

Ensenyar química: una aproximació històrica i filosòfica

Teaching chemistry: a historical and philosophical approach

Mercè Izquierdo Aymerich / Departament de Didàctica de les Ciències i de les Matemàtiques. Universitat Autònoma de Barcelona



resum

La química busca respostes a les preguntes que plantegen els canvis químics en la constitució interna de la matèria, però no ho fa com un cirurgià amb el seu bisturí: furgant en l'interior dels materials no trobarà res. És la filosofia la que li obrirà els ulls; és la pràctica la que va establint les ulleres que comparteixen les comunitats científiques. I el llenguatge crearà les entitats que veuen els científics amb aquests ulls filosòfics i amb aquestes ulleres pràctiques. En aquest article es proposa començar a ensenyar química a partir de canvis químics propers als alumnes. La història i la filosofia de la química ens ajuden a recuperar el significat de les respostes teòriques.

paraules clau

Fonamentació en la història, significat de les paraules, pràctica teòrica.

abstract

Chemistry looks for answers to the questions posed by chemical changes in the internal constitution of matter, but it does not do so like a surgeon with his scalpel: digging into the materials you will not find anything. It is philosophy that will open your eyes; it is the practice that is establishing the glasses shared by the scientific communities. And language will create the entities that scientists see with these philosophical eyes and with these practical glasses. This article proposes to start teaching chemistry from close chemical changes for students. The history and philosophy of chemistry help us to recover the meaning of the theoretical answers.

keywords

Foundation in history, meaning of words, theoretical practice.

1. Introducció: el problema és que el canvi químic no és un problema!

L'escola es compromet a fer que totes les persones puguin apropar-se a les explicacions científiques i, per tant, ha d'oferir a tothom formació bàsica en química. Però moltes persones la consideren difícil de comprendre, innecessària i poc útil, segurament perquè la identifiquen amb unes fórmules que es refereixen a un saber cert però inaccessible. Potser per això hi ha poca química en els currículums: gairebé invisible en els de primària, treu una mica el cap a tercer d'ESO... i ja és

optativa a quart d'ESO i als batxillerats. Tot plegat, ben poca cosa per a un «saber» que es pregunta sobre el canvi material més sorprenent de tots, malgrat ser tan quotidià com esmorzar cada matí i omplir el dipòsit del cotxe de benzina quan toca. Sense química, no es pot comprendre com funciona el món.

No hi ha acord sobre què ensenyar. Parlarem dels àtoms, electrons i enllaços, de les fórmules, aprendrem la taula periòdica? Farem experiments que impacten tot i que siguin difícils d'interpretar? En general, s'opta per la primera opció: cada ele-

ment, un símbol; cada símbol, una casella de la taula periòdica, que correspon a una estructura dels àtoms que s'enllacen i se separen en tots els canvis químics. El conjunt queda bonic i endreçat, explicat... en els llibres! Però això no és química, només són paraules que no connecten amb els canvis reals.

La tesi d'aquest article és que, a classe, s'ha de començar per generar activitat química (escolar) intervenint en canvis químics reals i compartint els dubtes i la sorpresa (les vivències) que es generen. Amb això, la didàctica de la química i els currículums fan

seves les aportacions de les ciències cognitives en els darrers cinquanta anys, que vinculen l'emergència de coneixement a les emocions pròpies d'una activitat motivada, competencial.

Els professors han de gestionar aquesta activitat i dissenyar unitats didàctiques que la facin possible. Han d'afavorir les preguntes autèntiques que són prèvies a les respostes (parcials!) que arribaran a partir del treball a classe. Aquesta és una situació inèdita, perquè, segons la tradició docent, es comença per explicar la teoria (les respostes a qüestions que encara no s'han formulat) i mostrar exemples d'aplicació, estalviant als alumnes les incerteses que genera la pràctica. Ara, en canvi, cal identificar les qüestions bàsiques de la química a l'abast de l'activitat cognitiva dels alumnes (del que poden fer, pensar i comunicar). I la més bàsica, la que és imprescindible per comprendre bé els fenòmens del món i de la vida, és *l'aparició i desaparició de substàncies i la conservació dels elements; i requereix diferenciar el canvi químic del canvi d'estat d'agregació*. Els àtoms són una bona idea; adquireixen significat químic quan s'usen per explicar aquests fets.

S'està tan avesat a explicar que el *canvi químic* és «una reorganització dels àtoms dels elements, que es conserven», que podem no veure'l com un problema; si fos així, desapareixeria el repte de donar significat als fenòmens i al procés de canvi. Ens diu el filòsof Ludwig Wittgenstein (1995): «Els nostres nens aprenen ja a l'escola que l'aigua està formada pels gasos hidrogen i oxigen... Qui no ho entengui és tonto. S'amaguen els problemes més importants.»

Efectivament, és ben difícil de creure aquesta afirmació sobre l'aigua que se sosté amb la fórmula H_2O . I ens fa pensar que «si

s'amaguen els problemes de la química» no es pot ensenyar a resoldre'ls.

A. L. Lavoisier (1743-1794), considerat sovint el fundador de la química moderna, era molt crític amb la química que s'ensenyava en la seva època. Deia que va emprendre la reforma de la química empès per l'interès que intuïa en aquell conjunt de coneixements i pràctiques mal estructurats, que només entenien els que ja hi estaven avesats i sabien de què es parlava («em va sorprendre la foscor de les beceroles d'aquesta ciència», afirma). Com a representant del segle de les llums i de l'Acadèmia de Ciències que acollia els nous sabers il·lustrats, havia de combatre aquesta foscor i així ho va fer. Es va proposar reformar el llenguatge de la química, per tal d'ensenyar-la millor (entre altres motius) i des de llavors, al llarg de tot el segle XIX, la química ha perfeccionat el seu llenguatge, que diu en *fórmules* tota mena de canvis: des dels fenòmens en els quals intervé l'atmosfera fins als que es produeixen a les laves a l'interior de la Terra o en les cèl·lules dels éssers vivents.

