

Modelització macroscòpica dels canvis físics i químics. Un diàleg constant entre observació, interpretació, experimentació i argumentació

Macroscopic modelling of physical and chemical changes at the compulsory secondary education. A constant dialog between observation, interpretation, experiments and arguments

Aureli Caamaño i Josep Corominas / Centre Didàctic de Ciències Experimentals, Col·legi de Llicenciats de Catalunya, Barcelona



resum

En aquest article es presenta una seqüència d'activitats que tenen com a objectiu aprendre a diferenciar els canvis físics dels canvis químics i a identificar les substàncies que reaccionen i es formen en les reaccions químiques. Els canvis que s'investiguen se seqüencien atenent als canvis que tenen lloc quan no es fa cap acció externa, als que es produeixen quan escalfem les substàncies o hi fem passar un corrent elèctric i, finalment, als que tenen lloc quan posem en contacte dues substàncies. Cada activitat es porta a terme a través d'un procés d'indagació i modelització macroscòpica en set etapes.

paraules clau

Canvis físics i químics, reacció química, modelització, indagació.

abstract

In this article we present a sequence of activities that have the objective of learning to differentiate physical changes from chemical changes and to identify the substances that react and are formed in chemical reactions. It is also intended to observe a series of characteristics of chemical reactions and to initiate a process of classification. The changes that are investigated are sequenced on the base of the changes that are carried out without any external action, those which are produced when substances are heated or an electrical current pass through them and, lastly, when we put in contact two substances. Each activity is carried out through a process of investigation and modelling in seven stages.

keywords

Physical and chemical changes, chemical reaction, modeling, inquiry.

Indagar una diversitat de canvis físics i químics

En el segon curs de l'educació secundària obligatòria, de forma molt simple, i a tercer curs, amb més profunditat, s'introdueixen els conceptes de *substància* i de *canvi*

físic i químic de les substàncies. La modelització dels canvis físics i químics es fa després de l'elaboració del concepte de *substància*, un requisit conceptual previ per a poder comprendre aquests conceptes (Raviolo et al., 2011; Johnson,

2014; Caamaño & Marchán, 2021; Talanquer, 2020). Paral·lelament a la modelització del canvi químic s'elaboren els conceptes macroscòpics de *substància elemental*, *element* i *compost químic* (Caamaño et al., 2019).

La seqüència didàctica que presentem està dissenyada per a ser utilitzada en el tercer curs de l'educació secundària obligatòria (estudiants de 14-15 anys). Les activitats han estat experimentades amb estudiants d'aquestes edats i també en tallers d'indagació sobre les reaccions químiques portats a terme en diverses jornades d'ensenyament de les ciències per a professorat d'educació primària, organitzades pel Col·legi de Llicenciats i la Fundació "la Caixa".

La seqüència d'activitats té com a objectius:

1. Diferenciar els canvis químics dels canvis físics de les substàncies.
2. Fer una interpretació macroscòpica dels canvis químics, tractant d'identificar les substàncies que reaccionen i les que es formen, mitjançant un procés indagatiu que implica fer hipòtesis, deduir-ne prediccions i contrastar-les experimentalment, alhora que s'argumenta sobre la base dels principis de conservació de la massa i la conservació dels elements en els canvis químics.
3. Iniciar una classificació de les reaccions químiques utilitzant com a criteri el seguiment dels elements constitutius de les substàncies elementals o dels compostos que hi intervenen. D'aquesta manera podem començar a parlar de reaccions de formació o de descomposició d'un compost, de reaccions de desplaçament d'un element per un altre, etc. Però també es comencen a anomenar algunes reaccions des del punt de vista de les substàncies que hi intervenen: reaccions d'oxidació, entenent el concepte d'oxidació com a combinació amb l'oxigen; reaccions àcid-base, les que tenen lloc entre substàncies que han estat caracteritzades prèviament com a àcids i bases d'acord

amb les seves propietats; reaccions de precipitació, quan un dels productes precipita de la solució.

