

Com diferenciar els conceptes de substància elemental i element químic? El relat històric i l'experimentació

How to distinguish the concepts of elemental substance and chemical element? The historical account and the experimental work

Josep Duran / Departament de Química, Universitat de Girona

Fina Guitart / CESIRE, Departament d'Educació i Facultat d'Educació, Universitat de Barcelona



resum

El significat atribuït als conceptes de substància, element i àtom al llarg de la història ha estat clau en el procés de modelització de la composició de la matèria i les seves transformacions. L'article proposa l'ús del relat històric i la realització d'experiments senzills generadors de preguntes i d'evidències en una seqüència-progressió per construir coneixement a partir d'una situació d'aprenentatge en el context de la sostenibilitat, per apoderar l'alumnat en la presa de decisions i l'elaboració d'arguments basats en la transformació de les substàncies i la conservació dels elements i dels àtoms.

paraules clau

Substància, element, relat històric, experimentació, situació d'aprenentatge.

abstract

The meaning attributed to the concepts of substance, element, and atom throughout history has been a key piece in the process of modeling the composition of matter and its transformations. The article proposes the use of the historical account and the realization of simple experiments that generate questions and evidence in a sequence-progression to build knowledge from a learning situation in the context of sustainability, to empower students in making decisions and developing arguments based on the transformation of substances and the conservation of elements and atoms.

keywords

Substance, element, historical account, experimentation, learning scenario.

Introducció

Des de l'inici de les civilitzacions, els éssers humans han volgut comprendre l'entorn i intervenir-hi i donar resposta a la pregunta «de què està fet el món material?». Les explicacions elaborades al llarg de la història han estat sovint vinculades a la paraula *element* amb diferents significats. Primer amb un significat filosòfic sense evidències

experimentals, i més endavant amb el significat de substància elemental que no es pot descompondre en altres de més simples, o bé amb significats d'entitats abstractes associades a un determinat tipus de matèria.

Les societats actuals s'enfronten a problemàtiques socials i mediambientals rellevants generades per l'exhauriment de recursos naturals per manca d'un

consum responsable i d'una gestió sostenible que incorpori l'economia circular, en la qual es recuperen i revaloritzen els residus i es minimitzen els seus impactes. Per actuar amb criteri i base científica en aquestes problemàtiques els ciutadans han de comprendre què canvia i què es manté en les transformacions de les substàncies, i els conceptes de substància i element

esdevenen clau per a una alfabetització científica ciutadana. Els humans continuem intervenint en l'entorn i cal apoderar l'alumnat per a la presa de decisions i actuacions en situacions complexes i en l'elaboració d'arguments basats en les idees i models bàsics de la química.

Els conceptes de substància i element continuen sent clau per comprendre el món i actuar en ell. Tot i així, l'alumnat té dificultats per donar significat a aquestes paraules a causa de la polisèmia del mot *element*, la manca de diferenciació entre els nivells macroscòpic i submicroscòpic i la manca de perspectiva històrica (Caamaño, Guitart & Grapí, 2019). Aquest article pretén contribuir a donar sentit als aprenentatges sobre les transformacions de les substàncies i la conservació dels elements i els àtoms en els canvis químics, i destaca la importància de la utilització del terme *substància elemental* a nivell macroscòpic, i la paraula *element*, o *element químic*, com a entitat abstracta que perdura en els canvis químics.

El relat històric i la construcció de coneixement

Com s'ha construït al llarg de la història el coneixement sobre les substàncies, els elements i els àtoms? El procés és difícil de simplificar, ja que la progressió no ha estat lineal; sovint hi ha aportacions de persones en diferents moments i llocs, i la comunicació, compartició de coneixements i publicació de resultats en temps passats no tenia la immediatesa a la qual estem acostumats avui en dia.

