

Educació química. *Educere* o *educare*?

Chemical Education. *Educere* or *educare*?

Claudi Mans i Teixidó / Catedràtic emèrit del Departament d'Enginyeria Química i Química Analítica, Facultat de Química, Universitat de Barcelona



resum

L'article és una reflexió personal sobre la introducció de concepcions i concepcions alternatives en l'àmbit de la química al llarg de l'escolarització, d'educació infantil a batxillerat. S'analitzen els cinc punts bàsics que, en opinió de l'autor, caldria assumir en l'educació de la química, així com les lleis fonamentals de la ciència química que haurien de quedar ben establertes en acabar l'escolarització, i com poden treballar-se tenint en compte les possibles concepcions presents en l'alumnat.

paraules clau

Concepcions, concepcions alternatives, canvi químic, reacció química, conservació de la massa.

abstract

The article is a personal reflection on the introduction of conceptions and alternative conceptions in the field of chemistry throughout schooling, from early childhood education to high school. It analyzes the five basic points that, in the opinion of the author, should be assumed in the education of chemistry, as well as the fundamental laws of chemical science that should be well established at the end of schooling, and how they can be introduced taking into account the possible conceptions present in the students.

keywords

Conception, alternative conceptions, chemical change, chemical reaction, mass conservation.

Educació química. *Educere* o *educare*? Els cinc punts inicials

Ja fa molts anys, en una formació no reglada per a monitors de temps de lleure, un expert insistia que educar ve d'*educere*, que vol dir ajudar a treure de dins el que l'infant ja té, i que aquesta era la missió de l'educació, més que no subministrar coneixements o tècniques. Altres experts, en canvi, deriven educar d'*educare*, en el sentit de dirigir o encaminar cap a un objectiu. Finalment, altres suggereixen que el primer deriva del segon (Castello i Mársico, 1995). El DIEC2 contempla tots dos significats: en la seva primera accepció, diu que educar és «ajudar (algú) a desenvolupar les seves

facultats físiques, morals i intel·lectuals» i, en la segona accepció, «transmetre (a algú) coneixements, actituds, valors o formes de cultura». És a dir, treure de dins, i després, afegir-hi coses a sobre.

Educar en química seria, doncs, ajudar a treure allò que l'individu té ja a dins, i afegir-hi després coses per guiar-lo cap a una destinació. Caldrà veure, doncs, què es té a dins abans de l'etapa educativa que estem treballant; i cap on volem anar i on volem arribar, per tal de decidir quins continguts nous cal afegir-hi. L'objectiu d'aquest article és reflexionar sobre tot plegat. En la major part de matèries, el creixement d'un curs a un altre es fa, si

es pot, en espiral. Es tracten els mateixos temes, partint del que ja se sap, incorporant noves idees més aprofundides, amb més participació de les matemàtiques que es van sabent, i amb evolució del llenguatge, des del quotidià fins al científic.

En opinió de l'autor, al llarg del procés d'educació en química han d'anar-se treballant cinc punts bàsics, a nivells progressivament més avançats (Mans, 2015a). En una primera redacció elemental, són els següents:

– La química tracta de *substàncies*, no d'objectes.

– Cada substància té unes *propietats* que la fan diferent d'altres substàncies.

– Les substàncies tenen una *estructura* no visible a ull nu, que amb tècniques adequades es poden dilucidar fins a arribar al nivell de molècules, ions i àtoms.

– Les substàncies poden transformar-se en altres substàncies diferents, i d'això se'n diu *canvi químic* o *reacció química*.

– En tot canvi químic es *conserva la massa* (grams) de tot el conjunt de substàncies.

Altres qüestions fonamentals són també la conservació de l'energia, l'espontaneïtat de les reaccions químiques degut a diferents tipus de forces impulsores, i l'equilibri de les reaccions i la velocitat a la qual transcorren, incloent-hi el concepte d'energia d'activació.

Els termes *substància*, *propietat*, *estructura*, *canvi químic* i *massa* tenen un valor quotidià, i també un sentit científic no necessàriament coincident. En tot cas, han d'estar ben explicitats de forma unívoca i inequívoca en tots dos sentits. Analitzem-los un a un.

– Distingir un *objecte* de la *substància* que el conforma és un concepte elemental que es fa als nivells inicials d'ensenyament. A partir d'aquí, es pot arribar al concepte de *substància pura* tot inspeccionant els materials que formen un objecte i separant-ne els components de les mesclures –les diferents substàncies químiques– amb tècniques elementals ben conegudes. Poden ser més difícils de visualitzar les substàncies presents en els éssers vius perquè les estructures biològiques amaguen la presència de les substàncies que les componen.