4. Observar una sèrie de característiques dels canvis físics o químics: reversibles o irreversibles, espontanis o forçats, exotèrmics o endotèrmics, ràpids o lents. Els canvis físics en una substància (per exemple, canvis d'estat, dissolució en aigua) es caracteritzen pel fet que no canvia la naturalesa de la substància. Per aquesta raó, són canvis fàcilment reversibles.

La identificació de les substàncies que reaccionen o que es formen no sempre és fàcil: les substàncies gasoses que reaccionen o es formen generalment no són perceptibles (no tenen color ni olor); els canvis d'aspecte o de color associats a la transformació d'una substància en una altra els estudiants tendeixen a interpretar-los com un canvi de les propietats de la mateixa substància i no com una transformació d'una substància en una altra de diferent; si les reaccions tenen lloc en solució aquosa i es formen productes solubles no acolorits, aquests tampoc són perceptibles.

Pel que fa a les característiques de les reaccions, cal tenir en compte que el terme *espontani* pot causar dificultats de comprensió, perquè indueix a pensar que un procés té lloc espontàniament (sense fer cap acció sobre ell), quan el que vol dir és que la reacció és possible des del punt de vista termodinàmic, però només observarem que la reacció té lloc si la seva velocitat és suficientment alta.

La sèrie de canvis físics i químics (fig. 1) que es presenten en la seqüència didàctica han estat seqüenciats de la manera següent:

1. Canvis que es produeixen en una substància sense cap acció per part nostra, però que en alguns casos requereixen la presència d'aire.

2. Canvis que es produeixen com a conseqüència d'escalfar una substància o de fer passar un corrent elèctric a través seu.

3. Canvis que es produeixen en posar en contacte dues substàncies, una substància i una solució d'una altra substància o dues solucions de substàncies diferents.

El fet d'abordar inicialment els canvis 2 i 3 en funció de les accions que fem es justifica perquè ens permeten observar què cal fer perquè tinguin lloc. Els estudiants tendeixen a considerar que aquesta acció és la causa de la reacció, però a poc a poc anirem desbrossant i diferenciant els diferents efectes que produeixen aquestes accions.

Els canvis físics o químics concrets de la seqüència s'han seleccionat tenint en compte que hi intervinguin sempre que sigui possible substàncies de la vida quotidiana i que siguin factibles de portar a terme amb el material i els productes que es poden trobar en qualsevol laboratori d'un centre de secundària.

La modelització macroscòpica dels canvis físics i químics que s'indaguen s'ha de continuar amb una modelització submicroscòpica: en els canvis físics utilitzant el concepte de partícula submicroscòpica i en els canvis químics utilitzant els conceptes d'àtom, molècula i ió. Aquesta segona etapa del procés de modelització és abordada en altres articles d'aquest monogràfic, però no és objecte d'aquest article. Altres propostes d'indagació i modelització del canvi químic s'han fet recentment en una línia similar (Dávila *et al.*, 2017; Corominas, 2017; Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2019; Pinto & Prolongo, 2020; Izquierdo *et al.*, 2021).

Fases del procés d'indagació

La fig. 2 mostra les fases del procés d'indagació que se segueix

per a interpretar cada canvi. En cada una de les fases es produeix una interacció dialògica entre el professor o la professora i els estudiants.

1. Descripció de l'acció. Es presenta l'acció que realitzarem sobre una o més substàncies mostrant la substància o substàncies i explicant l'acció que farem sobre elles.

2. Predicció del canvi que es creu que es produirà. Es pregunta als estudiants què creuen que passarà. Aquesta és una activitat exploratòria. Els estudiants responen en funció de les seves idees i experiències prèvies. El que diuen pot ser una descripció d'algun canvi que esperen que tingui lloc o bé una primera interpretació.

3. Realització o visualització de l'experiència. Es realitza l'experiència; algunes les realitza el professor o professora, d'altres, els estudiants. En aquelles experiències que tothom ja ha experimentat (evaporació de l'aigua, dissolució de la sal comuna en aigua, oxidació de la superfície d'una poma tallada en contacte amb l'aire, etc.), l'experiència es pot visualitzar mitjançant una diapositiva que mostra la substància o substàncies abans i després del canvi.