Potser ara, en la societat actual del coneixement a l'abast de tothom, és el moment de fer una cosa semblant, però al revés. Si bé a l'escola es vol introduir els alumnes a la química amb el llenguatge teòric tan estimat per Lavoisier, cal començar per «viure» les experiències més rellevants i que fan pensar: aquest llenguatge que ho diu tot no diu res de res a aquells que encara no saben de què va la química.

És per això que, per recuperar les preguntes bàsiques, ens cal contemplar la història de la química amb els ulls de la filosofia. S'ha dit que la filosofia de la ciència sense la història és buida, també que la història sense la filosofia és cega. Hi podem

afegir que la didàctica de les ciències és cega i buida sense les dues, perquè no sap sobre què ensenyar a pensar ni què és pensar sobre el món material. La principal aportació que totes dues fan a la didàctica de la química és omplir d'humanitat un temari que s'ha confegit pensant principalment en els conceptes teòrics propis de la disciplina, despullats de pràctica.

Farem un repàs de la història i filosofia de la química en l'apartat 2, per comprendre millor quines són les preguntes bàsiques que poden generar una activitat química escolar (AQE) genuïna, interessada pel canvi químic. En els apartats 3 i 4 es proposa un disseny que s'alimenta d'aquesta reflexió i es deixa inspirar per ella. El desig de compartir-ho és degut a l'enriquiment que suposa considerar-nos hereus d'aquesta aventura de donar significat al canvi químic.

2. Què diuen la història i la filosofia del canvi químic?

La proposta d'aquest apartat és identificar la mirada primitiva al canvi químic (les preguntes dels primers filòsofs que van saber veure ordre en els canvis) i les expectatives que van fonamentar l'activitat de les persones que s'hi han compromès al llarg dels segles (l'activitat química al llarg del temps); amb això, ens apropem als «problemes importants» de què ens parlava Wittgenstein. Ens interessa, i molt, enriquir-nos amb el pensament de tantes i tantes persones que han viscut en aquest planeta: hi han crescut i hi han mort, hi han pensat i hi han estimat..., totes les seves vivències han estat humanes i ens enriqueixen com a humans.

Vivim en un planeta on el Foc, la Terra, l'Aigua i l'Aire encara representen l'essència dels materials canviant que ens envolten, malgrat la diversitat de significats

que se'ls ha atribuït al llarg dels temps. En l'inici, Empèdocles (490-430) els va considerar els elements dels materials i més tard Aristòtil (384-322) va vincular aquests elements a les propietats bàsiques que es van atribuir als materials que canvien: fred-calent (estàtic-dinàmic) i sec-humit (sòlid o fluid). Vet aquí una genial síntesi que encara ara té sentit si pensem en els canvis d'estat i en la teoria cineticomolecular.

Però també els filòsofs grecs idealistes van fer la seva aportació bàsica al raonament sobre el món natural. Parmènides (515-470 aC), metafísic, deia allò tan savi: «Si és, no pot deixar de ser; si no és, no pot esdevenir». De fet, dubta que el canvi substancial sigui possible. Gran i oportuna reflexió per a una ciència en la qual les «substàncies» desapareixen i apareixen! No és fàcil identificar les regles que el fan raonable! Demòcrit (460-370 aC) va oferir una altra reflexió, també sàvia, considerant l'existència, alhora, d'àtoms eternals, invisibles, i de canvis motivats per les diferents maneres d'agregar-se donant lloc als objectes del món. Aquestes aportacions es van enriquir amb la mirada matemàtica de Pitàgoras (582-496 aC) i els seus deixebles. El maridatge de «natura» i nombres va resultar il·luminador i ha anat modelant la manera de parlar del canvi químic al llarg dels segles.

Aquestes reflexions que fan racionals els canvis en el món material, tot i la seva importància, no es refereixen a la gestió de canvis concrets. El treball de transformació pràctica i útil dels materials –la ceràmica, la metallúrgia, la cuina, els verins, els medicaments– es duia a terme en paral·lel, en àmbits ben allunyats de la reflexió filosòfica, i en ambients ben poc intel·lectuals. La història ens explica que el treball pràctic i el raonament teòric so-

bre el canvi es van vincular de diferents maneres i van evolucionar al ritme del treball experimental, en els segles XVII i XVIII, quan ja existia el nom de «química» i començava a ser possible la professió de químic. Es van formular de nou les preguntes bàsiques, però ara amb una base experimental que no existia en el pensament grec (els *matter of fact* de Robert Boyle, quan mostrava el buit obtingut amb la bomba sense entrar en la metafísica de la seva possible existència) (Chamizo, 2018).