– Les *propietats* que atribuïm als objectes i a les substàncies són nombroses i es van incrementant al llarg dels nivells d'ensenyament. Les més senzilles són les seves dimensions, el volum i la massa. A continuació, els estats físics –no tan elementals, com veurem–, les propietats mecàniques (elasticitat, flexibilitat,

duresa, fragilitat...), les propietats organolèptiques (color, olor, sabor, tacte) i les propietats fisicoquímiques (solubilitat, oxidació, combustió, fusió...). Aquí som en un moment òptim de distingir la terminologia quotidiana de la científica (per exemple: *pesant vs. dens*, o *espès vs. viscos*).

– A partir de les propietats de les substàncies pures es pot especular –amb el guiatge del professor– sobre quina *estructura* interna poden tenir. El model corpuscular de la matèria permet imaginar partícules individuals que, soles o agrupades, poden explicar el comportament i les propietats de les substàncies, mitjançant els conceptes d'*àtom*, *molècula* i *ió*, i el concepte unificador d'*element químic*.

– El *canvi químic* o *reacció química*, és a dir, la transformació d'unes substàncies en unes altres degut a la interacció entre elles i amb la participació de diferents formes d'energia, pot abordar-se de forma experimental i pot relacionar-se amb els models de l'estructura de les substàncies vistos abans. No sempre és fàcil distingir un canvi químic d'un canvi físic, i a vegades aquests canvis no estan ben –o estan mal– definits.

– La massa és una propietat quotidiana, força intuïtiva, fàcil d'entendre i determinable experimentalment. La *conservació de la massa* en tot canvi químic té unes implicacions que seran comentades posteriorment.

– Els conceptes d'*equilibri químic* i de *velocitat de reacció*, fonamentals en la comprensió de les reaccions químiques, seran també tractats posteriorment.

Visió de l'alumne en entrar a la secundària

Mercè Izquierdo (2011) va publicar com a coordinadora el llibre *Química a infantil i primària. Una nova mirada*, on un grup de setze mestres –el grup de treball Kimeia– presenten reflexions i

experiments relacionats amb el canvi químic, i analitzen els fenòmens que observen. Als diversos experiments que s'hi descriuen hi ha detallades les intervencions orals, escrites i dibuixades dels nens. El que hi ha al sistema estudiat i el que li passa queda molt clar. Però les respostes als perquè, òbviament, solen ser un conjunt d'especulacions no validables per part dels qui les expressen, i que requereixen la intervenció de l'adult, perquè la resposta a un perquè requereix imaginar-ne la causa. Al llibre citat es proposa de fer servir el terme *empenta* –més endavant se n'hi dirà *força impulsora*– per introduir les causes del perquè dels fenòmens que tenen lloc. Aquestes empentes són, en els exemples del llibre, una diferència de temperatura, la presència d'electricitat, la llum solar, certes cèl·lules (en les fermentacions) o l'aigua. De tota manera, aquesta aproximació elemental requereix diverses matisacions a nivells superiors, com es veurà posteriorment.

L'alumne, en acabar la primària, tindrà una terminologia científica i un mapa conceptual, que dependran de la història acadèmica i personal de cadascú. Probablement, la major part de concepcions li vindran de l'educació reglada, i, específicament, de les matèries de ciències naturals, amb els temes de medi ambient, contaminació, alimentació i canvi climàtic. En tots aquests continguts, tant si s'han treballat experimentalment com si no, hi hauran aparegut els noms d'algunes substàncies (aigua, oxigen, diòxid de carboni, metalls pesants) i compostos relacionats amb la nutrició (greixos, proteïnes, carbohidrats, vitamines, sals minerals). També, els noms d'algunes operacions clàssiques, com filtració, separació magnètica, dissolució o destil·lació. En general, no es relacionen de cap manera aquests termes amb aspectes estructurals de les substàncies.

De l'entorn quotidià, la terminologia química que se'n sol tenir és reduïda. Es poden citar els termes *ingredient*, *pH*, *àcid*, *dissolució*, *sal*, i el genèric *químics* –anglicisme que significa ‘producte químic’– que és un concepte pejoratiu relacionat amb els additius dels aliments o cosmètics formulats. Alguna terminologia química procedent de la publicitat és tècnicament complexa perquè suggereix l'expertesa que té l'empresa anunciant en preparar els seus productes; per exemple, *àcid hialurònic* o *retinol*. Comparativament, els termes derivats de la física presents en la vida quotidiana són molt més nombrosos i d'ús quotidià no científic: *pes*, *volum*, *força*, *energia*, *potència*, *voltatge*, *resistència*, *diòptria*, *radiació*, *infraroig*, *ultraviolat*, *microones*, *radar*, *radioactivitat*, *temperatura*, *espès*, *dens*, *calor*, *treball* i *color*, entre d'altres.