4. Descripció dels canvis observats. Es demana als estudiants que descriguin els canvis observats: canvis de color, augment o disminució de la temperatura,

emissió de llum, efervescència o bombolleig d'un gas a través d'una solució, precipitació d'una substància sòlida d'una solució, la rapidesa o lentitud del canvi, etc.

5. Interpretació del procés que ha tingut lloc: primeres hipòtesis. Es pregunta pel tipus de canvi (físic o químic) que creuen que s'ha produït. Hi ha evidències que s'han produït substàncies noves?; si és així, quines substàncies es creu que han reaccionat i quines s'han produït? Les hipòtesis fetes permeten fer prediccions que es poden contrastar mitjançant proves experimentals.

6. Contrastació experimental de les hipòtesis i prediccions, i argumentació. Es realitzen les proves experimentals i s'avalua si els resultats confirmen o no les hipòtesis (argumentació). Si en el procés d'argumentació es proposen noves hipòtesis, es fan noves experiències per a contrastar-les.

7. Interpretació final i representació del canvi. La interpretació final del canvi es fa a partir de l'avaluació de les proves experimentals realitzades i de l'argumentació que s'ha portat a terme. S'introdueixen nous termes per a designar les substàncies obtingudes i el tipus de reacció que ha tingut lloc. Aquest canvi, conceptualitzat ja com a reacció química, es representa mitjançant una equació química amb paraules, ja que de moment només es pretén una modelització macroscòpica.

Seqüència d'activitats d'indagació

El quadre 1 mostra la seqüència d'activitats d'indagació de canvis físics i químics que es proposa realitzar. Aquest conjunt d'activitats pretén establir un patró de comportament de les substàncies quan les escalfem, quan fem passar un corrent elèctric a través seu o quan posem dues substàncies en contacte; fer una primera modelització macroscòpica dels canvis físics i químics, i plantejar una primera classificació de les reaccions químiques.

En la descripció que fem de les accions que portem a terme sobre les substàncies i en la identificació de les substàncies que han reaccionat fem ús d'una sèrie de termes de tipus genèric (substància elemental, metall, no metall, compost, àcid) o de caràcter específic de substàncies o materials concrets (ferro, coure, magnesi, àcid clorhídric, hidrogen, oxigen, parafina, carbonat de coure, sulfat de coure, etc.).

La indagació i interpretació dels canvis físics i químics de la seqüència permet classificar-los com a canvis físics (A1, A2, A4, A13, A15) o com a canvis químics (la resta). Aquests últims es poden interpretar com a reaccions de formació (A5, A6, A7, A8, A9), reaccions de descomposició tèrmica (A10, A11), reaccions de descomposició electrolítica (A14), reaccions de descomposició



Figura 1. Alguns dels canvis físics i químics que s'investiguen en la seqüència.



Figura 2. Fases del procés seguit en la indagació i modelització dels canvis físics i químics.

Indagació de canvis físics i químics**Canvis en una substància sense fer-hi cap acció**

- A1. Deixem aigua en un recipient obert
 A2. Deixem un glaçó de gel a temperatura ambient
 A3. Deixem llana d'acer en contacte amb aire humit (aquesta activitat es pot enllaçar amb l'A5)

Canvis en una substància quan l'escalfem**Escalfem aigua**

- A4. Escalfem aigua fins als 100 °C a pressió atmosfèrica normal

Escalfem un metall

- A5. Escalfem llana d'acer
 A6. Escalfem una làmina de coure
 A7. Escalfem una cinta de magnesi

Escalfem un no metall

- A8. Encenem carbó vegetal
 A9. Encenem sofre

Escalfem un compost

- A10. Escalfem sucre
 A11. Escalfem carbonat de coure
 A12. Encenem la parafina d'una espelma

Canvis en una substància quan fem passar un corrent elèctric a través seu

- A13. Fem passar un corrent elèctric per un metall
 A14. Fem passar un corrent elèctric per aigua acidulada