Més enllà dels quatre elements, que quedaven curts, van caldre «principis», més propers a les propietats dels cossos i a les interaccions entre ells. Els àtoms eren útils per explicar l'evaporació i les dissolucions, però no per explicar els canvis de «mixió», en els quals apareixien cossos nous; quedaven desvinculats de les propietats dels cossos que intervenien en els canvis, els químics no hi tenien accés. Aquestes propietats, ¿depenien de l'estructura d'uns àtoms iguals, com els maons d'un edifici, o bé eren com les lletres d'un alfabet que prenién sentit en les paraules i frases? Hi havia «principis actius» que actuaven sobre la matèria inerta, com pensava Newton? Les propietats dels materials que interaccionen es conserven en els productes finals? Es poden aïllar els elements constitutius dels cossos? Com arribem a les propietats «primàries», les dels àtoms? (Bensaude-Vincent & Stengers, 1997)

Podem simplificar el debat destacant dos aspectes: els nous camps d'experimentació i reflexió que es van obrir amb l'ús de la bomba de buit i dels estris diversos que permetien obtenir gasos que manifestaven propietats químiques i físiques característiques; i la consideració referent a si el canvi químic es podia reduir, o no, a un intercanvi me-

cànic entre els constituents (principis, àtoms o elements) perquè, si fos així, la química seria una física especialitzada en uns determinats fenòmens de canvi. Segons R. Boyle (1627-1691), mecanicista, la feina dels químics, que cercaven els elements/principis descomponent els cossos tot escalfant-los, era inútil, els materials resultants que obtenien els havia creat el foc; no es podia suposar que hi fossin, abans. Però la química no mecanicista es consolida amb la teoria del flogist, que estableix un vincle ben químic entre la combustió i l'oxidació dels metalls degut a l'acció d'un mateix «principi», el flogist, en els dos casos. I, finalment, els gasos entren en el debat com a substàncies amb capacitat d'interacció, amb massa.

Ja hem dit que la Il·lustració va resoldre moltes d'aquestes preguntes establint un llenguatge teòric, restringit als fenòmens que es podien controlar, en un univers en el qual es conserva la massa malgrat el canvi. Lavoisier, a *Elements de Chimie*, estableix una llista de trenta-tres elements redefinits: ho són les substàncies que no es poden descompondre, que sempre guanyen massa quan canvien; ja no són els constituents (pocs) de tots els materials, els que els fan ser, a tots, «materials que canvien». La balança és l'instrument que inaugura la nova química, la de les lleis quantitatives del segle XIX, tot i que deixa moltes de les preguntes sense resposta.

Fins aquí, s'han posat en evidència preguntes (filosòfiques) sobre el canvi químic que ens mostren la seva complexitat i l'interès que pot desvetllar en els alumnes, i també els esculls que troba en el seu camí.

En aquest darrer punt ens fixem en el que diu la filosofia, enriquida ara per l'aportació de les ciències cognitives, sobre la cièn-

cia. Ens proporciona una Teoria Cognitiva de Ciència (Giere, 1988) segons la qual el coneixement científic és el resultat de l'activitat de les persones que comparteixen una pràctica d'intervenció en fenòmens (que requereix instal·lacions, instruments i maneres de fer molt específiques) en el marc de «teories» que permeten explicar-los. Els científics són experts que generen *models* teòrics per donar significat a noves maneres de fer, pensar i comunicar, especialment quan cal explicar les novetats de manera convincent a uns altres científics o als seus deixebles, en un manual destinat a la docència. Els presenten com «fets idealitzats» en els quals intervenen entitats noves (els conceptes científics) que es defineixen per connectar els fets amb els principis generals de la recerca, els quals, d'aquesta manera, esdevenen exemples paradigmàtics dels nous principis teòrics que cal donar a conèixer. En la mesura que aquests fets són rellevants, connecten amb uns altres de «similars» i els van convertint en nous exemples del *model teòric* i s'expliquen amb les mateixes entitats (fig. 1).

La química és especialment adequada a aquest enfocament. Ja hem vist els significats diversos de termes com ara *element*, *principi*, *àtom*, que depenen del que es fa amb ells. La «teoria» es presenta com un conjunt de models amb afirmacions que els vinculen a experiments, a activitats. Això és el que destaquem en aquest article: no podem generar coneixement químic a classe sense que hi hagi activitat química; aquesta activitat és «cognitiva» i, en la pràctica docent, presenta tres dimensions: fer, pensar, comunicar. Són irreductibles les unes a les altres però funcionen alhora quan hi ha un problema a resoldre.

Hem d'apropar-nos a la tasca

transformadora dels antics tintorers, soldadors, miners, metges, farmacèutics... per comprendre el significat de les entitats de la química i de les seves lleis. Però a classe ho haurem de fer amb activitats adients al context escolar.

3. El llegat de Lavoisier i de Dalton en el món dels alumnes

La història de la química, contemplada amb els ulls del filòsof, ha desvelat un panorama emocionant, amb preguntes que conviden, encara, a la recerca de les millors respostes. Hem assumit el repte de convidar els alumnes d'ESO a reflexionar sobre el canvi químic tot fent experiments, a proporcionar-los el llenguatge conceptual i simbòlic que els permeti parlar del que pensen sobre els experiments que fan. En aquest apartat parlarem del llegat dels químics que van fer de la balança la icona d'una química austera i abstracta, i de com fer viure aquest model a classe, reconeixent-lo en els fenòmens diversos i sorprenents que ens envolten.

D'acord amb la TCC, que condiciona l'emergència de coneixement a l'activitat científica, no començarem definint què és el canvi químic sinó que ho farem presentant als alumnes fenòmens (seleccionats i seqüenciats amb molta cura!) que generin activitat química escolar, a partir de la qual es puguin explicar prenent com a model un canvi, també ben triat, balança en mà.

L'activitat ha de tenir sentit en el món dels alumnes, que és el «món material» que han de conèixer totes les persones que han anat a l'escola, reflectit en els «temes» de les ciències experimentals de l'ESO. Per comprendre'ls bé és imprescindible la mirada encuriosida que proporciona la química i els conceptes que se'n deriven (Parchmann, 2009). No podem aprofundir en com

fer-ho, però suggerim alguns exemples:

— L'univers: el Sol (els estels en els quals es generen la llum i els «elements»).

— L'atmosfera del planeta Terra en la qual respirem i on determinats materials es cremen (les espelmes), formada per les petites molècules d'oxigen, nitrogen, diòxid de carboni...