L'alumne, en acabar l'educació primària, també tindrà algunes concepcions generals sobre –i contra– la química. Els habituals són considerar que la química és protagonista de la degradació del planeta, que els productes químics (els químics) són intrínsecament dolents per a l'alimentació i el medi, i que el petroli i el seu derivat el plàstic són intrínsecament dolents, i caldria que tot fos natural, sostenible, de proximitat, i de quilòmetre zero. Aquestes concepcions, que també alguns professors tenen, caldria anar-les matisant i quantificant, però això no és l'objecte d'aquest article. Distingir ciència química d'indústria química, i producte químic de contaminant químic, no sembla que hagués de costar gaire, en principi.

Tota la terminologia quotidiana citada expressa les concepcions que l'alumne té, no prou explicitades, no quantificades i no prou precises. Però, evidentment, i com sempre en l'educació, per avançar cal partir de la terminologia no reglada, i, amb

les tècniques pedagògiques adequades, anar-la convertint en terminologia científica, amb unitats i ordres de magnitud, que caldrà anar treballant de forma explícita, no per substituir l'una per l'altra, sinó per ser conscients que hem de conèixer-les totes dues:

Per exemple, quan es diu que el Sol sortirà a les 7 del matí, gairebé tothom té clar que el Sol no surt, sinó que és la Terra la que hi gira al seu voltant. Això no porta a cap confusió. El llenguatge quotidià es resisteix als canvis...

Un altre exemple: per aprofundir en el concepte d'energia l'autor solia proposar que els assistents anessin dient termes en els quals sortís el concepte, com energia eòlica o energia solar. Després s'anaven reduint els uns als altres fins a quedar-nos en cinc: energia potencial, energia cinètica, energia interna, calor i treball –que no són formes d'energia sinó formes de transferir-la– i que encara es poden reduir més. I això no nega que es pugui fer servir el terme energia en infinitud de situacions quotidianes. Del que es tracta és de poder distingir les situacions en què la publicitat vol fer passar el terme quotidià per científic. (Mans, 1990)

Finalment, l'alumne tindrà també idea d'un parell de concepcions científiques fonamentals per a la química: la idea de la *conservació de la massa* (que probablement s'hi refereixi com a *conservació de la matèria*), i que estarà lligat als conceptes de *propietat* i de *mesura*. També li hauran parlat i li hauran fet treballar el *mètode científic*, probablement sense una experiència prou rigorosa, però tindrà la terminologia més o menys explicitada d'*hipòtesi*, *validació* i *conclusions*:

L'aproximació favorita de l'autor al mètode científic comença explicant el conte de la Rinxols d'Or. A la caseta dels ossos la Rinxols d'Or mesura

l'alçada de les cadires, la temperatura de la sopa, la concentració de sal... Segueix la metodologia correcta, que primer identifica objectes i substàncies, els atribueix propietats i els mesura. La Rinxols d'Or no avança més en el mètode científic i es queda en aquesta fase inicial, potser perquè ha de fugir dels ossos... (Mans, 2016).

La proposta de continguts del currículum dels diferents nivells de l'educació canvia amb el temps i amb els governs. Molts dels continguts fonamentals no solen canviar gaire, però sí la quantitat de temps que se'ls pot dedicar, perquè en general s'hi va afegint contingut nou sovint relacionat amb les tendències socials emergents, com aspectes de gènere o emergència climàtica. Això passa a primària i el mateix passa a la secundària.

El pas a secundària. Les lleis de conservació

Siguin quins siguin els continguts detallats a cursar, en l'ensenyament secundari cal donar expressió quantitativa als fenòmens que s'observen a la naturalesa, al laboratori o a la vida quotidiana. Per poder-ho fer cal explicitar les *variables* que intervenen en el sistema que s'està caracteritzant, i aplicar-hi adequadament les diferents lleis que la ciència ha anat identificant i que s'apliquen de forma general a tots els sistemes. Aquestes lleis són de tres tipus: les lleis de conservació, les lleis dels equilibris i les lleis cinètiques (Costa et al., 1984). La segona llei de la termodinàmica, establerta amb posterioritat a les anteriors i també fonamental, és en canvi una llei de no conservació.

Hi ha diverses lleis de conservació en el món de la física i la química, que al llarg de la història s'han anat obrint pas i consolidant en la forma actual. La *conservació de la*

quantitat de moviment (o, com es va dient actualment per influència anglosaxona, la conservació del moment) i la seva anàloga en sistemes rotatoris, la *conservació del moment angular*, són de gran importància en la mecànica clàssica, la relativista i la quàntica, però no tant en el món de la química macroscòpica. És molt interessant el desenvolupament històric d'aquests principis, que es van fer al llarg de més de quatre-cents anys i on van intervenir Newton, Descartes i Kepler.

