

# Per a una *chemical chemistry*

## Towards a chemical chemistry

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



### resum

En aquest article es defensa un ensenyament de la química que estableixi una relació estreta entre la teoria i la pràctica. Això és el que de ben segur tothom desitja, però l'experiència docent ens mostra que no és fàcil d'aconseguir. I la dificultat augmenta quan, a més a més, volem fer extensiva la formació en química a tota la població que es troba en l'etapa d'educació obligatòria.

### paraules clau

Significats pràctics dels termes químics, regles de l'activitat química, ciència per a tothom.

### abstract

This article defends the idea that teaching chemistry, one needs to establish a close relationship between theory and practice. This is a common aim, but experience shows that it is not easy to achieve, and that this difficulty increases as we have extensive chemistry education during the compulsory education years.

### keywords

Practical meaning of chemical terms, the rules of chemical activity, scientific literacy.

### Introducció

La nostra llengua (el català) no ens permet l'expressió *chemical chemistry* que ens serveix de títol: la paraula *química*, en català, és la mateixa tant si s'utilitza com a substantiu o com a adjectiu. Dir que volem una química «química» es fa difícil d'entendre, mentre que en anglès queda força més clar: hem d'ensenyar una química genuïna, autèntica i, per tant, pràctica. Perquè la química de la qual parlen els llibres és, molt sovint, molt poc «química».

Cal que fem una observació prèvia: tota química autèntica és «química», és clar. Ha estat pensada i estructurada a partir de les preguntes que es plantegen en el

decurs de l'activitat química d'intervenció i control en aquests canvis peculiars que anomenem *químics*; té sentit per a tots aquells que saben com és aquesta activitat i l'han fet i s'han deixat interpel·lar per les preguntes que emergeixen en el procés. La dificultat que identifiquem i que volem superar és deguda a la química que apareix en els llibres: és aquesta la que resulta poc «química» per als lectors que els tenen com a única font d'informació. Potser és inevitable, perquè el paper escrit no és el laboratori i mai no «comunica» el mateix; ha calgut un llarg i difícil procés per arribar a trobar la manera de posar en les dues

dimensions d'un full de paper les experiències químiques ja interpretades i simbolitzades (Bensaudé, 2008). Hi ha un problema de comunicació que ens preocupa i que ens proposem resoldre.

De què ens parlen els llibres de química, si ens els mirem de manera freda i objectiva? Quina història expliquen? És una història escrita amb fórmules i, per tant, difícil de comprendre per a tots aquells que no siguin de l'ofici. Segons l'índex d'un d'ells (molt representatiu dels llibres de química del batxillerat), veiem que al primer bloc hi ha un teoria atòmicomolecular que «afirma» l'existència d'àtoms i molècules; s'expliquen les lleis ponderals de

la química (basades en la conservació de la massa en el canvi químic), les hipòtesis de Dalton i d'Avogadro, el mol i les fórmules. Se'ns parla a continuació de l'àtom i dels seus enllaços: en el segon bloc explica que la matèria té una naturalesa elèctrica i ens mostra diferents models d'àtoms fins a arribar a un model quàntic; també parla del defecte de massa en la formació del nucli; es mostren els espectres dels àtoms, que permeten parlar de configuracions electròniques i, d'aquí, es passa a presentar la taula periòdica dels elements de manera que els àtoms queden ben caracteritzats i mesurats. Finalment, com que els àtoms sempre se'ns presenten units els uns amb els altres, s'expliquen els tres tipus d'enllaç entre els àtoms i els enllaços entre molècules. El tercer bloc de continguts es dedica a explicar els canvis materials i energètics en les reaccions químiques i, en tres lliçons, se'ns parla de productes químics i dissolucions, dels canvis materials (les diverses reaccions químiques i l'estequiometria) i dels canvis energètics, amb èmfasi en els combustibles i l'oxigen. Finalment, en el quart bloc, se'ns parla de la química del carboni: l'estructura de les molècules orgàniques, els grups funcionals, les isomeries...