— L'aigua, que circula sense canviar però fa possible la vida, i les solucions en aigua ens aporten evidència dels ions.

— Els volcans: interaccions en condicions extremes en el magma.

— La radioactivitat.

— Els ecosistemes, la fotosíntesi i l'alimentació, els materials que formen els éssers vius, la gestió de la vida.

— El llamp ja dominat per la tecnologia, que permet gestionar els canvis: la naturalesa elèctrica de la matèria, els electrons, les piles.

— La gestió del canvi químic.

— El cos humà i la salut: la vida cel·lular, homeòstasi com a producte de la dinàmica química. La respiració. La circulació dels gasos en el cos.

— La cuina, un laboratori a l'abast. La textura i comportament de les proteïnes i dels sucres.

L'activitat química escolar (AQE) ha de proporcionar als alumnes la vivència del canvi químic (CQ), la capacitat de reconèixer el canvi en determinats fenòmens que es produeixen en aquest «món material». Els alumnes, protagonistes cognitius de l'activitat, han de poder experimentar utilitzant instruments que parlen del món amb el llenguatge dels nombres i de les relacions. Els experiments amb la balança, herència de Lavoisier i de Dalton, ens parlen de la conservació de la matèria i de les proporcions fixes en la interacció química (si A i B reaccionen, si tinc més A necessito més B).

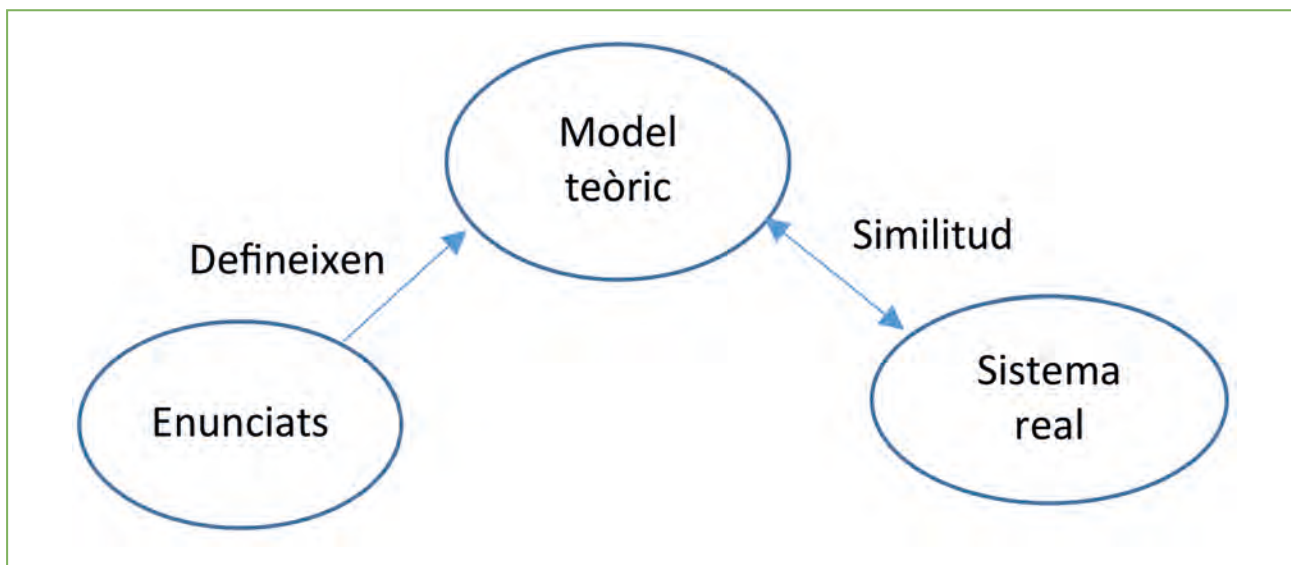


Figura 1. Relacions entre els enunciats, els fets reals i els models, segons Giere (1988).

Per tal de poder veure el canvi químic en el món de les ciències de l'ESO, cal identificar en primer lloc els «materials que interaccionen» i com ho fan: anomenar-los, caracteritzar-los, reconèixer-los. No són materials que intercanvien les propietats (encara que pugui semblar-ho), amb massa o sense, ni principis que són la causa dels canvis (com el flogist); poden ser sòlids, líquids, també gasos! Caldrà avançar pas a pas per confegir una llista d'aquests materials que veiem que interaccionen, que esdevindran les substàncies químiques elementals o compostes amb les quals parlarem del canvi químic, que estan fetes d'uns elements que no veiem i que no són els mateixos en tots ells.

Comencem per les substàncies que destaquen en aquest món dels alumnes, que són les que caldrà conèixer bé: el carbó, l'aigua, el bicarbonat, el sucre, l'oxigen, el diòxid de carboni, el ferro, la sal, l'aigua... Cadascuna és protagonista de canvis en contextos específics i representativa de propietats que comparteix amb unes altres, a les quals podrem atribuir una estructura similar. Recordem que totes elles han estat objecte de recerques al llarg de la història

que els han proporcionat significats diversos, testimoni de la seva rellevància per a la reflexió científica. Els diferents contextos corresponen a diferents tipus de canvis i això ens permet classificar-los i fins tot preveure'n de nous. La combustió i la descomposició per la calor de substàncies que procedeixen d'éssers vius ens mostren el carbó, i ens fan pensar en les petites molècules d'aigua, de diòxid de carboni i d'aigua; els canvis en el si de l'aigua prenen un significat especial quan intervé l'electricitat i es constata que les dissolucions són conductores; a la cuina els processos són lents i es poden controlar... Uns altres contextos ens queden lluny, però també aporten reflexions interessants i entitats necessàries per completar el marc teòric que anem construint: els estels, l'interior de la Terra (Izquierdo, 2013).