Canvis quan posem dues substàncies en contacte**Afegim aigua a una substància o una substància a l'aigua**

- A15. Afegim sal comuna a l'aigua i agitem
 A16. Afegim unes gotes d'aigua al sulfat de coure anhidre / Afegim sulfat de coure anhidre a l'aigua i agitem
 A17. Fem bombollear diòxid de carboni per aigua

Posem en contacte una substància amb una altra que accelera la reacció sense consumir-se

- A18. Posem en contacte aigua oxigenada i un tros de fetge

Posem en contacte un metall amb un àcid

- A19. Afegim magnesi a una solució diluïda d'àcid clorhídric

Posem en contacte un antiàcid amb un àcid

- A20. Afegim una pastilla d'antiàcid a un àcid

Posem en contacte un carbonat (o un bicarbonat) amb un àcid

- A21. Afegim carbonat de calci a una solució diluïda d'àcid clorhídric
 A22. Afegim bicarbonat de sodi a un àcid (suc de llimona, vinagre)

Posem en contacte un metall amb la solució d'una sal

- A23. Introduïm una làmina de zinc en una solució de sulfat de coure

Posem en contacte dues sals o les seves solucions

- A24. Mesclm nitrat de plom(s) i iodur de potassi(s) / Mesclm una solució de nitrat de plom i una solució de iodur de potassi

Quadre 1. Seqüència didàctica d'indagació de canvis físics i químics.

catalitzada (A18), reaccions de desplaçament d'un element per un altre (A19, A23) o reaccions de doble desplaçament (A24); però també com a reaccions d'oxidació (A3, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A12), reaccions àcid-base (A20, A21, A22) i reaccions de precipitació (A24).

La progressió de la modelització de les reaccions d'oxidació, de les reaccions àcid-base i de les reaccions de precipitació requereix utilitzar seqüències didàctiques específiques que es poden iniciar en aquest curs o en el 4t curs de l'ESO, i que prossegueixen

fins a segon de batxillerat (Caamaño & Marchán, 2021). La modelització de les reaccions àcid-base s'inicia amb la indagació de les propietats dels àcids i les bases (Caamaño, 2021); el concepte de reaccions d'oxidació-reducció, que parteix de les

reaccions d'una substància amb l'oxigen, s'amplia per a acabar incloent-hi reaccions que involucren compostos i substàncies elementals, com les reaccions de formació i descomposició (Talanquer, 2020) i reaccions de desplaçament, com les reaccions dels àcids amb metalls no nobles i les reaccions d'un metall amb la solució d'una sal d'un element metàl·lic diferent.

La seqüència de canvis que s'indaguen també permet fer una consideració sobre la seva espontaneïtat (viabilitat) i les condicions en què aquesta espontaneïtat es produeix. Els canvis soferts per la llana d'acer o una poma en presència d'aire són un exemple de *canvis químics espontanis*, que es poden accelerar augmentant la temperatura. En aquest punt és convenient advertir als estudiants que hi ha *reaccions espontànies* que són molt lentes a temperatura ambient, com per exemple l'oxidació del ferro o del coure, però que l'augment de la temperatura n'augmenta la seva velocitat. En altres casos ho aconseguim afegint-hi un catalitzador, com en el cas de la descomposició de l'aigua oxigenada. D'altra banda, hi ha *reaccions que no són espontànies a temperatura ambient*, però que passen a ser-ho a més alta temperatura, com per exemple la descomposició del sucre o del carbonat de coure (*reaccions espontànies a alta temperatura*). Distingir aquests dos tipus de reaccions, que es produeixen en augmentar la temperatura però per raons diferents, no és fàcil ni tampoc es pretén abordar-ho en aquest nivell. Finalment, hi ha *reaccions que no són espontànies a temperatura ambient*, però que podem aconseguir que tinguin lloc forçant-les mitjançant el pas d'un corrent elèctric. D'aquestes reaccions en diem *reaccions forçades*.