Podem resumir la història que s'hi explica per veure quin missatge li queda al lector? Quin era l'objectiu de l'autor? Què li volia dir a un estudiant de 1r de batxillerat, en aquest cas? Crec que el que es vol és proporcionar el nou llençatge amb el qual els químics parlen del canvi químic: els àtoms (les paraules) i els enllaços i les estructures de les molècules (les regles sintàctiques) configuren les explicacions a TOTS els canvis químics (Talanquer, 2011). Es comença per les paraules, es continua amb la manera de confegir les frases i s'acaba amb el tema del qual volem parlar, escrit amb els sím-

bols i les regles que el llibre ha construït. En conjunt, tot això seria un magnífic exercici per esdevenir espia (dominar un llençatge críptic per parlar de secrets que no cal entendre), però no sembla quelcom apropiat per despertar l'interès per canvis com ara la funció clorofil·lica, la corrosió del ferro o la cura de l'aigua de la piscina.

Per tant, aquesta manera de fer no resulta gens adequada per iniciar els nois i les noies de les escoles en aquesta disciplina tan important en el nostre temps (perquè ho és, i molt, no només per l'aportació específica que fa a les indústries que s'ocupen de sintetitzar i de distribuir els nous materials que se sintetitzen als laboratoris, sinó també perquè es troba a la cruïlla de moltes altres disciplines: la bioquímica, la biologia, les ciències de la Terra i del medi ambient, la medicina, la farmàcia...). Si els conceptes químics no estan clars, la confusió es propaga i enterboleix la comprensió de totes les disciplines que els utilitzen.

A causa d'això, és necessari que totes les persones sàpiguen de què va la química «química». No serveix saber escriure fórmules ni estar al cas dels diferents models d'àtoms i de les seves estructures i enllaços, perquè no es veuen i no poden ser manipulats ni permeten cap intervenció experimental. És ben probable que es modifiquin i que canviïn al llarg dels anys, perquè estan en funció del que es vol explicar i de com es vol fer i, com bé sabem, els coneixements canvien. El que ens interessa és saber quina és la pregunta que ens volen respondre, perquè la relació entre teoria i pràctica que estem buscant requereix que hi pugui haver una genuïna activitat química per part de l'alumne i que la teoria sigui l'adequada a l'activitat que pugui ser racionalment duta a terme i raonablement explicada.

## La relació entre teoria i pràctica que estem buscant requereix que hi pugui haver una genuïna activitat química per part de l'alumne i que la teoria sigui l'adequada a l'activitat

### La narració dels llibres, la narració dels fets

Són molts els llibres de química que presenten un índex semblant al que hem esmentat. Si ens posem a llegir un d'aquests llibres com si no sabéssim res del que ens explica, arribem a la conclusió que el món està fet d'entitats que són les justes i adequades per explicar els fenòmens químics que apareixen en el mateix llibre, molt sovint ben il·lustrat amb dibuixos i fotografies. Se'ns diu que els àtoms i les molècules són la unitat fonamental del pensament químic, com si fossin «experimentals» i se'ns diu que és important conèixer el nombre d'aquestes partícules presents en un sistema. Però llavors es planteja el problema: com que n'hi ha moltíssimes (uns pocs grams d'aigua contenen unes  $10^{23}$  molècules), cal utilitzar una unitat més convenient, el mol, la unitat del SI de la quantitat de substància. I de vegades se'ns diu que aquesta unitat es coneix «per la física»!

Se'ns ha amagat la idea principal: que l'àtom s'ha inventat com a unitat per a la interacció química, no és només una partícula física!

Què ens diu tot això de química? Res de res. El gran problema (que ni es planteja) és saber com «es veuen» aquestes entitats, què signifiquen i per què i com expliquen els fenòmens, que són els que ens interessen. Perquè no es pot considerar convincent una explicació química que no mostri per a què es va inventar, quin era el problema en la capacitat d'in-

tervenció en els fenòmens químics que la va fer emergir. Si intentem esbrinar quelcom sobre aquesta intervenció, el llibre no ens proporciona cap pista. No hi trobem un fil conductor que vagi encalçant els experiments «reals» i que els mostri com una seqüència que doni suport a l'altra, la que es refereix a les peripècies dels àtoms i de les molècules.

Per exemple: per què ens cal la unitat *mol*? Se'ns diu que és perquè s'ha descobert l'estructura atòmica de la matèria. També se'ns diu que cal utilitzar una unitat més convenient que es coneix per la física. No és així. La magnitud de la qual el *mol* és la unitat és genuïnament química i sorgeix d'un problema: si decidim acceptar que els elements són àtoms i que la interacció química es produeix entre àtoms, com que les interaccions químiques no es fan gram a gram, els àtoms dels diferents elements no poden tenir la mateixa massa. Aquestes noves «masses d'interacció» corresponen a una nova magnitud, la quantitat de substància que «simplifica» la interacció química.