Aquest «món de l'alumne» ha d'esdevenir «científic» com a resultat del procés de modelització, que posa en evidència el que tots els canvis químics tenen en comú, malgrat les diferències. El procés de «modelització» genera els conceptes bàsics (substància elemental i composta, element, enllaç, energia de la reacció, àtom, molè-

cula...) que van adquirint significat a mesura que s'apliquen a nous fenòmens; i també els específics: no parlem d'ions quan cremem el carbó o quan ens referim a l'oxigen i a altres gasos; les molècules no són iguals si ens referim al diòxid de carboni o a les proteïnes, perquè no expliquen el mateix; ens oblidem dels electrons quan fem anar el vinagre i el bicarbonat, però els tenim ben presents quan estem preparant una pila electroquímica. Recordem la convergència de contextos al llarg de la història de la química i l'enriquiment que va comportar!

Marina (2005) ens diu encertadament que la funció dels models és mostrar exemples de manera d'actuar, de fer inferències, de comprendre esdeveniments..., perquè són uns programes d'acció, un esquema de com es comporten determinats sistemes, de com es resolen certs problemes. En el nostre cas, el model es genera a mesura que reconeixem l'aparició i la desaparició real de substàncies químiques (que sabem reconèixer) a la llum de la conservació de la matèria i de la llei de les proporcions fixes. És un model del comportament de la matèria que canvia radicalment, no

dels canvis d'agregació; és específicament químic, no redueix la química a una física especialitzada en àtoms: hi ha quelcom en el canvi químic que defuig una explicació mecanicista. Finalment en podrem parlar amb nous termes, que són ja conceptes generals: els elements, els enllaços, la «reacció». Com que s'han generat de manera activa, aquestes entitats seran alhora teòriques i pràctiques.

Per això, per introduir el model de canvi químic comencem considerant canvis químics que plantegin clarament la sorprenent «ocultació dels elements» en el compost alhora que són un fet (*matter of fact*) ben conegut i molt significatiu en el món dels alumnes: la combustió del carbó i altres fenòmens relacionats. Podrem entendre que el carbó, una substància elemental, s'ha combinat amb oxigen, també una substància elemental, i ha format diòxid de carboni, una substància composta, si coneixem les tres substàncies.

En química identifiquem les substàncies al mateix temps que reconeixem el canvi en el qual intervenen, perquè l'aspecte de les substàncies no dona gaire informació als químics (Talanquer, 2006). Haurem de treballar en diferents contextos, com ja hem vist: en un hi intervenen molècules petites, gasos, el canvi es produeix a gran velocitat; en un altre, l'electricitat ens fa pensar en electrons i ions; a la cuina, a les cèl·lules, ens fixem en les macromolècules. És obligat reflexionar sobre l'electròlisi de l'aigua; obtenir hidrogen i oxigen en una quantitat apreciable, comprovar el seu comportament, obtenir aigua de nou... A mesura que es coneixen les diverses substàncies que intervenen en cada context, podrem establir semblances i diferències entre elles, i podrem relacionar algunes

de les propietats amb la seva composició i estructura interna. Podem establir relacions entre els contextos (els ions contribueixen a entendre com funciona la gelatina!) i el model de canvi químic s'estructura, amb afirmacions (teòriques) vinculades a la pràctica experimental (Caamaño, 2018).

Aquestes afirmacions-conceptes, que acompanyem amb exemples del món dels alumnes (fig. 2), són les següents:

— El canvi és conseqüència de la interacció dels materials que anomenem «substàncies» i poden ser elementals o compostes (el carboni i l'oxigen que formen diòxid de carboni).

— Les substàncies que interaccionen desapareixen i n'apareixen de noves (desapareixen el carbó i l'oxigen i apareix el diòxid de carboni).

— La massa dels materials que interaccionen es conserva (la massa del carboni i de l'oxigen és igual a la massa del diòxid de carboni).

— En la interacció química les substàncies intervenen en proporcions de massa definides (podem determinar la que correspon a la combinació del ferro i l'oxigen).

— Les substàncies estan formades per àtoms que formen estructures diverses (l'aigua i les proteïnes formen la gelatina).

— Els enllaços entre els àtoms estan relacionats amb l'energia dels sistemes químics (cremem un cacauet, ens el mengem).

Els alumnes no tenen la mateixa expertesa que els científics ni prou autonomia per crear un model. Però sí que es representen el que estan fent amb «models mentals» que posen a prova quan fan experiments a classe, orientats per les bones preguntes del professor que assenyalen què cal mirar i com cal fer-ho i fan que els models mentals dels alumnes evolucionin cap al model teòric

del canvi químic. Els processos de canvi triats s'han de representar de manera esquemàtica per poder-hi pensar i constatar que *no es perd res* (CBA, 1967).

La idea més bàsica, la regla central del model del canvi químic, és l'afirmació que la massa es conserva malgrat el canvi de substàncies. La modelització consisteix a veure els fenòmens des d'aquesta perspectiva. En el nostre exemple, hem començat pel carbó, que veiem aparèixer quan escalfem (descomponem, «carbonitzem») fusta (serradures) o l'enciam, que són materials formats per substàncies compostes de carboni i algun altre element del qual no parlem, de moment; la massa final és carbó, que reconeixem perquè «desapareix» si continuem escalfant el material.¹ La «bona pregunta» ara és: aquesta massa estava en l'enciam abans d'escalfar-lo i descompondre'l? Com és possible? La resposta del model, abstracta però crucial, és que no teníem carbó, però sí els àtoms que el formen. Com que el carbó és una substància elemental, està fet d'àtoms iguals, que formen l'element carboni, invisible; són diferents dels àtoms de qualsevol altre element. Aquesta resposta és convincent, però estaria buida de contingut si no poguéssim accedir de manera experimental a l'àtom; per això els químics es resistien a parlar dels àtoms. Però els químics han trobat la manera de diferenciar els àtoms, perquè han inventat un àtom que es pot mesurar a partir de les masses de les substàncies elementals que intervenen en els canvis químics.

