

Com es veuen els àtoms a la llum d'una espelma i com es compliquen més i més

How are candlelight atoms and how they become more and more complicated

Joan Aliberas i Mercè Izquierdo / Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals

Fina Guitart / Departament d'Ensenyament. CESIRE



resum

En aquest article proposem l'ensenyament d'un «àtom» que acompanyi els alumnes en la pràctica de la química a l'ensenyament bàsic. Sovint, els àtoms es presenten com si fossin objectes, unes boletes de colors que s'agrupen de maneres diverses. Però els àtoms no són visibles ni als microscopis òptics més potents; són entitats construïdes per la ciència que esdevenen «reals» i útils en les explicacions sobre els canvis químics. Volem que els alumnes també construeixin aquest «àtom», alhora que van coneixent canvis químics i que aprenen a intervenir-hi.

paraules clau

Àtom químic, química per a tothom, element, model de canvi químic, propietats de les substàncies.

abstract

In this paper we are speaking about an «atom» which would be adequate to the basic teaching of chemistry. Often, atoms are represented by colored balls, as objects. But atoms are not visible even to the most powerful optical microscopes; they are entities built by science that become «real» and useful for explaining chemical changes. We also want the students to build this «atom» while they are learning about chemical changes and they learn how to intervene with them.

keywords

Chemical atom, chemistry for everybody, element, chemical change model, properties of substances.

Introducció

Probablement una de les experiències humanes més meravelloses va ser el fet de poder encendre foc, que donava a les persones una capacitat nova i fascinant, la de transformar els materials: els aliments cuinats oferien moltes més possibilitats que els crus, el fang adquiria colors i textures noves, d'algunes pedres s'obtenien metalls i es podien preparar medicines (i verins). Però no era fàcil assolir expertesa en tots aquests camps, tan diversos, que van anar

desenvolupant diferents especialistes, amb més o menys fortuna i responent les demandes que rebien. Tot i les diferències, la manera de treballar, els estris i els llenguatges amb els quals identificaven els materials que utilitzaven, establien relacions entre ells: cuiners, alquimistes, apotecaris, etc., compartien el mateix interès per aquests canvis tan sorprenents, durant els quals alguns materials desapareixien mentre se'n formaven de nous.

A poc a poc, algunes regularitats es van fer evidents

i va anar emergint la química: alguns materials no desapareixien del tot perquè tornaven a aparèixer, la massa es conservava (quan es va comptar amb els gasos), les proporcions entre les quantitats d'interacció eren constants... S'establien les mateixes regles per a tots els artesans especialistes, que van esdevenir professors investigadors i, amb ells, aquesta feina dispersa de diferents artesans transformadors va esdevenir la ciència del canvi químic, la química (fig. 1).



Figura 1a. Antoine-Laurent de Lavoisier, un dels químics del final del segle XVIII.



Figura 1b. Michael Faraday a la Royal Institution de Londres.

Tot i que la capacitat de transformar els materials és emocionant, la de pensar-hi, fer-se preguntes i buscar respostes, imaginar estructures subjacents per relacionar-les amb les propietats dels materials, ho és encara més. I per això és tan interessant l'àtom que els químics van imaginar molt abans que es tingués una evidència física de la seva existència. Va ser una peça clau en la comprensió i la gestió dels canvis químics que va proporcionar una nova manera de parlar pròpia de la química (amb fórmules i símbols).

La idea d'àtom (vinculada a l'estructura de la matèria i al seu comportament químic) va anar emergint a mesura que la química es feia «ciència quantitativa». Per això no es pot comprendre bé l'àtom sense conèixer el canvi químic, ni el canvi químic sense l'àtom. Perquè l'àtom no es pot imaginar aïllat, l'intuïm a partir de materials que en tenen moltíssims, units els uns amb els altres.

Pensem ara en l'escola. Podem seguir aquest mateix esquema? Hauríem de començar per «veure» canvis químics i conèixer algunes substàncies, gaudir de les sorpreses que proporciona el seu comportament, aprendre a parlar-ne i a representar-los, anar adquirint expertesa en el treball pràctic... i tot això amb l'acompanyament fidel dels àtoms, que van posant ordre en les idees que ens en fem, de tot plegat, perquè ens proporcionen imatges, signes i explicacions d'allò més interessants.