El que menys ens interessa, des d'aquesta perspectiva, és el número d'Avogadro, tan desmesurat que ens porta a un món definitivament absurd, tan allunyat de la nostra capacitat d'actuar que no ens proporciona problemes interessants en els quals podem pensar. I si ens el presenten en primer lloc (el món al revés!), és clar, ens cal simplificar-lo (Furió *et al.*, 1999).

Per donar un tast del que és la química en l'educació bàsica (i, en general, en tot l'ensenyament no universitari), és imprescindible que aquestes dues narracions tornin a anar juntes, tal com es van generar. El nom *chemical chemistry* (o química «química») podria ser l'adequat a aquesta nova narrativa teoricopràctica que busquem, una alternativa a la química «sobre el paper» que



podem deixar per a molt més endavant, per als professionals químics.

Intentarem ara proporcionar algunes pistes que ens permetin avançar en aquest camí. Per tal d'identificar-les, ens guiarem per alguns indicis:

- S'ha de referir a una pràctica en la qual els alumnes puguin intervenir.

- La intervenció ha de poder ser generalitzada a altres fets similars, tot donant lloc a una de les «maneres de treballar» pròpies de la química, amb les seves corresponents «regles d'acció química».

- Tant la intervenció concreta com les que es deriven de les «regles de l'acció química» s'han de poder argumentar, justificar i explicar amb les entitats de la química, que esdevindran, així, necessàries i amb significat macroscòpic.

- Amb tot això, apareixeran nous «contextos» adequats a aquesta *chemical chemistry* amb els quals potser no es comptava fins ara i que potser arribaran a ser temes interessants, en si mateixos, per aprendre, també, sobre la funció social de la química.

- Finalment, aquests contextos podran ser l'ocasió per narrar «històries» que contribueixin a mostrar la química com un aspecte irrenunciable de la cultura general en el segle XXI.

Vegem ara algunes propostes de projectes en els quals es pot implicar estudiants i professors i que s'haurien d'explorar a fons.

### La cuina com a pràctica química

Els cuiners, fins ara, no es consideraven químics, tot i que els químics sí que han estat considerats cuiners: molt sovint, al llarg de la història, han rebut aquest qualificatiu amb una connotació despectiva per part de ciències més «sublims», com la matemàtica o la física, unes ciències més «netes» que mostraven així el rebuig cap a una ciència que es feia des dels fogons. Perquè els forns, les brases i els cremadors han estat (i són encara) imprescindibles per fer química, de la mateixa manera que ho són per cuinar.

Crec que la química «química» se'n vanta, del seu origen en els fogons. L'ús intel·ligent, «químic», del foc ha anat molt més enllà de preparar aliments, amb processos i contextos aparentment ben diferents, però en el fons semblants, als de la cuina. Finalment, químics i cuiners s'han retrobat. Un cuiner de renom, Ferran Adrià, és ara doctor *honoris causa* per la Universitat de Barcelona. Podríem discutir si amb això s'honora la cuina o la química, però és indiscutible que a El Bulli es fa química «química».

Tot i això, no podem assegurar que treballant a la cuina s'aprengui química. Cal que aquesta activitat s'acompanyi de la reflexió adequada per fer el pas des de la cuina cap al pensament químic, que és la que caldria impulsar a l'escola. Aquesta nova manera de pensar hauria de

donar suport a l'activitat: pensar els processos en termes de «sistemes» (conjunt de les substàncies que estan relacionades a causa del canvi químic) i d'«interaccions» (entre els integrants del sistema: substàncies i els elements que les formen) que provoquen el canvi. Fer-ho, això sí, amb una mentalitat quantitativa i a partir de la conservació global de la massa. I mantenir, des d'aquesta nova perspectiva, l'habilitat d'olorar, comptar amb els canvis de color i d'estructura; mantenir l'habilitat de controlar la temperatura, tant quan es treballa directament sobre el foc o dins el forn com quan s'escalfa en aigua o amb oli.