Els tres subapartats següents presenten un relat històric, sintetitzat en una línia del temps (fig. 1), en el qual es recullen les aportacions de la construcció de coneixement entorn dels significats de les

paraules *element*, *substància elemental* i *àtom* des de Tales (600 aC) fins a Schrödinger (1926).

vers estava fet d'una combinació de diversos elements: terra, que representava el sòlid; aigua,

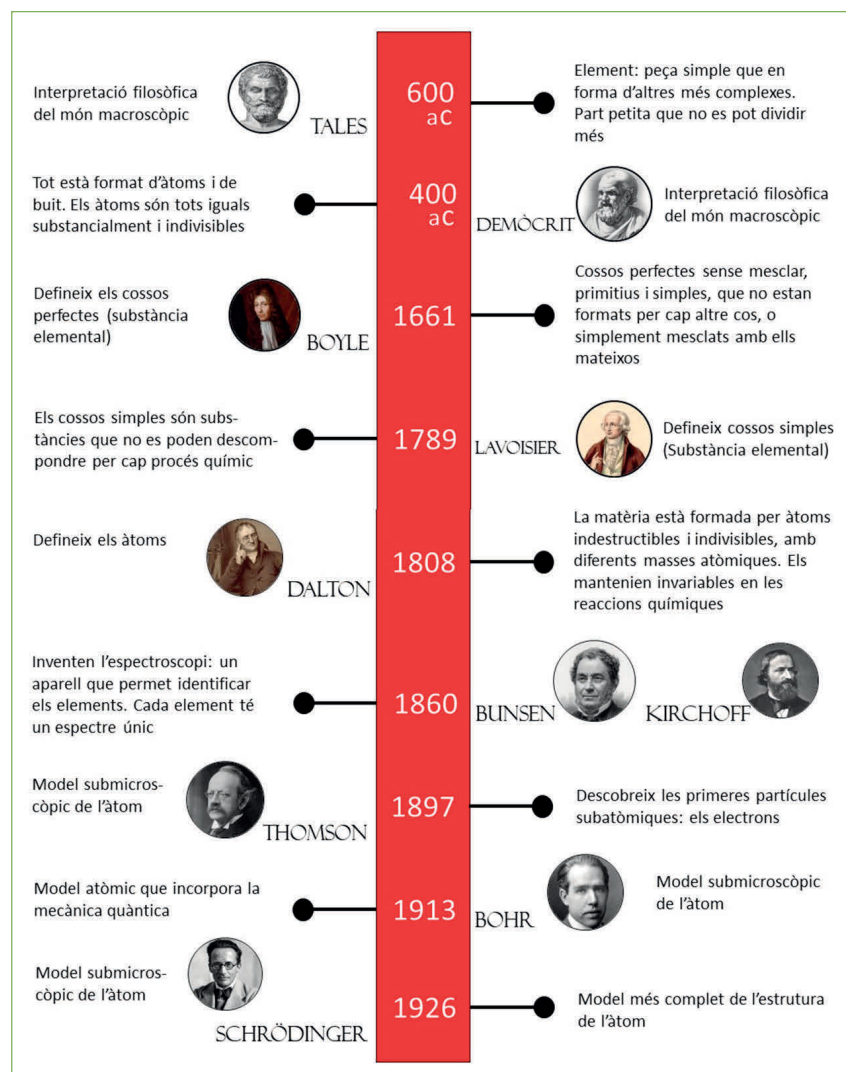


Figura 1. Esquema de les idees seleccionades sobre composició de la matèria al llarg del temps.

De la Grècia clàssica a Boyle

De què està feta la matèria? A Milet, una ciutat a prop del mar Egeu, fa més de dos mil cinc-cents anys, Tales, el fundador de la filosofia occidental, es va fer aquesta pregunta. Segons ell, si la matèria s'anava esmicolant, al final no es podria trencar més. A aquesta peça simple que en forma altres de més complexes la va anomenar «element». Tales va suposar que l'element de què estava fet l'Univers era l'aigua.

Aviat altres pensadors van proposar que potser no hi havia un sol element, sinó que l'Uni-

vers estava fet d'una combinació de diversos elements: terra, que representava el líquid; aire, que representava el gas, i foc, que representava el canvi. Demòcrit, filòsof presocràtic grec, 400 aC va proposar que tot està format d'àtoms, tots iguals substancialment i indivisibles, i de buit. Aquests àtoms eters es poden combinar de diverses formes per representar el canvi.

Fins a mitjans del segle XVI, els humans sabien molt poc dels elements. Encara ningú de manera conscient no havia aïllat cap substància elemental ni ningú havia combinat substàncies elementals per formar compostos.