Creiem que això és possible sempre que construïm un bon disseny del procés de «modelització», que consisteix a buscar «models de comportament químic» (posant en evidència les seves regles) per donar significat als «conceptes químics» que, relacionats entre si, constitueixen les teories. És a dir, hem de proposar als alumnes un fenomen o un canvi químic que prengui sentit quan imaginem un àtom adequat. Farem com si l'àtom fos una hipòtesi de treball tipus «peces de LEGO que no són ben bé peces de LEGO». Comencem afirmant que els àtoms es conserven, que amb ells es poden fer estructures molt diverses, que són les substàncies, però... que n'és, d'estranya, la manera com interaccionen aquestes suposades peces! (Chamizo, 2013).

Com que proposem començar pels «capricis» dels canvis químics reals tal com se'ns presenten quan fem experiments, plantejarem, en primer lloc, les «regles» dels canvis químics: allò que sempre hem de pensar quan fem experiments i que el nostre hipotètic àtom ha de poder explicar (així anirem veient que no és una peça de LEGO) (Driver, Guesne i Tiberghien, 1989; Sanmartí, Izquierdo i Watson, 1995).

Les regles dels canvis químics

Ensenyar química és respondre la pregunta «què és el canvi químic?» a poc a poc, pas a pas, ensenyant a intervenir en canvis que estiguin a l'abast dels alumnes. La pregunta es manté oberta, malgrat les respostes que anem confegint: sempre hi ha nous canvis que cal conèixer, sempre hi ha noves característiques de canvis coneguts que no havíem tingut en compte. A mesura que s'adquireix expertesa i que es coneixen noves substàncies, es va compronent en què consisteix la transformació dels materials i es pot explicar fent ús dels conceptes i símbols adequats, que ens ajuden a recordar què ha passat i a aplicar-ho a altres situacions similars. Així, fent, pensant i comunicant, anirem construint els coneixements de química i dominant els seus llenguatges específics.

Els canvis químics semblen màgics, però no ho són: els materials apareixen i desapareixen segons unes regles determinades; la massa, les càrregues elèctriques i l'energia del conjunt es conserven, i, és clar, les quantitats dels materials i les càrregues que intervenen en les interaccions i transferències d'energia que es produeixen són, a més a més, proporcionals. Si 1 g d'oxigen interacciona amb 3,5 g de ferro, 1000 g d'oxigen ho faran amb 3500 g de ferro.

Són aquestes regles les que ens diran com ha de ser el nostre àtom hipotètic, que anirem

Ensenyar química és respondre la pregunta «què és el canvi químic?» a poc a poc, pas a pas, ensenyant a intervenir en canvis que estiguin a l'abast dels alumnes

construint a poc a poc, ben relacionat amb els fenòmens que interpretem per tal que el puguem «veure» en els canvis químics i que no ens sobti la seva peculiar estructura. Haurem de triar amb cura situacions representatives: quotidianes, interpretables, que ens donin pistes per comprendre altres fenòmens similars o per identificar-ne les diferències.

Presentarem, a continuació, quatre grups de fenòmens en els quals aquestes regles es concreten i s'enriqueixen, com ho farà també l'àtom que els acompanya. Com que prioritzem les situacions quotidianes, seleccionarem les següents: les combustions (l'aire), el comportament químic de les dissolucions aquoses i l'acció de l'electricitat en elles (l'aigua), l'alimentació (l'energia per viure) i ensenyar a «llegir» la taula periòdica. Amb això, anirem confegint aquest àtom hipotètic de la química, que s'ha de mantenir «químic» quan vagi esdevenint una partícula física amb parts i estructura.

Les flames, el foc...

Ens dediquem a l'oxigen

L'espelma encesa serà el primer sistema químic a prendre en consideració (fig. 2).



Figura 2a. Espelma encesa.



Figura 2b. L'estudi de les flames va permetre identificar nous elements.