La *conservació de l'energia* és cronològicament posterior a la llei anterior. Té importància en la química i especialment en enginyeria química, però és molt més abstracta que la de conservació de la massa. Ha tingut moltes formulacions i s'ha anat estenent la seva validesa a mida que s'hi han anat incorporant formes d'energia més enllà de la mecànica, amb els treballs de Hooke, Black, Rumford, Joule i Mayer. El fet que les diferents formes d'energia es mesurin amb diferents procediments i unitats i que no hi hagi *energíometres* generals, fa que la conservació de l'energia sigui molt difícil de visualitzar (Mans, 1990). Una forma simplificada n'és el primer principi de la termodinàmica, on es tenen en compte només efectes tèrmics, i encara normalment només en sistemes tancats. L'alumne no té quasi cap d'aquests conceptes com a concepció prèvia, perquè tots s'adquireixen en l'educació reglada que encara no ha cursat. N'exceptuem el concepte de calor, relacionat amb la temperatura del sistema, i les nocions elementals de calorimetria. L'*entalpia* i l'*energia lliure de Gibbs* són conceptes inventats per facilitar els càlculs, però, en opinió d'alguns autors, podrien ser prescindibles a l'ensenyament no universitari. Al seu torn, l'*entropia* és una magnitud de la qual naturalment no se'n té cap concepció, i ni tan sols se'n

coneix el nom. La seva introducció és un bon moment de fer veure un aspecte important de la ciència: la necessitat d'inventar conceptes i variables amb propietats *ad hoc*. Efectivament, el concepte d'entropia va ser inventat per Clausius a partir de plantejaments anteriors de Kelvin i Carnot precisament per tal de tenir una magnitud que creixés en els processos espontanis (Mans, 2004). La seva interpretació molecular va ser molt posterior.

La llei de *conservació de la massa* es coneix sovint com a llei de conservació de la matèria. Aquesta confusió entre la matèria –concepte general– i una de les seves propietats –la massa– és freqüent, però no ha de generar cap problema, un cop explicitada. Aquesta llei de conservació vertebrava els cursos de química des de la seva popularització per Lavoisier i la posterior acceptació per part del món químic. Prèviament Newton havia definit el concepte de sistema tancat, i el concepte de *massa*, diferenciada del *pes*. De tots els principis de conservació, el de la massa sembla el més senzill i intuïtiu, malgrat que fos el darrer a fixar-se. De fet, es pot imaginar que és la fase darrera de les progressives etapes evolutives de l'individu, postulades per Piaget des de 1945: primer, la conservació de la identitat d'un objecte per part de l'infant de pocs anys; posteriorment la conservació del nombre d'objectes d'un conjunt, i, després, la conservació de la *quantitat de substància* d'un objecte en manipular-lo –quantitat de substància en el sentit quotidià, no en la seva definició química– ben demostrada per a infants de fins a sis anys: són ben coneguts els experiments que Piaget feia amb infants que manipulen quantitats de fang o plastilina, en els quals s'aprecia l'adquisició del concepte de conservació de la quantitat de matèria, determinat per la mesura qualitativa i

quantitativa de volums, de longituds i, finalment, de pesos (Piaget, 1972). Tot alumne d'ESO té aquest principi ben establert.

La formulació elemental del principi de conservació de la massa és l'extensió de les idees de conservació de matèria aplicada a sistemes en els quals hi ha algun canvi físic –un canvi d'estat– o alguna reacció química que en canvia la composició: la seva expressió conceptual és que *la massa es conserva en tot procés tancat*. Però la seva validesa és general, no només per a sistemes tancats propis del laboratori, sinó per a sistemes oberts, estacionaris i no estacionaris, que són els que existeixen majoritàriament a l'entorn. En particular, a tots els sistemes biològics amb matèria viva –inclòs el mateix alumne– i que tenen entrades i sortides de substàncies se'ls pot aplicar una versió del principi en què en lloc de masses cal usar cabals, és a dir, masses per unitat de temps. Aquest plantejament, que no es detallarà aquí, és normalment absent dels programes, però en opinió de l'autor és imprescindible per incorporar la realitat quotidiana als plantejaments acadèmics.

Una aproximació inicial molt senzilla a l'*ús de sistemes oberts* és l'estimació de la variació de la massa d'un automòbil a mida que circula, en què va consumint carburant. Una altra aproximació és el càlcul de com varia la massa acumulada del sistema «habitatge de l'alumne» amb les bosses de la compra, l'aigua que hi entra, la que en surt, i la massa de les deixalles que es llenquen per qualsevol via. A la figura 1 s'il·lustra la diferència entre sistemes oberts i tancats des del punt de vista de la matèria i l'energia, mitjançant l'anàlisi d'un clàssic experiment, sobre la funció clorofíl·lica.