Descripció del procés d'indagació d'algunes reaccions

Per mostrar el procés d'indagació hem seleccionat dos canvis químics, la reacció de la llana d'acer amb l'oxigen de l'aire i la combustió d'una espelma. En cada activitat es tracta d'interpretar el canvi químic que s'observa, cercant d'identificar les substàncies que hi intervenen. Es fan hipòtesis que condueixen a prediccions o inferències basades en la conservació de la massa i dels elements químics en les reaccions químiques.

Deixem llana d'acer en contacte amb aire humit

1. *Descripció de l'acció.* Deixem una mostra de llana d'acer en contacte amb aire humit durant alguns dies.
2. *Predicció del canvi.* Els estudiants tenen experiència d'observar que els objectes de ferro s'oxiden amb el temps, sobretot si es troben en un ambient humit. És probable que diguin que es rovellarà o que s'oxidarà.
3. *Realització de l'experiència.* La reacció és molt lenta. Es requereix com a mínim una setmana per a poder observar canvis. Per guanyar temps es pot mostrar una fotografia de la llana d'acer oxidada i passar a l'etapa d'interpretació.
4. *Descripció de les observacions.* S'observa que apareix una coloració marronosa en els fils d'acer.
5. *Interpretació: primeres hipòtesis.* Els alumnes tendeixen a pensar que el ferro ha canviat la seva coloració, i no que s'ha transformat en una altra substància. Es pot suposar que el ferro de la superfície ha reaccionat amb l'oxigen de l'aire i que, per tant, la substància de color marronós és òxid de ferro.
6. *Prediccions i contrastació experimental*

Si és certa la darrera hipòtesi, la mostra final haurà de pesar més. Els estudiants poden pensar que,

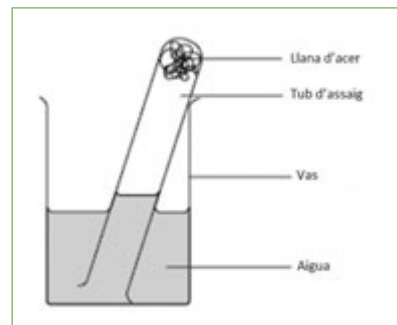


Figura 3. Experiment per a comprovar la hipòtesi que la reacció que sofreix la llana d'acer consumeix oxigen de l'aire. De fet, només comprovem que es consumeix una part o un component de l'aire, aquell que mostra reactivitat amb l'acer.

com que el rovell té un aspecte porós i sembla menys dens, el fregall pesarà menys. Per contrastar aquesta hipòtesi sense haver d'esperar molt temps, es pot fer que la reacció sigui més ràpida escalfant el fregall amb una flama (activitat A6).

També podem pensar alguna manera de visualitzar que una part de l'aire que envolta la mostra de llana d'acer desapareix quan aquest es rovellarà. Per exemple, podem muntar un dispositiu com el de la fig. 3 per indagar si durant la reacció es consumeix una part de l'aire (l'oxigen que reacciona amb la llana d'acer). Com que la reacció és lenta, cal deixar que la reacció tingui lloc al llarg d'una setmana. Si es consumeix l'oxigen, disminuirà la pressió a l'interior del tub i el nivell d'aigua dins del tub pujarà fins que la pressió interna i l'externa s'igualin. De la mesura de l'augment relatiu del nivell de l'aigua en el tub es pot deduir la proporció de l'oxigen a l'aire, sempre que s'hagi consumit tot l'oxigen.

Escalfem llana de ferro

1. *Descripció de l'acció.* Apropem una flama a un fregall d'acer (fig. 4) o bé el posem en contacte amb uns cables elèctrics connectats a una pila (fig. 5).



Figura 4. El fregall de llana d'acer pesa més després de cremar-lo.



Figura 5. Una altra manera de cremar la llana d'acer i de comprovar que pesa més després de cremar-se.



Figura 6. Espelma cremant.

4. *Descripció de les observacions.* Observem que alguns filaments de la superfície del fregall es posen incandescents i quan es refreden presenten una coloració marronosa i alguns es trenquen i cauen al fons del recipient.