Per què l'espelma? Hi ha molta bibliografia que avala aquesta decisió, que ve d'antic. Faraday, el 1861, hi va dedicar un llibret prou interessant (Faraday, 1965). L'espelma és un objecte familiar, però que pot ser alhora l'origen d'una indagació, a classe, a l'abast dels alumnes. Pot esdevenir un paradigma de la combustió de materials orgànics, de diferents substàncies que s'hi poden reconèixer, d'enginy (l'espelma és un objecte molt ben pensat!), de fenomen que «va sol» (un cop ja ha començat) i que es pot aprofitar per promoure altres canvis i explicacions sobre la relació entre propietats de les substàncies que també depenen de la temperatura (l'aigua que

s'obté és gas a causa de la temperatura de la flama, però pot ser líquida o sòlida a una altra temperatura; la parafina pot ser sòlida, líquida, gas, etc.).

L'objectiu de fer experiments amb l'espelma de parafina encesa és explicar les parts de la flama, fer veure que la flama és un conjunt de materials (blava on hi ha parafina gas, vermella quan hi ha carbó incandescent, diòxid de carboni i aigua invisibles més enllà de la flama), adonar-se que si no hi ha oxigen la flama s'apaga i el procés s'atura... L'espelma cada vegada és més petita perquè la parafina que la forma desapareix; l'oxigen també es gasta, però la massa de la parafina i de l'oxigen que es perd correspon a la de les noves substàncies que s'han format: diòxid de carboni i aigua.

Si, tal com diu la química, els materials estan fets d'àtoms que són com peces de LEGO que es reorganitzen en els canvis químics, quins àtoms imaginem per poder entendre i representar aquest fenomen?

Aquests àtoms han de ser adequats a aquesta «conservació de la massa» i a les substàncies que hi intervenen: les que «desapareixen» i les que apareixen. On era abans el carbó de la flama? On ha anat a parar l'oxigen? Per això hem de començar parlant dels «elements» que es conserven: la massa que es conserva és «massa d'elements que es conserven». En aquest fenomen, els protagonistes són tres elements: carboni, oxigen i hidrogen. Hem d'inferir que l'espelma està feta dels «elements-àtoms» carboni i hidrogen (perquè n'obtenim aigua i diòxid de carboni). Si donem valors a algunes masses de les substàncies que hi intervenen, podem calcular les altres i anem veient que no «pesen» el mateix totes. Aquesta és una informació cabdal

per poder anar «donant forma» al nostre àtom hipotètic!

Que quedi clar que el material (substàncies) de l'espelma que ha desaparegut no s'ha convertit en energia (encara que la flama pot enlluernar!), sinó que ha donat lloc a altres substàncies, a causa de la interacció amb l'oxigen.

En reaccions entre dues substàncies simples (per exemple, entre el coure i l'oxigen), es fa palès que les masses de reacció són diferents: «poc» oxigen reacciona amb «molt» coure. Això fa pensar que els àtoms-LEGO del coure tenen més massa que els àtoms-LEGO de l'oxigen. Els elements aporten masses diferents, pròpies de cada un, a les substàncies: això és ben estrany, els àtoms no són peces de LEGO!

Podríem dedicar a l'apartat de les combustions molt de temps, vinculades a la composició dels aliments, de les plantes i del petroli, als metalls, a l'oxigen, als gasos que són «reactius», etc. No caldria córrer, si se li dediqués prou temps començant a l'educació primària.

Tots els materials són «elèctrics»? Ens dediquem a l'aigua

Oi que ens preocupa l'efecte, bo i dolent, de les descàrregues elèctriques sobre els sistemes materials, ja que l'electricitat és molt present a les nostres vides? L'electricitat impulsa noves interaccions, amb les quals esbrinem i descobrim un nou àmbit de canvis químics i noves substàncies, i ens adonem que l'aigua té molt a veure amb aquestes interaccions. L'estudi experimental de dissolucions conductores i de les interaccions entre elles (els àcids i les bases, per exemple) requereix imaginar àtoms o grups d'àtoms amb càrrega elèctrica: els ions. La descomposició de l'aigua per electròlisi (fig. 3) ens mostra les

estranyes relacions entre les masses i els volums de l'hidrogen i l'oxigen i, amb això, comprenem millor la informació que ens dóna la fórmula de l'aigua i ens veiem amb cor d'escriure una equació química diferenciant «àtoms» i «molècules».