I és que el pensament deductiu, útil per exemple en matemàtiques, no era suficient per explicar fenòmens naturals. Calia un altre mètode basat en l'observació, la mesura i l'experimentació, característic de la ciència.

Robert Boyle, al segle XVII, es va replantejar la pregunta de Tales des del punt de vista de la ciència. En el llibre *El químic escèptic* (Boyle, 1661) apareix per primer cop la paraula *químic*, i introdueix la idea d'element com el que anomenem substàncies elementals: «Jo vull anomenar elements allò que els alquimistes anomenen principis; certs cossos perfectes sense mesclar, primitius i simples, que no estan formats per cap altre cos...». El que s'havien considerat elements no s'ajusten a la definició d'element de Boyle: per exemple a simple vista es veu que la terra està formada per diferents partícules. Però força substàncies conegudes fins aleshores es poden considerar substàncies elementals. Al mercuri i al sofre dels alquimistes, s'hi poden afegir les que apareixen a les escriptures, com l'or, la plata, el coure, el ferro, el plom, l'estany, el carboni i l'antimoni (Malé & Vieta, 2019). L'or, el sofre, el carboni –la plata i el coure en menor mesura– es troben a la natura com a substàncies elementals. A l'edat de coure, fa 7.000 anys, ja s'obtenia coure a partir de certs minerals. Amb posterioritat a Boyle es van aïllar diversos metalls fent servir tècniques metal·lúrgiques.

En la segona meitat del segle XVIII, molts científics van dedicar esforços a aïllar i descobrir gasos, com és el cas dels tres anglesos citats a continuació. Henry Cavendish, l'any 1766, va obtenir un gas inflamable a partir de ferro i àcid clorhídric; Joseph Priestley va trobar resposta a com i per què es cremen les substàncies amb el descobriment, l'any 1774, d'un gas

que encenia una estella incandescent, obtingut per descomposició de l'òxid de mercuri, i Daniel Rutherford, el 1772, va aïllar el nitrogen, un gas present a l'aire, després d'haver eliminat l'oxigen mitjançant una combustió.

Dels elements de Lavoisier als àtoms de Dalton

A finals del segle XVIII Antoine Laurent Lavoisier, considerat per molts el pare de la química, va posar nom als gasos obtinguts per Cavendish, Rutherford i Priestley. Anomenà oxigen el gas que va descobrir Priestley, i azot –nitrogen– el gas descobert per Rutherford, i els va considerar els gasos presents a l'aire. En combinar amb oxigen el gas inflamable descobert per Cavendish es formava aigua, per això el va anomenar hidrogen, generador d'aigua.

Lavoisier va aportar a la química una definició de substància elemental, a la qual anomenava «cos simple», com una substància que no es pot descompondre en altres de més simples per cap procés químic. En el seu llibre *Traité élémentaire de Chimie* (Lavoisier, 1789) fa una llista de trenta-tres elements, separats en metalls i no metalls i entre els quals encara s'hi troben «calor» i «llum» i alguns òxids de metalls dels quals no s'havia pogut obtenir la substància elemental amb els mitjans de l'època. Va elaborar una teoria per explicar la formació de compostos a partir dels anomenats cossos simples.

El professor anglès John Dalton, a principis del segle XIX, va reprendre el nom d'àtom. En el seu llibre *A new System of chemical Philosophy* (Dalton, 1808-1827) va proposar que la matèria estava formada per àtoms diferents per a cada element, indestructibles i indivisibles i que es mantienien invariables en les reaccions químiques, en les quals els àtoms es recombinaven. Va comparar la

massa dels elements que interveïen en les reaccions i va estimar els pesos atòmics relatius, tot proposant un pes atòmic 1 per a l'hidrogen. Les idees de Dalton expliquen per què les substàncies reaccionen en proporcions fixes per formar el mateix compost i també que si aquestes substàncies formen més d'un compost, la relació entre les proporcions és de nombres enters, llei de les proporcions múltiples del mateix Dalton. Els àtoms de Dalton, més que unitats mínimes de composició de la matèria, eren unitats mínimes de combinació. Dalton no va considerar que algunes substàncies elementals estaven formades per entitats de dos àtoms, idees que posteriorment la hipòtesi d'Avogadro va contribuir a modificar.

