcionament del cos humà en l'última unitat del tercer curs, que tanca el projecte.

### Què hem après?

És important que s'adonin que ara poden considerar insatisfactòries les seves concepcions inicials, posades en dubte al llarg de tot el procés, i superar-les amb altres explicacions més ben fonamentades i satisfactòries. Tal com se sol desenvolupar a classe, aquesta

seqüència constitueix un exigent exercici de la *competència científica* (Izquierdo et al. 2016), ja que ha suposat resoldre satisfactòriament un mínim de deu problemes (fig. 15) sorgits a partir de l'estudi de la combustió de l'espelma.

Una vegada arribats al final de la indagació, amb models mentals plenament satisfactoris –i compatibles amb la ciència escolar– és el moment de descriure'ls formalment per escrit. A més a més d'explicar tots els processos, l'escrit inclourà també la representació simbòlica de la reacció amb els seus reactius i productes, utilitzant la paraula *parafina* en comptes de la seva fórmula (inexistent, ja que es tracta d'una mescla d'hidrocarburs).

Cal notar que hem pogut realitzar una investigació química escolar, didàcticament molt productiva, sense necessitat de conèixer la suposada fórmula de la parafina ni haver d'escriure cap

reacció ajustada. El llenguatge químic és tan potent que de vegades eclipsa el seu significat químic i llavors no ajuda gaire a aprendre química.

Tal com hem mostrat amb aquest exemple, en el nostre projecte les seqüències didàctiques s'han pensat per a facilitar a l'alumnat la realització de totes aquestes operacions racionals i emocionals. Dues dimensions que es combinen per a generar a l'aula dinàmiques potents de participació i d'aprenentatge.

### Referències

- ALIBERAS, J.; GUTIÉRREZ, R.; IZQUIERDO, M. (2017). «Introducción a un método para la conducción y análisis de diálogos didácticos basado en la evaluación de modelos mentales». *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 35, núm. 2, p. 7-28. També disponible en línia a: <<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2028>>.
- (2019). «Identifying changes in a student's mental models and stimulating intrinsic motivation for learning during a dialogue regulated by the teachback technique: a case study». *Research in Science Education* [en línia]. <<https://doi.org/10.1007/s11165-018-9810-z>>
- FARADAY, M. [1861] (2004). *La historia química de una vela*. Madrid: Nivola Libros y Ediciones.
- GUTIÉRREZ, R. (2003). «Conversation theory and self-learning». A: PSILLOS, D. et al. (ed.). *Science*



com funciona una espelma?	COH	1	
què és aquest fum blanc?	COH	2	1
	COH	3	
	COH	4	
	ROB	5	
la parafina puja?	COH	6	2
	ROB	7	
	COR	8	
per què la «copa» no es fon?	ROB	9	3
	ROB	10	
	COR	11	
per què condensa aigua?	COR	12	4
	COR	13	
la parafina contenia aigua?	COH	14	5
	COR	15	
per què ara surt fum negre?	ROB	16	6
	COH	17	
s'ha cremat el vidre?	COR	18	7
	COH	19	
	ROB	20	
d'on ha sortit el carboni?	COR	21	6
	COR	22	
pot cremar alguna cosa sense flama?	COH	23	8
	ROB	24	
per què la flama fa ombra?	ROB	25	
quina és la part més calenta?	COH	26	9
	COR	27	
	COH	28	
	COR	29	
com fer una flama que no ennegreixi?	COH	30	10
	ROB	31	
	ROB	32	
hi ha combustions al cos humà?	ROB	33	

Figura 15. Els deu problemes plantejats al llarg de la seqüència presentada. Cadascuna de les 33 avaluacions del model mental (numerades com en el text) es representa per les tres lletres inicials de la propietat avaluada (COH: coherència; COR: correspondència; ROB: robustesa), i en color verd o vermell segons que el resultat hagi estat satisfactori o no. La darrera columna numera les situacions que han resultat problemàtiques. Com es pot veure, totes han acabat resoltes satisfactòriament. La primera i la darrera preguntes no han generat problemes a l'alumne.

research in the knowledge-based society. Kluwer Academic Publishers, p. 43-49.

IZQUIERDO, M.; CAAMAÑO, A; SARRAMONA, J. (2016). *Competències bàsiques de l'àmbit científicotecnològic* [en línia]. Generalitat de Catalunya, Departament d'Ensenyament. <<http://ensenyament.gencat.cat/web/.content/home/departament/publicacions/colleccions/competencies-basiques/eso/ambit-cientificotecnologic.pdf>>

IZQUIERDO, M.; ESPINET, M.; GARCIA, M. P.; PUJOL, R. M.; SANMARTÍ, N. (1999). «Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar». *Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra: «Aportación de un modelo cognitivo de ciencia a la enseñanza de las ciencias», p. 79-91.

MINSKY, M. (1986). *La sociedad de la mente*. Buenos Aires: Galápagos.

UAB-DEGC (2019). *Projecte «Competències de Pensament Científic, Ciències 12-15»* [en línia]. <<https://formacio.cesire.cat/ciencias1215/>>



#### Joan Aliberas

És llicenciat en ciències químiques i doctor en didàctica de les ciències. Professor de física i química de secundària. Membre del grup de recerca LIEC (Llenguatge i Ensenyament de les Ciències) de la UAB. Ha col·laborat amb el Departament de Didàctica de les Ciències de la UAB en la formació del professorat i en recerques didàctiques sobre l'elaboració d'activitats i seqüències didàctiques.

A/e: [jalibera@xtec.cat](mailto:jalibera@xtec.cat)