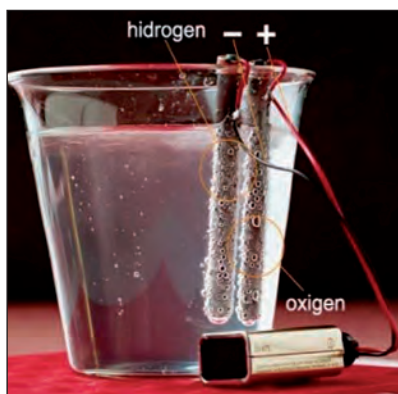


Figura 3. L'electròlisi de l'aigua.

L'hidrogen és un gas interessant (combustible, lleuger, forma aigua quan es crema). Es pot obtenir hidrogen per electròlisi de l'aigua, però també fent reaccionar ferro i àcid clorhídric (el ferro «ha fet» el mateix que l'electricitat: ha produït hidrogen!). Si s'han intercanviat electrons entre les dues substàncies, és que els elements contenen càrregues elèctriques. I, en la mesura que podem «comptar» àtoms, també podem comptar càrregues, perquè hi ha interacció.

Els nostres àtoms hipotètics van progressant: es representen amb símbols, formen ions o molècules i tenen a veure amb l'electricitat. També coneixem noves substàncies. L'hidrogen és un bon combustible i forma aigua, quan es crema. I arribarem a veure que en totes les combustions s'intercanvien electrons.

Podríem passar tot un curs investigant aquestes reaccions, aprenent a escriure, a argumentar, a reconèixer substàncies... El nostre àtom hipotètic cada vegada es fa més real.

Una ullada de conjunt als «sistemes químics»: el «sistema periòdic»

La història de la taula periòdica i l'origen del nom dels elements constitueixen un tema apassionant, ens hi podríem passar mesos i mesos. Ens fa acabar d'entendre que les substàncies simples no són el mateix que els elements (el ferro-element que forma part de l'hemoglobina no és el ferro-metall-substància simple, per exemple), fa pensar en la relació entre els elements i els àtoms, fa passar llista de les substàncies químiques que ja coneixem per situar els seus elements a la taula periòdica i començar a pensar com és que algunes substàncies reaccionen entre elles i d'altres, no. La llei periòdica ens sorprèn, ens fa veure que encara no en sabem prou i fa que ens preguntem el perquè de les diferències de massa entre els elements (fig. 4).



Figura 4. Dmitri Mendelèiev va enunciar la llei periòdica l'any 1869.

La taula periòdica ens suggereix un munt d'idees. En primer lloc, ens fa pensar de nou en la massa dels àtoms dels elements, que ara relacionem amb les propietats de les substàncies de les quals formen part. En segon lloc, ens fa veure que hi ha

substàncies radioactives, que estan formades per àtoms de molta massa, i això ens confirma que hem de pensar en un àtom «elèctric». En tercer lloc, ens fa pensar en els lligams entre els àtoms, que podem relacionar raonablement amb la seva composició elèctrica.

No hem d'oblidar Mendeléiev i el seu disgust quan Marie Curie va començar a parlar d'àtoms que es trencaven i d'elements que es transformaven en uns altres.

Quin àtom imaginem ara? Ara ens crida l'atenció la inexistència en les substàncies d'àtoms «solts» i hem de pensar en els «enllaços». Ens adonem que les reaccions químiques ens mostren el comportament de moltíssims àtoms alhora. I que les estructures de les substàncies simples i compostes ens mostren regularitats que es reflecteixen en les seves propietats físiques.