La campana de vidre és un sistema tancat, des del punt de vista de la matèria. De a a b: el ratolí –un sistema obert– mor per

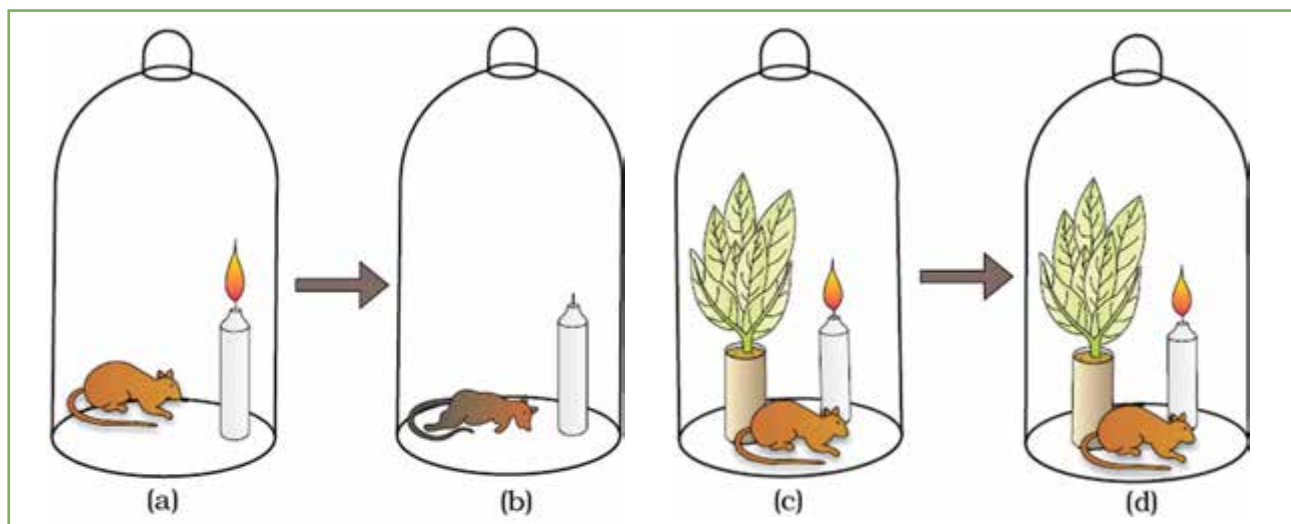


Figura 1. Esquema de l'experiment de Joseph Priestley (1733-1804) sobre la funció clorofil·lica.

manca d'oxigen, que ha consumit l'espelma, que és un altre sistema obert. De c a d: la campana és il·luminada per la llum solar, que penetra a l'interior perquè des del punt de vista de l'energia és un sistema obert. L'espelma, la planta i el ratolí generen CO_2 en la seva combustió i respiració, però la planta a més genera oxigen per la funció clorofil·lica, que permet que l'espelma segueixi cremant i el ratolí segueixi respirant. Si les dimensions dels tres objectes i organismes són les adequades, pot arribar-se a un estat quasi estacionari, que es mantindrà mentre l'espelma no es consumeixi totalment i la planta i el ratolí tinguin prou nutrients.

Val a dir que l'aproximació que s'ha fet fins aquí és clàssica, i no entra en el món de la física o química quàntiques, amb les lleis de conservació de la càrrega elèctrica, de la càrrega de color, o la simetria CPT dels processos físics en els quals s'inverteix simultàniament la càrrega (C: les partícules passen a antipartícules), la paritat (P: canvis de l'spin i altres canvis espacials) i el temps (T: inversió del sentit del temps).

L'equilibri químic

El concepte genèric d'*equilibri* és molt anterior a la seva intro-

ducció en química, tant històricament com en les vivències personals de cada individu. Els equilibris mecànics són quotidians, tant els estàtics –una pila d'objectes en equilibri– com els dinàmics, com un balancí amb masses iguals a ambdós costats, o una balança mecànica clàssica. La concepció més estesa sobre els sistemes en equilibri és considerar que es tracta de sistemes que *no es decanten vers cap dels seus extrems*. La publicitat de cosmètics, d'aliments preparats o d'aigües minerals ha estès aquesta idea a bastament, però aquest és un mal punt de partida per a la introducció del concepte d'equilibri químic. Caldria distingir clarament entre els equilibris –físics– entre fases i els equilibris de les reaccions químiques, inclosos els equilibris de les dissolucions.