Hem triat el carbó que es crema i desapareix i que apareix en escalfar determinats materials com a con-

¹ Es pot visitar una carbonera; el carboni va ser una activitat tradicional al Montseny i cada any se'n fa una demostració.

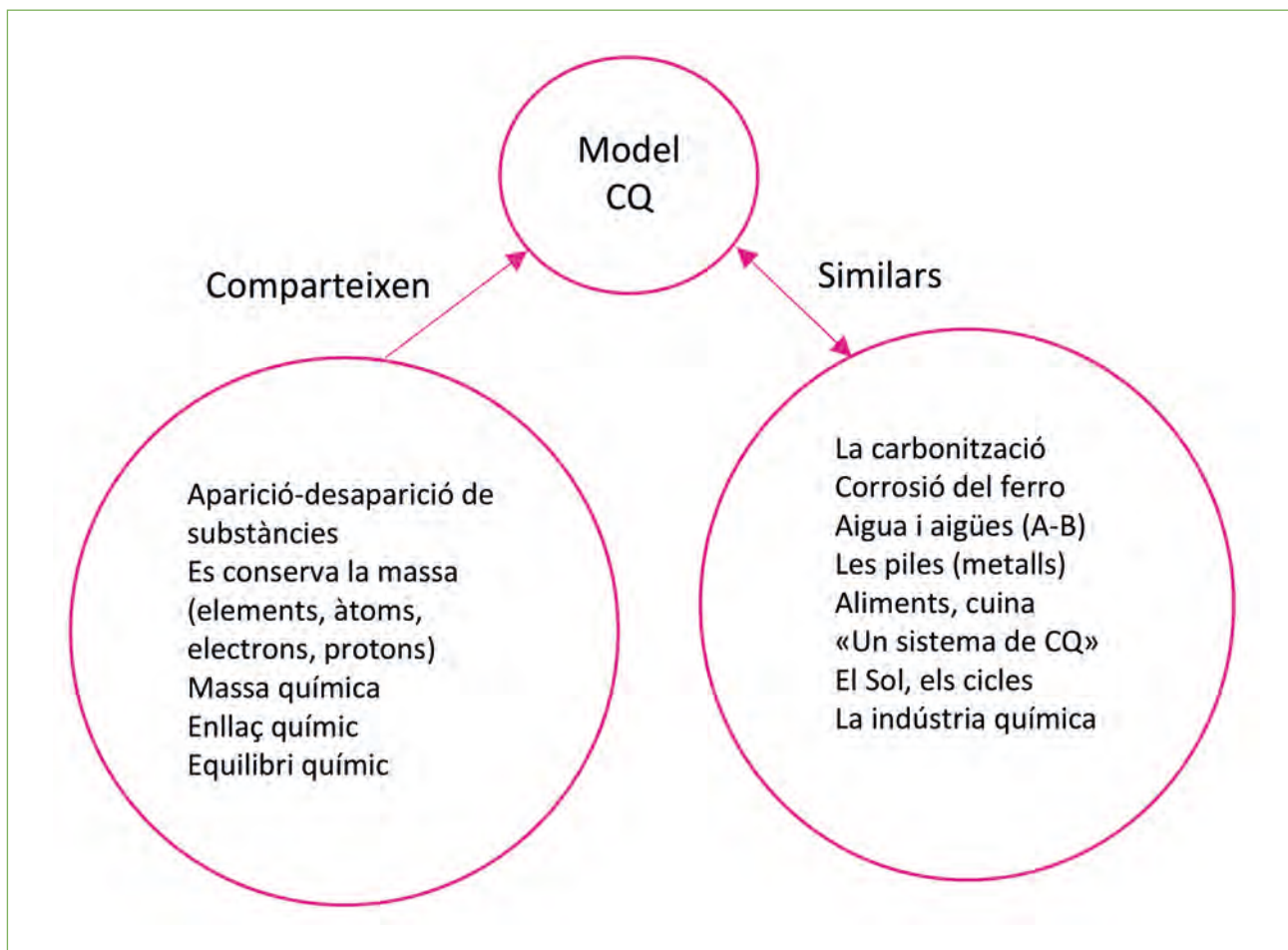


Figura 2. Les relacions segons el Model de Canvi Químic.

text per fer-ne un model de CQ iniciant el camí cap a l'àtom, i triem el *ferro que es crema i aparentment augmenta de massa* per concloure'l (en una primera aproximació). Tots dos, oxigen i ferro, són considerats substàncies elementals i van adquirint significat a mesura que modelitzem els canvis.

Avancem cap a la genial invenció dels àtoms químics. Cremem llana de ferro a classe: ens sorprenem amb les espurnes lluminoses, que finalment deixen un polsim negrós, gens lluent. Seguint el programa modelitzador, pesem i, contra el pronòstic de la majoria, veiem que la massa ha augmentat. El ferro és una substància elemental, no es podia descompondre, però les espurnes despisten. Es justifica que l'augment de massa és degut a l'oxigen que

s'ha combinat amb el ferro, com ha passat amb la combustió del carbó i com passarà quan cremem altres substàncies elementals. No veiem l'oxigen, però el podem pesar.