Per això, «l'àtom que veiem al laboratori», en les reaccions químiques, és «un mol d'àtoms». El sistema periòdic, en la forma de taula que és més habitual, ens dóna la clau per interpretar els resultats d'una quantitat enorme d'interaccions entre moltes substàncies. Quantes històries es podrien explicar, quantes recerques es podrien dur a terme amb relació a aquest tema! Totes són interessants, si es tracta de conèixer el canvi químic. Però, com que el que volem és proporcionar coneixements útils per a la vida, hem de dedicar una atenció especial a les que formen part dels éssers vius, que ens mengem els uns als altres.

La cuina, model per a la química dels organismes

Veiem que aquestes substàncies (les que formen els éssers vius, que són els aliments que mengem) tenen unes característiques pròpies: són delicades, contenen aigua, tenen una

composició semblant (només quatre elements fan gairebé tota la feina), però n'hi ha moltíssimes, molt diverses, i canvien de comportament si canvia només una miqueta la temperatura, o el pH, o la concentració... Haurem de tractar aquestes delicades estructures d'una manera diferent a com tractàvem els minerals o els metalls, o fins i tot l'espelma. I la millor manera de fer-ho és entrar a la cuina, posar-se el davantal i pensar com es pot preparar un bon dinar: els canvis que observarem ens revelaran nous aspectes de les interaccions químiques i, per tant, dels seus protagonistes imaginats, els àtoms.

El treball a la cuina ens revela l'estructura macromolecular de les biosubstàncies que formen les cèl·lules i la funció estructurant de l'aigua, que facilita les interaccions químiques que s'hi produeixen. Aquestes substàncies no són ni gasos ni líquids i, tot i que es troben en aigua, no formen dissolucions transparents, sinó lletoses, com la clara d'ou. Com que ja tenim clar que els àtoms de les substàncies estan enllaçats i formen estructures de les quals depenen les propietats, ara podem interpretar les imatges dels llibres de biologia, tan divulgades en publicacions de tota mena: les llargues i retorçades molècules de proteïnes, de DNA, de greixos i sucres. En podem aprendre dues idees fonamentals: que els àtoms de carboni es poden enllaçar entre si (no gaires elements es poden comportar així!) i que l'aigua es pot «enganxar» en alguns punts de les cadenes i fer-les canviar de forma.

Fer flams, gelatina, mató, coure ous, rostir, fregir, bullir... és fer canvis físics i químics! I el fet de representar algunes de les substàncies que interaccionen ens fa reflexionar sobre les peculiaritats dels enllaços i la

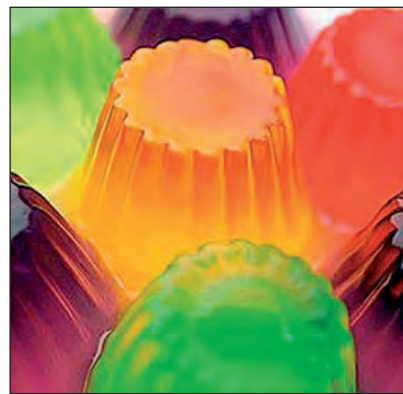


Figura 5. Les gelatines: un exemple d'interacció entre la proteïna i l'aigua.

seva relació amb les estructures tridimensionals de les quals depèn la vida (fig. 5).

I no podem oblidar que la vida «es consumeix com l'espelma que crema», ja que moltes d'aquestes interaccions són combustions més ben organitzades, perquè no «cremen» i, en canvi, proporcionen un treball útil.

El model «canvi químic», l'àtom químic... i també l'àtom físic!

Hem mostrat un possible programa¹ per introduir un àtom que es va definint a mesura que es coneix el canvi químic; a poc a poc, l'afirmació inicial sobre els àtoms (la hipòtesi atòmica, que no posem a prova, sinó que sosté el nostre pensament) s'enriqueix i es consolida. Creiem que l'àtom-partícula-símbol no és el més adequat per «explicar» el canvi químic, perquè és difícil interpretar i pair tot el que representa. Per això parlem de l'àtom químic, que pren significat en la reacció química, i el diferenciem de la partícula que anomenem àtom físic. És aquesta partícula, que va anar prenent entitat a partir de la

1. Aquesta manera de treballar la química s'ha desenvolupat a la unitat «De l'espelma a la taula periòdica: gestionem els canvis químics», del projecte «Competències de pensament científic ESO 12-15», fruit de la col·laboració entre la Universitat Autònoma de Barcelona i el Departament d'Ensenyament.

dècada del 1920, la que va adquirir significat gràcies a la química, no a l'inrevés: començar pel model d'àtom físic per guanyar temps i poder explicar tota la química en pocs anys.