L'italià Alessandro Volta, nascut al segle XIX, va inventar la pila, i es van començar a fer experiments amb l'electricitat. L'any 1800, amb dos elèctrodes connectats a una pila i submergits en aigua lleugerament àcida, els anglesos William Nicholson i Anthony Carlisle van observar l'aparició de bombolles a cada elèctrode. L'experiment desmentia que l'aigua era una substància elemental, ja que es podia descompondre en altres substàncies més simples: hidrogen i oxigen. L'electricitat va permetre aïllar els elements que es troben en compostos com la calç, la magnèsia, la barita, l'alúmina i la sílice, que Lavoisier no havia aïllat però que havia intuït. Malgrat això, encara no hi havia cap prova que demostrés que una substància era elemental, més enllà de no haver trobat la forma de descompondre-la.

La caracterització dels elements. Més enllà dels àtoms indivisibles

L'any 1860 va marcar un abans i un després en la identificació dels elements. Els alemanys

Gustav Kirchoff i Rober Bunsen van inventar l'espectroscopi, amb el qual van analitzar la llum de les flames obtingudes en cremar substàncies, i van obtenir el que s'anomena espectre. Bunsen i Kirchoff van interpretar aquests resultats i van proposar que cada element havia de tenir un espectre diferent, únic, una mena de codi de barres que l'identifica. L'espectroscòpia permet identificar la presència dels mateixos elements en diferents compostos, i identificar-ne de nous. És un mètode ràpid i eficaç per determinar la presència d'un element, fins i tot si aquest es troba formant part d'un compost.

L'any 1869, el rus Dmitri Ivànovitx Mendéleiev, després de diverses propostes d'altres científics, va enunciar la llei periòdica, la qual li va permetre ordenar els 63 elements coneguts en una taula que esdevindria una icona de la ciència. Va predir l'existència d'elements que encara no s'havien descobert, però no va predir l'existència dels gasos nobles, descoberts anys més tard per espectroscòpia. Entre ells l'heli, que es va trobar abans fora de la terra que al nostre planeta, en un estudi de la corona solar durant un eclipsi.

Al final del segle XIX, l'anglès J. J. Thomson va realitzar un descobriment que redefiniria el concepte i model d'àtom indivisible de Dalton. Va estudiar el comportament d'uns raigs que es formaven en un tub de vidre al buit al qual es connectaven uns elèctrodes d'alt voltatge. Es van anomenar raigs catòdics perquè anaven del càtode cap a l'ànode. En va deduir el seu caràcter corpuscular i la càrrega negativa. Més tard, aquestes partícules que formaven part dels àtoms es van anomenar electrons.

El posterior descobriment del nucli atòmic per Rutherford, la inclusió de la quantització de

l'energia proposada per Bohr l'any 1913 i, finalment, el descobriment de noves partícules i el desenvolupament de la física quàntica amb les contribucions de Schrödinger, l'any 1926, han portat al model quàntic o model atòmic actual.

Les activitats experimentals

Les activitats experimentals que es proposen tenen en comú que es realitzen a microescala o mil·liescala, és a dir en quantitats de l'ordre dels micromols o dels

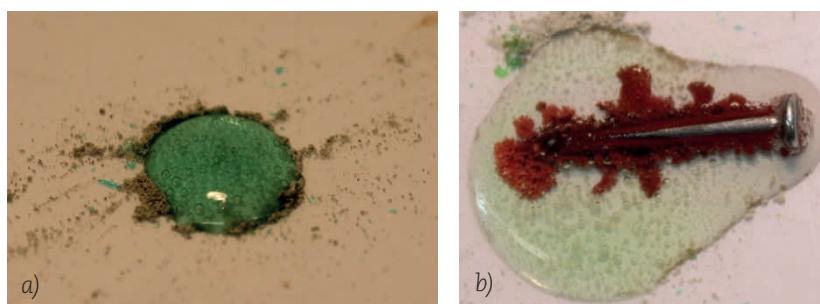


Figura 2. Obtenció de coure a partir de la malaquita: a) Addició d'HCl (aq) a la malaquita; b) Formació de coure en afegir-hi un clau zincat (font: pròpia).

mil·limols (Corominas, 2011; Mayssoun, Fuertes & Duran, 2018; Worley, 2018). Aquesta tècnica utilitza material senzill i en petites quantitats, la qual cosa comporta la reducció del cost, del temps, dels riscos i dels residus generats, i per tant promou el consum responsable i el respecte al medi.