La cuina que ha posat de moda El Bulli és justament la que ara ens fa falta. Perquè l'interès genuïnament culinari per obtenir nous sabors i noves textures parteix d'un marc teòric químic: els sabors i les textures són el resultat d'interaccions entre materials i, per això, plantegen problemes que la química, que és la ciència dels canvis en els materials, pot resoldre. Perquè aquests canvis, per a la química, no són coneixements misteriosos adquirits només per la tradició oral (que també!), sinó que segueixen les regles de conservació de la massa (i, per tant, dels elements i els àtoms) i de l'energia.

Es poden emprendre «projectes» específics: fer flams, pastissos, mató, formatge, iogurt, confitures, ametlles garapinyades, almívar, sucre candi... Cadascun d'aquests «projectes» permet crear a partir de maneres de fer que es poden raonar i connecten amb la manera de mirar el món que és pròpia de la química. En aquest projecte, els sistemes estan formats per substàncies de fórmules complexes que no vénen al cas, però que es reconeixen a partir d'indicis: olors, gustos, textures... Són compostos de pocs elements:

C, H, O... i pocs altres que, tot i ser tan pocs, formen moltíssimes substàncies que provenen d'organismes i que són, totes elles, delicades (per poc que badem, es carbonitzen). Per això les interaccions requereixen control de la temperatura, en especial, però també de possibles contaminacions, ja que el resultat ha de ser mengívol.



### El foc, les flames, el carbó

Parlar de la cuina suggereix un estudi més acurat del foc: dels combustibles i de la seva interacció amb l'oxigen. El sistema químic protagonista del projecte, en aquest cas, és importantíssim: el formen els combustibles derivats del carboni, l'oxigen, el diòxid de carboni i l'aigua, i també els components de les flames.

Els projectes específics tenen a veure amb la construcció i l'estudi de «cremadors»: l'espelma, els encenedors de gas, les cuines, els llums d'oli... S'ha reflexionat sobre el sobtat augment de temperatura que es produeix quan s'inicia el canvi i que es manté mentre dura, i cal diferenciar entre aquest fenomen i l'escalfament previ que ha estat necessari per engegar el canvi.

L'estudi comparatiu de la llar de foc i d'una barbacoa de carbó permet comprendre millor què són les flames, la descomposició de la fusta que es va produint alhora que es crema i la carbonització de la

llenya en el carboneig quan l'escalfament es produeix evitant que la fusta es cremi: un nou control que cal (i es pot) dominar.

És un projecte que combina, com l'anterior, l'enginy i la reflexió. Pot plantejar la pregunta crucial: es pot recuperar la fusta cremada? Es pot fer? Quin paper hi desenvolupa, en aquest procés, la llum del sol? I dóna pas a introduir la necessitat d'aprofitar millor la fusta abandonada als nostres boscos i impulsar un nou estil de carboneig, més modern i menys contaminant.

### Els metalls, les sals, els cristalls

Els metalls són materials que tots coneixem molt bé: l'or i la plata formen els nostres anells, polseres i rellotges; veiem el ferro en cargols, el filferro, estris diversos i bigues; ara tenim alumini en portes i finestres i a les llaunes de Coca-Cola. Un nou mineral estratègic, el coltan, ens acosta a minerals fins ara desconeguts i a metalls de bonics noms mitològics i considerats, fins ara, escadussers, com el tàntal.

La primera reflexió que ens hem de fer quan mirem els metalls des de la química és que NO volem que reaccionin, en general. Més aviat les indústries metal·lúrgiques es dediquen a la difícil feina d'obtenir-los a partir dels minerals. Però, al mateix temps, aprofitem que Sí que reaccionen per fabricar piles electroliques en les quals aquest potencial de canvi arrossegui molts altres canvis, com bé sabem.

Perquè els metalls no es poden separar de l'electricitat. Les complicitats entre els uns i l'altra són moltes i es poden anar explorant a poc a poc. Des dels parallamps fins a les piles, des dels cables que pengen per damunt dels nostres caps fins als botons que pitgem per engegar els electrodomèstics... pertot arreu trobem metalls.





La història que ara es pot explicar té a veure amb aquesta aventura: obtenir metalls a partir dels seus compostos «oxidats» i procurar que no es tornin a oxidar. Els àcids són ara imprescindibles per la seva interacció amb els òxids dels metalls, amb la qual es formen les sals, que ens sorprenen per les seves formes cristal·lines i els canvis de color quan es deshidraten.