5. *Interpretació: primeres hipòtesis i prediccions.* Es pot

suposar que el ferro dels filaments ha reaccionat amb l'oxigen de l'aire i, per tant, que ara pesarà més. *Hipòtesi alternativa:* la incandescència dels filaments pot fer pensar als estudiants que part del ferro s'ha volatilitzat i que el fregall ara pesarà menys.

6. *Contrastació experimental.* Per indagar si el fregall després d'encendre'l pesa més o menys es pot realitzar la seva combustió en el platet d'una balança (fig. 4). Observem que el fregall pesa més després de cremar-lo. L'augment de massa ens confirma la hipòtesi que el ferro es combina amb l'oxigen de l'aire.

7. *Interpretació final i representació.* La substància que resulta de la combinació del ferro amb l'oxigen la denominem òxid de ferro. El procés que ha tingut lloc el podem representar mitjançant l'equació: $\text{ferro(s)} + \text{oxigen(g)} \rightarrow \text{òxid de ferro(s)}$

Diem que l'oxigen ha oxidat el ferro (l'ha transformat en òxid de ferro) i considerem que la reacció és una *reacció d'oxidació (del ferro)*. Com que la reacció condueix a la formació d'un compost, l'òxid de ferro, a partir de les substàncies elementals, ferro i oxigen, que proporcionen els dos elements que formen l'òxid de ferro, també podem dir que aquesta és un

reacció de formació o de *síntesi* de l'òxid de ferro.

Encenem una espelma

1. *Descripció de l'acció.* Encenem el ble d'una espelma de parafina. L'espelma està subjectada per la base sobre un plat mitjançant una mica de parafina prèviament fosa.

2. *Predicció del canvi.* L'espelma cremarà produint una flama que proporciona llum i calor.

3. *Realització de l'experiència* (fig. 6).

4. *Descripció de les observacions.* A la part superior de l'espelma hi ha parafina fosa. Per sobre del ble es produeix una flama que proporciona llum i calor. La substància de què està feta l'espelma (parafina) es va consumint.

5. *Interpretació: primeres hipòtesis.* Si partim del coneixement que una flama es produeix per la combustió d'una substància en estat gasós, podem suposar que la flama que observem és conseqüència de la combustió de la parafina volatilitzada, és a dir, de la seva reacció amb l'oxigen de l'aire. Com que aquesta reacció és exotèrmica, la calor despresa fon noves porcions de parafina propera al ble i la volatilitzada; també manté la temperatura necessària perquè la reacció tingui lloc a una velocitat suficientment alta.

6. *Contrastació experimental de les hipòtesis.* Per provar que l'oxigen de l'aire participa en la reacció es pot tapar l'espelma encesa mitjançant un vas. Si la hipòtesi és certa, l'espelma s'hauria d'apagar quan s'acabés l'oxigen de dins del vas o bé quan la seva concentració fos tan petita que no fos suficient per a mantenir la reacció a la velocitat que cal per a conservar la temperatura necessària perquè tingui lloc. Efectivament, l'espelma s'apaga al cap d'uns segons.

Noves observacions i noves hipòtesis

S'observa que a les parets interiors del vas s'han condensat unes gotes d'un líquid que probablement sigui aigua. D'on prové aquesta aigua? Si prové de la reacció, això implica que hem identificat un dels productes de la reacció. De moment podríem representar la reacció de la manera següent:

parafina + oxigen (de l'aire) → aigua(g) + ...

Sabem que l'aigua és un compost format per hidrogen i oxigen; per tant, l'hidrogen ha de formar part de la composició química de la parafina. L'oxigen de l'aigua podem considerar que prové de l'aire. Però ha d'haver-hi un altre element constitutiu de la parafina, a més de l'hidrogen. Una observació que ens pot donar una pista és que les espelmes deixen anar fum negre quan hi ha un corrent d'aire, quan es posen en contacte amb una superfície freda o quan impedim que hi arribi l'oxigen col·locant un objecte per sobre de la flama.