Repetim l'experiment amb diferents quantitats de llana de ferro i comprovem que les masses finals augmenten proporcionalment i la conclusió és que sempre hi ha més ferro que oxigen, en una proporció aproximada de 3,5 g de ferro per 1 g d'oxigen. Aquest episodi, la combustió del ferro (un sòlid conegut, fàcil de pesar) que produeix òxid de ferro (que és també sòlid, fàcil de pesar), modelitzat segons les regles de joc del MCQ, introdueix una nova idea: els elements que interaccionen a la manera química ho fan en proporcions de massa caracte-

rstiques. Dalton va suggerir que aquestes masses eren proporcionals a les masses dels àtoms dels elements que interaccionaven, perquè va suposar, erròniament, que la interacció es feia sempre àtom a àtom quan només era coneguda l'existència d'un sol compost de dos determinats elements o «àtoms». El segle XIX neix amb aquesta incipient teoria atòmica que assumeix que a cada element li correspon un àtom material diferent, caracteritzat per una propietat primària ja accessible, la massa. Les masses proporcionals calculades amb penes i treballs al llarg de cinquanta anys enmig de polèmiques i discussions, van esdevenir les masses atòmiques que Cannizzaro va aportar de manera convincent en el Congrés de Karlsruhe, el 1860.

4. El llegat de Mendeleiev. Elements o substàncies elementals?

En l'apartat 2 hem vist que Lavoisier i el seu equip només compten amb les substàncies que tenen massa; acaben amb la tradició dels quatre elements perquè canvien el significat d'aquesta paraula: ja no es refereix a un component de tots els materials, sinó a materials específics que no es poden descompondre amb els quals estan fetes totes les substàncies compostes i sempre que canvien augmenten de massa o la mantenen, en el cas de canviar de forma al·lotròpica. Balança en mà, els químics exploren les relacions de massa en els canvis químics i les transformen en propostes de masses dels àtoms dels elements. Però això sembla indicar que les masses s'han mesurat amb alguna mena de balança i no és així: són masses relatives calculades a partir de la interacció química, transformades en unitats: 16 d'oxigen, 200 de plom, 1 d'hidrogen... són, totes elles, un «àtom» de cada un d'aquests elements.

La teoria atòmica proporciona a la química el llenguatge simbòlic que li és propi, amb un significat alhora macroscòpic i microscòpic. Suggereix una composició atòmica per a les substàncies inicials i finals: cada símbol representa un element, cada element un tipus d'àtom; també és compatible amb explicacions macroscòpiques, perquè el canvi químic desborda un panorama atòmic-mecanicista, com hem vist en l'apartat 2. Però la teoria atòmica no aporta significat a la química (perquè no podem tenir una evidència directa d'ells) sinó que, a l'inrevés, és la química la que aporta significat als àtoms, perquè se'ls ha inventat; sense la química els àtoms ens presentarien un mecanisme físic en el qual s'ajunten i se separen. En canvi, són la clau per accedir a

tot l'entramat dels conceptes teòrics químics.

El segle XIX va ser el segle de l'esclat de la química com a disciplina universitària. Cap a mitjans de segle disposava ja d'un potent llenguatge de fórmules que representava la composició de les substàncies orgàniques i inorgàniques de manera adequada al seu comportament químic. La pregunta crucial, per què reaccionen les substàncies fins a arribar a l'equilibri, sense resposta des que s'havien oblidat els «principis», començava a tenir-ne, a partir de la termodinàmica. Els professors de química buscaven la manera de classificar els elements per facilitar la manera d'ensenyar com es comportaven. No ha de sorprendre que Mendeleiev² construís la seva reeixida taula (Sistema Periòdic) poc després que s'arribés a un acord respecte a les masses dels àtoms, diferenciades de les masses equivalents i moleculars, perquè s'havien calculat a partir del seu comportament químic i les regularitats que s'observaven en elles eren regularitats de comportament químic de l'element invisible subjacent en tots els compostos d'una mateixa substància elemental: el ferro invisible en l'hemoglobina, l'oxigen en l'aigua..., que podem imaginar com àtoms de ferro, d'oxigen... Mendeleiev classifica els elements, no les substàncies elementals; i sospita l'existència dels seus àtoms, irreductibles (Bensaude-Vincent, 2002).

La Taula Periòdica és una icona de la química per a moltes persones, moltes de les quals, malauradament, en tenen un mal record perquè van ser obligats a memoritzar-la. També és una icona del model de canvi químic perquè és una panoràmica del funcionament de tots els sistemes

químics. Hauríem de compartir l'entusiasme de Mendeleiev pels àtoms químics, irreductibles els uns als altres, però relacionats per una llei periòdica que ara ha donat lloc a uns àtoms físics que presenten configuracions que es repeteixen periòdicament perquè són «químiques».³

La Taula Periòdica podria donar lloc a moltes històries. Els noms dels elements, el seu «descobriments» o aïllament, el lloc on se'ls troba... ens expliquen la història de la Terra, no només la de la química. És una guia imprescindible per a una proposta modelitzadora de la química, perquè no podem diferenciar les substàncies elementals i compostes pel seu aspecte o comportament (en un sol experiment); la història de la química ens il·lustra molt bé aquesta afirmació; la Taula Periòdica ens diu quines substàncies són les elementals, quins són els elements de la química. Serà la nostra guia, amigable, curulla de preguntes i respostes amb les quals podríem passar la vida. Allà hi trobem el carboni i també l'oxigen. Molts altres elements també formen part del món dels alumnes (el ferro, el nitrogen, el plom, el coure, el clor, l'hidrogen, el sodi, el calci) i són aquests (i els àtoms que els formen) els que ens aniran ajudant a desenvolupar el MCQ.