Les reaccions químiques més habituals de l'entorn són les combustions –en els vehicles, a la cuina, a la pirotècnia o a la calefacció–, les fermentacions –per fabricar iogurt, cervesa, vi o vinagre–, les oxidacions de metalls o de fruites i les reaccions de Maillard i caramel·litzacions a la cuina. Al laboratori escolar es poden portar a terme moltes reaccions senzilles, per exemple entre àcids i bases. La seva

modelització es fa a vegades amb recursos com l'ús de peces de Lego (Mans, 2014), però en tots els casos citats les reaccions són completes i irreversibles i no s'hi donen situacions d'equilibri químic.

La dissolució de compostos iònics com el clorur de sodi (Na^+Cl^-) sol considerar-se un fenomen físic, amb l'argument que en evaporar l'aigua del sistema es recupera tota la sal inicial. Però no hi hauria d'haver dubte en classificar el procés com una reacció química, perquè desapareix l'espècie inicial i apareixen ions Na^+ i Cl^- solvatats, de propietats radicalment diferents al sòlid iònic del qual provenen. Que l'evaporació retorni la sal inicial només demostra que el procés és reversible. La interpretació del fenomen de la dissolució com a físic reforça indirectament la concepció alternativa –i errònia– que totes les reaccions químiques serien completes i irreversibles.

L'equilibri químic és un fenomen contraintuïtiu, inesperat per a l'alumne, i adquirit només per la informació que el professor aporta a la classe. De situacions d'equilibri químic no n'hi ha exemples quotidians fàcils d'identificar, i només n'hi ha algun d'equilibri físic entre fases, com una barreja

d'aigua i gel a 0° C en la qual no canvien les proporcions de líquid i sòlid. Per comprendre i acceptar el concepte d'equilibri químic cal haver assimilat el concepte de reacció i la seva estequiometria; acceptar que existeixen les reaccions reversibles, que combinen una reacció directa i una altra d'inversa, i que hi ha reaccions d'aquestes que, en un recipient tancat, poden arribar a unes condicions en les quals la composició no canvia amb el temps, i on hi ha presents simultàniament reactants i productes; i, finalment, que les concentracions de reactants i productes en equilibri són sensibles a canvis de concentració, pressió i temperatura del sistema. La modelització matemàtica de tot plegat porta al concepte de *constant d'equilibri*, que permet predir cap a on evolucionarà una barreja inicial en condicions especificades o en variar les condicions de l'entorn. Els equilibris en reaccions iòniques, relacionats amb la solubilitat, la precipitació de sals i el pH de solucions d'àcids, bases i sals, són genuïnes situacions d'equilibri en sistemes tancats. Però la manca indicada en l'apartat anterior segueix present: els sistemes tancats en equilibri no són majoritaris en la realitat, ni en la indústria ni en els sistemes biològics, i caldrien aproximacions didàctiques més realistes per a sistemes oberts per tal d'abastar exemples més pertinents per a l'alumne.

Un exemple qualitatiu elemental de sistema obert es troba en l'agricultura. En condicions donades de temperatura i pluja, un camp evoluciona de forma natural fins a una situació final d'equilibri, amb plantes d'una certa alçària i massa. L'agricultura es basa a allunyar aquest camp de l'equilibri: es retiren les plantes –el producte– per allunyar el terreny de l'equilibri al qual havia arribat, i permetre així una nova collita, amb nous reactants.

La vinya del meu avi, a la Serralada Litoral, es va abandonar a la seva mort, el 1962. En no cultivar-la, no podar-la ni eliminar la vegetació no genuïna la vinya desapareix, espontàniament les pinedes dels seus costats s'hi van estenent i amb els anys hauria arribat al seu estat d'equilibri, una pineda com les altres. Un incendi (a la foto el de l'any 2003) elimina la vegetació herbàcia i els matolls, allunya el sistema de l'equilibri, i al cap de pocs dies torna a rebrotar la vegetació, anant novament a l'equilibri. L'incendi fa la mateixa funció que

l'agricultor, des d'aquest punt de vista (fig. 2).

A la cuina es poden trobar molts exemples quotidians de sistemes oberts. Una fregidora domèstica (fig. 3) s'analitza com a sistema de reacció. A una fregidora amb oli hi tenen lloc moltes reaccions diferents, algunes desitjables i altres no. L'oli calent, a 150-180°C, escalfa sobtadament els aliments i així s'aconsegueix fondre els greixos, vaporitzar l'aigua superficial i trencar parets cel·lulars que desprenen la seva aigua, que majoritàriament es vaporitza



Figura 2. Rebrot de la vegetació després d'un incendi en una antiga vinya de la Serralada Litoral.