Si introduïm un vidre al mig de la flama o per sobre de la flama observarem que queda ennegrit per la formació de sutge. El sutge està constituït bàsicament per partícules de carboni. Per tant, l'altre element constitutiu de la parafina ha de

ser el carboni. Aquestes partícules de carboni deuen haver-se format per descomposició tèrmica de la parafina. En la part de la flama on la temperatura és més alta, es cremen; on és més baixa, no, o bé on no arriba suficient quantitat d'oxigen (combustió incompleta). La seva incandescència confereix un color groc-vermellós a la flama.

L'oxidació del carboni de la parafina ha de donar lloc a un òxid de carboni. Quin òxid pot ser? El més probable és que sigui diòxid de carboni. Algunes de les propietats característiques d'aquest gas és que és més dens que l'aire, que no manté la combustió i que dona lloc a una solució àcida quan es dissol en aigua. Per comprovar que es desprèn diòxid de carboni en la reacció, podem introduir aigua a la part de sota del plat amb unes gotes d'indicador àcid-base, repetir l'experiència i comprovar si l'aigua es torna lleugerament àcida. Si és així seria una prova que l'altre gas que es produeix és diòxid de carboni. Efectivament, podem comprovar que és així.

Una experiència freqüentment mal interpretada

Una experiència molt habitual per comprovar que una part de l'oxigen de l'aire es consumeix quan crema l'espelma consisteix a col·locar l'espelma en una cubeta amb aigua, encendre-la i tapar-la amb un vas cilíndric alt, amb la idea que, si la reacció consumeix oxigen, el nivell d'aigua en el vas pujarà, com passava amb l'experiència de l'oxidació del ferro (fig. 3). Si ho provem, observem que efectivament el nivell d'aigua puja (fig. 7), però ho fa fonamentalment quan l'espelma s'apaga, i no progressivament mentre l'espelma crema. Per tant, d'aquesta experiència no en podem concloure que l'oxigen



Figura 7. Pujada del nivell de l'aigua quan l'espelma comença a apagar-se.

es consumeix, ja que si fos així la pujada del nivell de l'aigua seria progressiva.

La raó de la brusca pujada final del nivell de l'aigua és la disminució de pressió que es produeix com a conseqüència de la disminució de la temperatura quan s'apaga l'espelma. D'altra banda, hem de tenir en compte que durant la reacció es consumeix l'oxigen, però també es produeixen dos gasos: vapor d'aigua (que es condensa) i diòxid de carboni (que es dissol parcialment). Per tant, la variació del volum dels gasos dins del vas durant la reacció també depèn de les quantitats relatives d'oxigen que desapareix i del diòxid de carboni que es produeix i que encara no s'ha dissolt o que resta en fase gasosa a causa de la saturació de l'aigua. La proporció entre el volum d'oxigen que desapareix i el de diòxid de carboni que es produeix depèn de l'estequiometria de la reacció.

Sorprenentment, en moltes ocasions la pujada relativa del nivell de l'aigua és aproximadament del 20 % del volum total del vas, fet que facilita interpretar erròniament aquesta experiència com una prova que la proporció d'oxigen a l'aire és del 20 %.

7. *Interpretació final i representació.* La combustió d'una espelma és una reacció química entre la parafina (compost format per carboni i hidrogen) i l'oxigen de l'aire, en què es forma vapor d'aigua (òxid d'hidrogen) i diòxid

de carboni(g). La reacció es pot representar mitjançant l'equació: parafina(g) + oxigen(g) → diòxid de carboni(g) + aigua(l)

Es tracta d'una reacció d'oxidació de la parafina. La identificació del diòxid de carboni i de l'aigua i el coneixement de la composició d'aquests dos compostos ens ha permès concloure que la parafina és un compost químic format per carboni i hidrogen.