És interessant veure com parlen els llibres de física dels àtoms per veure que poden no referir-se al comportament dels sistemes químics, tot i que fan èmfasi en fenòmens que també interessin a la química. Les reaccions nuclears, els raigs còsmics, els grans aparells que fan xocar partícules són prou interessants. Però ens deixem seduir per la suposada capacitat de manipular partícules. Per molt que els sofisticats aparells actuals

El sistema periòdic, en la forma de taula que és més habitual, ens dona la clau per interpretar els resultats d'una quantitat enorme d'interaccions entre moltes substàncies

(nanotecnologia) ens proporcionin noves maneres d'intervenir, els àtoms que manipulem són àtoms d'elements i es col·locaran de la manera que correspongui a la seva naturalesa química, que els investigadors hauran d'esbrinar.

La proposta que presentem podria formar part d'un programa d'introducció a la química bàsica al llarg de la primària i de l'ESO, en el qual començarem imaginant un àtom-partícula que adquirirà significat químic a poc a poc; amb això, emergeix la magnitud pròpia de la química, la «quantitat de substància», que té com a unitat el mol. Com a resultat d'aquesta aventura, els alumnes coneixeran un bon nombre de canvis químics i, a 3r d'ESO (no abans), els podran explicar amb àtoms-mol, que podran imaginar com una munió de partícules amb parts

(electrons, protons i neutrons) i estructura.

Ara veiem que l'àtom no és una peça de LEGO. En tot cas, cal reconèixer que són molt més complexos que aquestes peces: hi ha un centenar d'àtoms d'elements diferents (i molts més, si comptem els isòtops), tots de massa diferent, irreductibles entre si, tots amb els seus propis «capricis» o maneres de fer.

Referències

- CHAMIZO, J. A. (2013). *De la paradoja a la metàfora: La enseñanza de la química a partir de sus modelos*. Ciutat de Mèxic: Siglo XXI.
- DRIVER, R.; GUESNE, E.; TIBERGHEN, A. (1989). *Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia*. Madrid: Morata.
- FARADAY, M. (1965). *The chemical history of a candle*. Nova York: Viking Press.
- SANMARTÍ, N.; IZQUIERDO, M.; WATSON, R. (1995). «The substantialisation of properties in pupils' thinking and in the history of science». *Science and Education*, núm. 4, p. 349-369.



Joan Aliberas

És llicenciat en ciències químiques i doctor en didàctica de les ciències. Actualment jubilat, ha estat professor de física i química de secundària. Membre del grup de recerca Llenguatge i Ensenyament de les Ciències. Ha col·laborat amb el Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals de la Universitat Autònoma de Barcelona en recerques i activitats relacionades amb la recerca didàctica, la formació del professorat i l'elaboració d'activitats i seqüències didàctiques. A/e: jabibera@xtec.cat.



Mercè Izquierdo

És doctora en ciències (química). És 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 i ha participat en programes de formació de professors en actiu i en projectes de recerca en col·laboració amb universitats de l'Estat espanyol i de l'Amèrica Llatina. És codirectora de la revista *Enseñanza de las Ciencias*. A/e: merce.izquierdo@uab.cat.



Fina Guitart

És doctora en química i catedràtica de física i química a l'INS Jaume Balmes de Barcelona, i actualment treballa al CESIRE del Departament d'Ensenyament. És també professora del Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i la Matemàtica de la Universitat de Barcelona. Ha participat en congressos, jornades i altres esdeveniments relacionats amb l'ensenyament i la divulgació de les ciències i en projectes europeus («Effective use of ICT in Science Education» i «COMBLAB»). És autora de diverses comunicacions i articles en l'àmbit de l'educació química i coeditora d'aquesta revista. A/e: finaguitart@gmail.com.