Experiència 1. Extracció del coure de la malaquita

El coure es pot obtenir a partir de minerals com la calcopirita (CuFeS_2) o la malaquita ($\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$). L'experiment ens porta uns mil·lennis enrere i simula l'obtenció de coure a partir d'un dels seus minerals: la malaquita.

Es col·loca un granet molt petit de mineral de malaquita sobre una làmina de plàstic i s'hi afegeixen unes gotes d'àcid clorhídric HCl 2M. La solució es torna de color blau i apareix un bombolleig que es pot observar

molt bé amb una lupa digital. Amb un escuradents se separa el granet de malaquita que no ha reaccionat i s'hi afegeix un clau galvanitzat (recobert de zinc). Apareix una massa esponjosa de color marró molt visible també amb la lupa digital. La reacció entre l'hidroxicarbonat de coure (II) i l'àcid clorhídric forma clorur de coure (II) (aq), diòxid de carboni i aigua. En la reducció de la solució d'ions coure (II) amb zinc s'obté metall coure.

Experiència 2. Obtenció d'hidrogen i d'oxigen

Lavoisier va posar nom als gasos hidrogen i oxigen, que havien descobert Cavendish i Priestley respectivament, i hi va continuar experimentant. Tot seguit s'obtenen aquests gasos.

Sobre una làmina de plàstic es col·loca un fragment de cinta de magnesi al qual afegim unes gotes de vinagre o àcid clorhídric diluït. S'observa l'aparició d'un bombolleig de gas hidrogen. Sobre una altra làmina de plàstic es col·loca un trosset de llesca de patata crua i s'hi afegeixen unes gotes d'aigua oxigenada a sobre. S'observa el desprendiment de bombolles de gas oxigen. L'hidrogen es forma per reacció de magnesi amb un àcid, i la sal formada queda en dissolució. L'oxigen, per descomposició de l'aigua oxigenada en oxigen i aigua.

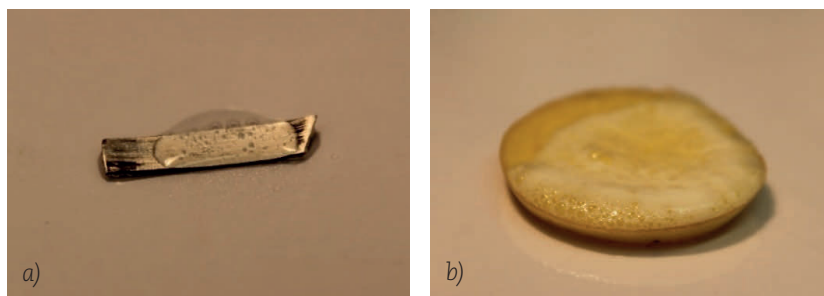


Figura 3. Obtenció d'hidrogen i d'oxigen: a) Obtenció d'hidrogen: cinta de magnesi amb gotes d'un àcid diluït; b) Obtenció d'oxigen: aigua oxigenada sobre un trosset de patata (font: pròpia).

Experiència 3. Anàlisi quantitativa de la reacció entre el magnesi i l'oxigen

Els nombrosos experiments quantitativs que van portar a enunciar la llei de les proporcions fixes i la interpretació que en va fer Dalton, s'exemplifiquen investigant la relació de masses de magnesi i el seu òxid en dos experiments de combustió amb masses de magnesi diferents.