Figura 3. Fregidora amb oli calent.

també. Tots aquests són canvis físics. Els canvis químics principals són els següents: a aquestes temperatures les proteïnes es descomponen alliberant aminoàcids, que reaccionen amb els hidrats de carboni presents provocant amb més o menys intensitat les reaccions de Maillard, que canvien el color, l'olor i el sabor dels aliments que s'estan cuinant. L'oli és inicialment un simple vehicle per a la transmissió de calor, però la presència simultània de vapor d'aigua i oli calent –format per triglicèrids– els hidrolitza i es generen compostos polars, com àcids grassos lliures i glicerina. Tot plegat augmenta la viscositat del bany d'oli, i també l'enfosqueix. Aquests compostos polars romanen al bany, i per això l'oli es degrada i cal canviar-lo periòdicament. La fregidora és, doncs, un reactor químic multifàsic, que treballa per càrregues successives, en estat no estacionari, i més o menys isoterm, i no s'arriba a cap equilibri al seu interior, perquè s'aturen les reaccions en treure els aliments quan es creu que estan prou cuits.

Espontaneïtat de les reaccions químiques

La qüestió de per què tenen lloc unes reaccions i unes altres no, i per què unes van ràpides i altres no, planteja dos tipus de problemes, el primer d'índole termodinàmica i el segon, cinètica. A nivell d'infantil i primària el perquè passen uns fenòmens i altres es pot atribuir, com ja s'ha citat, a l'existència d'alguna *empenta* o força impulsora, però aquesta és una visió parcial, que més endavant cal afinar i quantificar. Recordem que per a cada substància s'avalua quanta energia conté, i per fer-ho se li calcula la funció termodinàmica denominada *energia lliure de Gibbs*, que en la seva definició inclou les

funcions d'estat entalpia i entropia, i que depenen de l'energia dels enllaços químics que constitueixen la substància. Per a una determinada reacció química es pot calcular, doncs, la diferència entre l'energia de Gibbs dels productes i la dels reactants, i el valor d'aquesta diferència és la *força impulsora* que determina si la reacció es donarà o no. Si és negativa, la reacció tindrà lloc espontàniament, des del punt de vista termodinàmic; si és zero la reacció és en equilibri, i si és positiva la reacció no tindrà lloc espontàniament. Però no sempre té lloc una reacció, per molt favorable que sigui la termodinàmica: cal tenir presents també els aspectes cinètics.

La cinètica de les reaccions químiques

Com en el cas de l'equilibri, el concepte de *velocitat* és quotidià quan es refereix al moviment. La seva definició conté la variable temps. En observar l'evolució de les reaccions químiques –per exemple, les citades en parlar de l'equilibri– es veu que n'hi ha de ràpides –les reaccions pirotècniques–, i de molt lentes, com les oxidacions de metalls a l'aire lliure. Per tal que tingui lloc una reacció, es requereix que es promoguin els reactants a un nivell superior d'energia del que tenen, mitjançant el subministrament des de l'exterior d'una certa quantitat d'energia, l'*energia d'activació*. Els reactants inicials s'han transformat en altres substàncies derivades, que són les que transformen productes. Distingir entre força impulsora i energia d'activació és essencial en aquest punt: per més gran que sigui la força impulsora –i, per tant, més afavorida estigui la reacció, des del punt de vista termodinàmic– no tindrà lloc a una velocitat perceptible si l'energia d'activació que es

requereix per iniciar-la és molt alta. Els diagrames d'energia amb què els textos docents representen aquests fenòmens no sempre són correctes (Mans, 2012), entre altres motius perquè usen termes com *avenç de la reacció* o *coordinada de reacció*, molt inexactes i mal definits. La dificultat de comprensió d'aquests conceptes no és herència de les concepcions amb què l'alumne pugui venir, sinó, a vegades, de les contradiccions entre els textos docents i les concepcions del mateix docent.

Els reactors industrials per a la fabricació de productes útils poden ser molt complicats, i han de tenir en compte la termodinàmica i la cinètica de les reaccions que s'hi han de dur a terme. Un exemple paradigmàtic n'és el reactor d'amoniac dissenyat inicialment per Haber i Bosch. La reacció de síntesi de l'amoniac és exotèrmica i amb reducció del nombre de mols. Per raons termodinàmiques, doncs, el reactor ha de treballar a alta pressió i a baixa temperatura; però a baixa temperatura la velocitat de la reacció és molt baixa, i per això, per raons cinètiques, la temperatura ha de ser força alta, malgrat la termodinàmica. La figura 4 representa esquemàticament un complicat reactor catalític industrial actual per a la síntesi de l'amoniac a partir dels gasos nitrogen i hidrogen mitjançant la reacció de Haber-Bosch. Hi ha representades tres entrades de la barreja estequiomètrica dels gasos (dues a la part superior i una a la inferior) i una única sortida a la part inferior dreta, amb els gasos no reaccionats i l'amoniac obtingut, tots barrejats. Hi ha representat el catalitzador, en groc a la part superior, i bescanviadors de calor interns entre els gasos d'entrada i de sortida, indicats en vermell al centre superior i a

la part inferior. És un sistema obert amb entrades i sortides de matèria, que treballa en estat estacionari, a alta pressió per raons termodinàmiques. i a temperatura força alta per raons cinètiques.