A tall de conclusió

La seqüència d'activitats proposada creiem que pot ser una bona manera d'aproximar-se a la modelització dels canvis físics i químics en un primer curs de química (3r d'ESO). Aquesta modelització macroscòpica s'ha de prosseguir introduint hipòtesis atòmico-moleculares sobre la composició i l'estructura de les substàncies que reaccionen, fet que ens portarà a fer representacions de les reaccions químiques mitjançant models analògics (per exemple, amb boles i bastonets) o simulacions (Aragón & Oliva, 2020) i, en últim terme, a una representació simbòlica, mitjançant fórmules químiques (Caamaño, 2017).

Referències

- ARAGÓN, M. M.; OLIVA, J. M. (2020). «Analogías, simulaciones y experimentos mentales para la construcción del cambio químico». *Educatió Química EduQ*, núm. 27, p. 35-41.
- CAAMAÑO, A. (2017). «Formas y niveles de representación de las reacciones químicas. Un instrumento esencial para la comprensión del cambio químico». *Alambique*, núm. 90, p. 8-16.
- (2021). «Reacciones ácido-base: de las propiedades de los ácidos y bases al modelo de Arrhenius». *Alambique*, núm. 103 [en premsa].
- CAAMAÑO, A.; GUITART, F.; GRAPÍ, P. (2019). «L'ensenyament del concepte d'element químic i de la taula periòdica a l'educació secundària». *Educatió Química EduQ*, núm. 25, p. 32-40.
- CAAMAÑO, A.; MARCHÁN, I., (2021). «La progresión conceptual en el aprendizaje de los conceptos de sustancia y reacción química en la educación secundaria». *Alambique*, núm. 103 [en premsa].
- COROMINAS, J. (2017). «Reacciones químicas de la vida cotidiana». *Alambique*, núm. 90, p. 8-26.
- DÁVILA, M. A.; CANADA, F.; SÁNCHEZ, J. (2017). «Aprendizaje cognitivo y emocional de las reacciones químicas». *Alambique*, núm. 90, p. 27-36.
- IZQUIERDO, M.; MERINO, C.; MARZÁBAL, A. (2021). «¡La reacción química emociona! La importancia del lenguaje en la modelización del cambio químico». *Alambique*, núm. 103 [en premsa].
- JOHNSON, P. (2014). «An evidence based approach to introductory chemistry». *School Science Review*, vol. 95, núm. 352, p. 89-97.
- PINTO, G.; PROLONGO, M. (2020). «Experiencias prácticas para la enseñanza y el aprendizaje de las reacciones químicas». *Educatió Química EduQ*, núm. 27, p. 49-55.
- RAVIOLLO, A.; GARRITZ, A.; SOSA, P. (2011). «Sustancia y reacción química como conceptos centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica». *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 8, núm. 3, p. 240-254.
- RODRÍGUEZ-ARTECHE, I.; MARTÍNEZ-AZUAR, M. M. (2019). «¿Qué ocurre en esta reacción? De indagar a modelizar». *Alambique*, núm. 97, p. 27-34.
- TALANQUER, V. (2020). «La progresión de los aprendizajes sobre

la composición, estructura y transformación química de la materia». *Educatió Química EduQ*, núm. 27, p. 4-11.



Aureli Caamaño Ros

És doctor en química per la Universitat de Barcelona (UB) i graduat en humanitats per la Universitat Pompeu Fabra (UPF). Ha estat catedràtic de física i química de secundària a Barcelona i ha impartit nombrosos cursos de formació a Espanya i Llatinoamèrica. És autor de diversos llibres i monografies i de més de cent articles sobre l'ensenyament de les ciències i de la química. És coeditor de les revistes *Alambique* i *Educatió Química EduQ*.
A/e: aurelicaamano@gmail.com



Josep Corominas

És llicenciat en ciències químiques per la Universitat de Barcelona. Ha estat professor de física i química a l'Escola Pia de Sitges. Ha impartit nombrosos cursos de formació del professorat tant de física com de química i ha escrit nombrosos articles sobre treballs pràctics en diverses publicacions nacionals i estrangeres. També ha col·laborat en diversos llibres de didàctica de la química.
A/e: jcoromi6@xtec.cat