Es retiren els plàstics dels taps corona i es pesen dos taps i el filferro. S'introdueixen uns 0,2 g de cinta de magnesi entre els dos taps, com si fos un entrepà, i es lliga amb un filferro de níquel, que resisteix sense fondre. Es pesa el conjunt (filferro, taps i magnesi) i es col·loca sobre un triangle de ceràmica refractària i s'escalfa durant uns 10 minuts a la flama del Bunsen. Un cop refredat, es torna a pesar. Es repeteix l'experiment amb una altra massa de cinta de magnesi,

per exemple d'uns 0,3 o 0,4 g. Es resta la massa dels taps i del filferro en totes les pesades (Microchem UK, 2018). Es constata que la relació entre la massa de magnesi i la del seu òxid té el mateix valor en els dos experiments. Això indica que la proporció de magnesi que conté l'òxid és fixa. Cal utilitzar una balança de sensibilitat el centígram.

Experiència 4. Electròlisi de l'aigua

La primera electròlisi de l'aigua va posar de manifest que un corrent elèctric produeix una reacció química i va iniciar la ciència de l'electroquímica. En connectar els elèctrodes de la pila de Volta (tot just inventada) a l'aigua amb un electròlit dissolt es va observar despreniment d'hidrogen i oxigen en cadascun dels elèctrodes, oxigen al pol positiu i hidrogen al pol negatiu.

S'utilitzen un got petit de plàstic, una pila de 9 V, dues xinxetes o dos claus de cap ample, i aigua amb una mica de carbonat de sodi dissolt. Es forada el got amb les xinxetes o claus, procurant que la distància entre ells sigui adequada per adaptar-hi la pila, i s'hi afegeix la solució. Es connecta la pila i s'observa l'aparició d'un gas en cadascun dels elèctrodes.



Figura 5. Electròlisi de l'aigua (font: pròpia).

Experiència 5. Espectroscòpia i colors a la flama

L'invent de l'espectroscopi l'any 1860 va permetre identificar els elements pel seu espectre a partir de l'anàlisi de les llums de colors de l'assaig a la flama, ja observats molt temps abans. Actualment, les línies de l'espectre s'expliquen per l'emissió de radiació de determinades longituds d'ona originada pel salt d'electrons excitats des de nivells alts a nivells més baixos.

Colors a la flama. Es dissolen sals de metalls com sodi, liti,

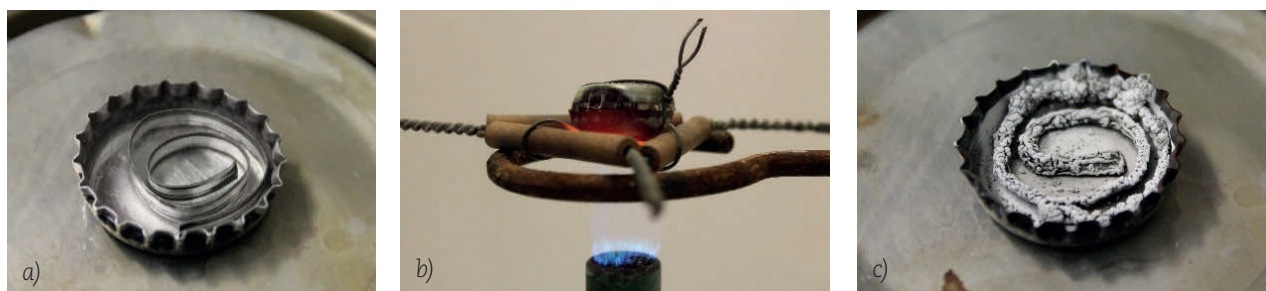


Figura 4. Formació d'òxid de magnesi: a) Cinta de magnesi; b) Escalfament; c) Cinta de magnesi recoberta d'òxid de magnesi (font: pròpia).

coure o potassi en etanol (els clorurs i els nitrats es dissolen bé) i s'introdueix la dissolució dins d'un polvoritzador. Es ruixa la flama d'un Bunsen o d'un encenedor de cuina i s'observen els colors i s'identifiquen els elements metàl·lics presents. És una manera impactant d'observar flames de colors!

Espectroscòpia. Amb els espectroscopis casolans s'enfocuen llums com el rètol taronja o vermell d'una farmàcia, un focus halogen o el fluorescent de l'aula i se n'observa l'espectre. Podeu trobar a internet diverses maneres de construir espectroscopis casolans en forma de capsa i en forma de tub.