Figura 4. Esquema d'un reactor catalític industrial actual per a la síntesi de l'amoníac mitjançant la reacció de Haber-Bosch.

En conclusió

– Cal usar d'entrada el llenguatge de l'alumne, el propi de l'etapa anterior, amb l'objectiu de fer-lo evolucionar.

– De la major part de termes i conceptes químics que s'introdueixen a l'aula l'alumne no en té cap idea ni concepció perquè no formen part del seu univers cultural i social. És a l'ensenyament reglat quan s'introdueixen.

– La realitat no s'ha de descriure de forma simplificada, sinó que s'ha d'abordar amb tota la complexitat, inicialment de forma qualitativa. El que ha de ser simplificat és el model

d'explicació que s'usarà per anar intentant explicar els perquès, distingint clarament el que és la realitat i el que és el model, i no estenent el model a objectes o substàncies a les quals ja no és aplicable. Per exemple, en la realitat la matèria no es presenta només en els estats sòlid, líquid i gas que es descriuen en el model simplificat, sinó que hi ha una immensa varietat de substàncies toves al nostre entorn quotidià, començant pel nostre cos.

– Cal no donar la idea que el progrés en la ciència és un camí lineal i que desemboca ineludiblement en les idees actualment considerades correctes. L'avenç ha estat ple de dubtes i teories abandonades, com es pot veure en estudiar l'evolució dels conceptes àcid-base, oxidació-reducció, o la teoria atòmica. L'estudi de l'evolució de les idees és una bona manera d'educar en el mètode científic.

Referències

- CASTELLO, L.; MÁRSICO, M. C. (1995). *Diccionario etimológico de términos usuales en la praxis docente*. Buenos Aires: Altamira.
- COSTA, J.; CERVERA, S.; CUNILL, F.; ESPLUGAS, S.; MANS, C.; MATA, J. (1984). *Curso de Química Técnica. Una introducción a los procesos químicos, las operaciones unitarias y los fenómenos de transporte en la Ingeniería Química*. Barcelona: Reverté.
- IZQUIERDO, M. (COORD.); GRUP DE TREBALL KIMEIA (2011). *Química a infantil i primària. Una nova mirada*. Barcelona: Graó.
- MANS, C. (1990). *Una classe sobre l'energia* [en línia]. <<https://cmans.wordpress.com/2021/09/27/textos-introbables-1-8-una-classe-sobre-lenergia-1990/>> [Consulta: març 2022].
- (2004). «Entropòlegs». *Notícies per a Químics (NPQ)*, núm. 421, p. 15-21. Disponible en línia a: <<https://issuu.com/colquim->

<[cat/docs/npq_421](https://issuu.com/colquim-cat/docs/npq_421)> [Consulta: març 2022].

- (2012). «Coordenada de reacció?». *Educació Química EduQ*, núm. 11, p. 12-16. Disponible en línia a: <<https://raco.cat/index.php/EduQ/article/view/264594>> [Consulta: març 2022].
- (2014). «De com l'àtom esdevé una peça de LEGO. Una visió crítica», *Educació Química EduQ*, núm. 19, p. 33-38. Disponible en línia a: <<https://raco.cat/index.php/EduQ/article/view/305055>> [Consulta: març 2022].
- (2015a). «El que tothom ha de saber de química», *Perspectiva Escolar*, núm. 384, p. 6-13.
- (2015b). «Sustancias y productos cotidianos». *Alambique*, núm. 82, p. 45-52.
- (2016). *La química de cada día*. Barcelona: Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona. [El primer capítol es pot consultar en línia a Google Books.]
- PIAGET, J. (1972). *El nacimiento de la inteligencia en el niño*. Madrid: Aguilar. [Trad. de la 3a ed. de l'original de 1959 (Neuchâtel: Delachaux&Niestlé).]



Claudi Mans i Teixidó

Nascut a Badalona (1948), és catedràtic emèrit d'enginyeria química de la Universitat de Barcelona, on va ser professor des de 1971. A part de la recerca bàsica i aplicada en el camp de l'enginyeria química i els tensioactius, està interessat en la ciència de la vida quotidiana, especialment la química de la cuina, la didàctica de les ciències experimentals i les interfases universitat-batxillerat i primària-secundària. Té diversos guardons en aquestes temàtiques. A/e: claudimans@gmail.com