Alguns projectes poden ser: oxidar coure, afegir àcid clorhídric, obtenir els cristalls de clorur de coure, tornar a obtenir coure per desplaçament amb ferro; obtenir cristalls de sal (clorur de sodi) (es pot obtenir sal comuna per interacció entre el bicarbonat de sodi i l'àcid clorhídric o sulfurant); cristal·litzar sulfat de coure, deshidratar-lo, tornar-lo a cristal·litzar; fer el mateix amb clorur de coure; desplaçar metalls i fer-ne piles...

### L'aigua... i més electricitat!

L'aigua és la substància més important per a la *chemical chemistry* que volem impulsar. La comprensió pregonada del cicle de l'aigua i dels seus canvis d'estat, així com les característiques comunes als sòlids, als líquids i als gasos, és prèvia i imprescindible. A partir d'aquesta familiaritat (reflexionada) amb l'aigua (que admet que l'aigua de la Terra no

és la substància *aigua*), ha de venir la immensa sorpresa: l'aigua (de la Terra) és conductora del corrent, però no com els metalls!

La conductivitat d'algunes dissolucions aquoses, per més que sigui difícil de comprendre, hauria de formar part d'aquesta introducció a la química de l'aigua que mostra com, en solució aquosa, es produeixen canvis entre les substàncies dissoltes que no es produïrien pas d'una altra manera. Una gota d'aigua sobre la «sal de fruita» o una aspirina efervescent fa molt d'efecte...

Són tants els projectes que es podrien impulsar que caldrà triar-los amb prudència (recordem que han de ser activitats genuïnes). Si es prioritzen les interaccions àcid-base, per exemple, tenim un ampli programa de producció de sals, d'interpretació dels canvis de color dels indicadors, d'estudi de problemes ambientals deguts a la pluja àcida o als canvis de pH als rius o als mars... La visió sistèmica que sempre cal mantenir ens porta cap a l'equilibri químic sense perdre de vista que l'aigua sempre hi és, controlant, sempre en equilibri, les concentracions dels seus ions.

L'aigua i l'electricitat... quina magnífica ocasió de plantejar preguntes i de sorprendre's!

El projecte «estrella», ara per ara, hauria de ser l'electròlisi de l'aigua. Contrastada amb la pila, en tenim per a mesos de reflexió per entendre bé tots dos processos i el que significa això de «guanyar» i «perdre» electrons.

### Reflexions finals

Creiem que les propostes presentades marquen una manera de fer «química» que, com que és indissociable de la química, ha de ser presa seriosament. És cert, també, que la química no pot prescindir del paper: sense textos, les ciències no es consoliden. Però els textos, ara i sempre, han d'il·luminar els problemes que la pràctica química planteja: qual-

sevol text de química ha de parlar de sistemes químics reals, i els pobres àtoms estan molt lluny de ser reals, tot i que són fantàstics com a metàfores, analogies, símbols, representacions... el que es vulgui.

Sense els àtoms, la química és una artesanía poc interessant, però només amb àtoms no hi ha química!

### Referències bibliogràfiques

- BENSAUDE, V. B. (2008). *Matière à penser: Essais d'histoire et de philosophie de la chimie*. París: Presses Universitaires de Paris Ouest.
- FURIÓ, C.; AZCONA, R.; GUIASOLA, J. (1999). «Dificultades conceptuales y epistemológicas del profesorado en la enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y de mol». *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3): 359-376.
- TALANQUER, V. (2011). «Macro, submicro and symbolic: The many faces of the chemistry "triplet"». *International Journal of Science Education*, 33(2): 179-195.



**Mercè Izquierdo Aymerich**

És doctora en ciències (química) i catedràtica de didàctica de les ciències a la Universitat Autònoma de Barcelona, on ha fet classes de química, història de la química i didàctica de les ciències. La seva recerca es dedica de manera específica al llenguatge i als aspectes històrics i epistemològics que tenen influència en l'ensenyament de la química. Ha dirigit tesis doctorals en didàctica de les ciències i ha participat en programes de formació de professors en actiu i ha col·laborat en projectes de recerca. És coeditora de la revista *Enseñanza de las Ciencias*.

A. e.: [merce.izquierdo@uab.es](mailto:merce.izquierdo@uab.es)