Figura 6. Demostració de flames de colors (font: pròpia).

Experiència 6. L'heli. Àtoms i no molècules

L'heli va ser identificat per primera vegada a l'espectre de la llum solar l'any 1868, però no va ser fins gairebé trenta anys després que es va aïllar a partir de minerals a la terra i se'n va poder determinar la massa atòmica relativa.

Es fa un forat a l'èmbol d'una xeringa de 100 mL de manera que es pugui mantenir fix l'èmbol de la xeringa en un volum d'uns 80 mL. Es connecta una clau de tres vies a la xeringa i es tanca la clau i

s'estira l'èmbol i s'introdueix un clau pel forat. Es pesa la xeringa dins la qual s'ha fet el buit. Amb una bombona d'heli (es pot aconseguir a les botigues de festes) s'omple la xeringa sense que hi hagi sobrepressió i es pesa. Cal utilitzar una balança de sensibilitat el centigram. Es fa servir l'equació dels gasos per calcular la massa molar de l'heli. La massa calculada és més gran que la de l'heli perquè les bombones d'inflar globus contenen un 92 % d'heli, la resta és aire. La massa molar de l'heli posa de manifest que el gas heli està format per àtoms, no per molècules diatòmiques com altres gasos.

tació i l'enfocament de les ciències centrat en la presa de decisions sobre problemes de la vida diària i la pràctica científica per al desenvolupament de competències; així com en les principals idees i progressions d'aprenentatge dels conceptes abordats.

L'aprenentatge basat en el context pretén donar sentit i connectar els aprenentatges amb la vida i la societat, és imprescindible en un enfocament competencial i dona significat i funcionalitat als aprenentatges. L'alumnat adquireix coneixements i competències per satisfer una necessitat d'aprendre guiat per preguntes en relació amb el context (Gilbert, 2006).



Figura 7. Determinació de la massa atòmica relativa de l'heli (font: pròpia).

Fonamentació de la proposta d'aprenentatge

La proposta d'aprenentatge en la qual s'integren el relat històric i les activitats experimentals descrites es fonamenta en alguns dels enfocaments didàctics avalats per la recerca educativa com l'aprenentatge de les ciències basat en el context, l'enfocament indagació-modelització-argumen-

L'ensenyament de les ciències basat en la modelització parteix del model inicial de l'alumnat i inclou activitats orientades a l'avaluació i la revisió progressiva dels models que es van construint. El cicle de modelització s'inicia amb una situació i preguntes problematitzadores que orienten l'alumnat a expressar el seu model i idees inicials, posar-lo a

prova, estructurar-lo per arribar a un model final consensuat i transferir-lo (Couso et al., 2020).

L'elaboració de models de diferent grau de complexitat permet als alumnes generar explicacions de fenòmens, fer prediccions i transferir-los a noves situacions. Aquest procés s'efectua a través de preguntes que promouen la indagació, pràctica científica que permet verificar prediccions i contrastar hipòtesis, proporcionar dades i proves i generar preguntes per avançar en la construcció del model (Guitart & Lupión, 2021). Els models que l'alumnat elabora en el marc de la matèria i les seves transformacions van des del més senzill, a nivell macroscòpic, cap a nivells submicroscòpics, progressivament més complexos, corpuscular, atòmic-molecular i subatòmic o electrònic (Talanquer, 2011).

L'ensenyament de les ciències per a la presa de decisions parteix de situacions problemàtiques de la vida diària i pràctiques científiques com l'argumentació per al desenvolupament de competències. Implica l'alumnat de forma individual i col·lectiva en assumptes relacionats amb la ciència, i els convida a posicionar-se i a intervenir sobre problemes que els afecten a nivell individual, social i global, de manera responsable, amb iniciativa i amb autonomia personal (Blanco et al., 2018).

Les progressions d'aprenentatge són conjectures de com organitzar millor la construcció d'idees centrals en una disciplina, i es basen en resultats de la recerca educativa sobre els coneixements previs i les maneres de pensar dels estudiants (Duncan & Gotwals, 2015). Típicament, les progressions d'aprenentatge es representen com una seqüència d'etapes, que comença amb les idees inicials comunes dels estudiants («àncora baixa») i que acaba amb el concepte que els estudiants han de construir

(«àncora alta»). Haurien d'incloure la seqüència d'experiències i possibles maneres de posar de manifest el progrés de l'alumnat (Duschl, Maeng & Sezen, 2011).