Fa poc temps que la magnitud «quantitat de substància», unitat el mol, ha estat considerada una de les vuit magnituds fonamentals del Sistema Internacional d'Unitats, i massa de pressa ha passat a ser una mesura del nombre de partícules. Perdem de vista que aquesta pila de partícules corresponen al que podríem anomenar una «unitat d'acció química».

² També Lothar Meyer va elaborar una taula que mostra propietats periòdiques dels elements.

³ Meyer considerava la possibilitat que tots els àtoms fossin de la mateixa matèria, estructurada de manera diferent en cada substància elemental.

5. Reflexions finals

L'objectiu de dissenyar les classes com una «activitat científica» per tal de desenvolupar la capacitat de pensar a la manera dels científics ens obliga a capgirar la tradició docent, que prioritza l'explicació teòrica i proporciona, a continuació, els exemples adequats. En aquesta tradició, l'estratègia didàctica que anomenem «modelització» s'aplica als models científics. Si el que es pretén és que l'alumnat pensi sobre el món «a la manera dels científics», l'estratègia ha de ser una altra: cal proporcionar la baula que relliga els fenòmens a les preguntes que conduiran cap a la teoria. El canvi és molt important, perquè empeny a fer viure els problemes de la química fora dels llibres de text; la fan històrica (el procés de pensar és llarg i tortuós) i filosòfica (ens interessen les preguntes, els dubtes, per gaudir les respostes). I la fan «experimental»: la referència és sempre alguna cosa que està passant, en la qual intervenim, que podem comunicar.

En aquest article es proposa que la intervenció docent es deixi inspirar per la història de la química i per les preguntes que es van plantejar en relació amb la seva pràctica i ensenyament, moltes d'elles encara vigents (Agudelo, 2020). La modelització que proposem parteix dels experiments i proposa pensar-hi a partir de la regla teòrica fonamental, la conservació de la matèria. Aquest canvi d'èmfasi incideix en la comprensió de les masses atòmiques relatives, que no es calculen sabent d'antuvi que hi ha àtoms, sinó que la reflexió sobre les masses de combinació en la reacció condueix a la idea d'àtom i, d'una manera important, a la magnitud pròpia de la química, de nom incert encara, però que anomenem de moment «quantitat de substància». Volem

que els estudiants gaudeixin veient en la natura, en la cuina, en el mar... el que hi veu un químic. I, sobretot, que valorin el «saber fer» i els dubtes, que són el signe que indica que pensem. Valdria la pena comprometre'ns a una tasca sistemàtica de construir «fets exemplars» del canvi químic.

Referències

- AGUDELO, C. (2020). «La función de la Tabla Periódica en los libros de texto». A: CAAMAÑO, A. (coord.). *Enseñar Química. De las sustancias a la reacción química*. Barcelona: Graó, p. 145-154.
- BENSAUDE-VINCENT, B. (2002). «Looking for an Order of Things: Textbooks and Chemical Classifications in Nineteenth Century France». *Ambix*, vol. 49, núm. 2, p. 227-251.
- BENSAUDE-VINCENT, B.; STENGERS, I. (1997). *Historia de la Química*. Madrid: UAM, cap. 2.
- CBA, CHEMICAL BOND APPROACH PROJECT (1967). *Investigación de sistemas químicos*. Barcelona: Reverté, p. 82-83.
- CBA, CHEMICAL BOND APPROACH PROJECT (1967). *Investigación de sistemas químicos. Guía de laboratorio*. Barcelona: Reverté, p. 62-63.
- CAAMAÑO, Aureli (2018). «Enseñar química en contexto». *Educación Química*, vol. 29, núm. 1, p. 21-54. També disponible en línia a: <<http://www.revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/63686/56167>>.
- CHAMIZO, J. A. (2018). *Química General. Una aproximación histórica*. Ciudad de México: UNAM. També disponible en línia a: <<http://www.librosoa.unam.mx/handle/123456789/2806>>.
- GIERE, R. N. (1988). *Explaining Science. A cognitive Approach*. Chicago: The University of Chicago Press.
- IZQUIERDO, M. (2013). «School Chemistry. An Historical and Phi-

losophical Approach». *Science & Education*, vol. 22, p. 1633-1653.

- MARINA, J. A. (2005). *El vuelo de la inteligencia*. Sant Andreu de la Barca: Novoprint.
- PARCHMANN, I. (2009). «Chemie in Kontext. One approach to realize chemical standards in chemistry classes». *Educació Química EduQ*, núm. 2, p. 24-31.
- TALANQUER, V. (2006). «Propiedades emergentes, un reto para el químico intuitivo». *Educación Química*, vol. 7, núm. 2, p. 315-320. També disponible en línia a: <<http://www.revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/66020/57932>>.
- WITTGENSTEIN, L. (1995). *Aforismos. Cultura y valor*. Madrid: Espasa-Calpe. Citat a DIVERSOS AUTORS (2007). *Aforismos sobre educación*. Madrid: CEAC, p. 59.



Mercè Izquierdo Aymerich

És doctora en química, catedràtica de didàctica de les ciències a la UAB. Ha estat professora de química a secundària i de didàctica de les ciències, de química i d'història de la química a la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). La seva investigació es dedica al llenguatge i la història de la química. Forma part del grup investigació LIEC (Llenguatge i Ensenyament de les Ciències) del qual va ser la primera directora. Ha format part del CEHIC (Centre d'Estudis d'Història de les Ciències). Ha estat presidenta del col·legi professional de professors, responsable de formació de professorat al Departament d'Ensenyament (Generalitat de Catalunya) i vicerectora a la UAB.
A/e: Merce.Izquierdo@uab.cat