En les progressions d'aprenentatge dels conceptes de substància i transformació química Talanquer (2020) proposa el nivell macroscòpic i corpuscular a la franja d'edat 12-14 i reserva l'escala atòmica i subatòmica a la franja d'edat 15-17. Caamaño & Marchán (2021) proposen una seqüència d'idees bàsiques com que un element és el tipus de matèria que constitueix cada substància elemental, que en descompondre un compost es poden conèixer els elements que el constitueixen, que la composició en % en massa de cada element en els compostos és constant, que els elements es conserven durant les reaccions químiques, i que els elements es desplacen entre substàncies en reaccions de descomposició, formació, desplaçament i doble desplaçament d'un element.

A l'ESO és freqüent abordar primer la idea de substància elemental i després la d'element en el marc de la teoria atòmica de Dal-

ton. Sovint s'incorpora una visió d'element com a entitat abstracta que es conserva en els canvis químics, d'acord amb la visió de Mendelèiev, i també el concepte d'element com una classe d'àtoms amb una massa relativa determinada (Caamaño, Guitart & Grapí, 2019). Aquesta idea d'àtom caracteritzat només per la massa relativa s'anomena àtom màssic o àtom químic, creat pels químics i que pren sentit en els canvis químics i l'ensenyament bàsic de la química. Aquesta idea d'àtom és anterior al model d'àtom amb estructura interna i a la definició d'element format per àtoms amb un mateix nombre atòmic (Aliberas, Izquierdo & Guitart, 2014).

Disseny de la proposta d'aula

Aquesta proposta s'adreça a l'alumnat dels darrers cursos de l'ESO i planteja un enfocament competencial a partir de reptes relacionats amb els Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS), en especial a l'ODS 12, Producció i consum responsables.

Per donar sentit als aprenentatges i vincular-los amb sabers per a la vida s'inicia la proposta d'aula en un escenari en el context de

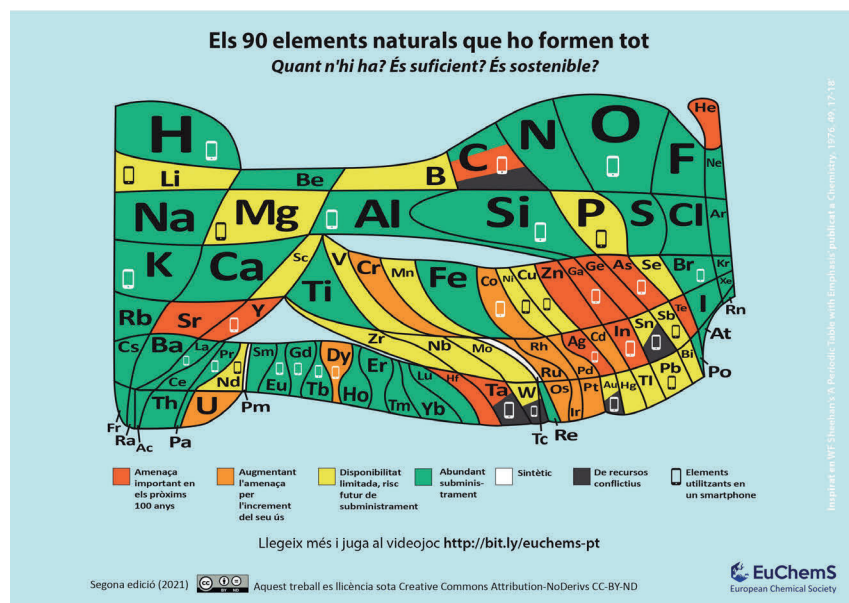


Figura 8. Taula periòdica dels 90 elements de la natura que ho constitueixen tot: (font: EuChemS <<https://ja.cat/rZfcl>>).

l'actual augment de consum d'alguns recursos que genera problemàtiques rellevants a nivell social i mediambiental en relació amb els anomenats elements en perill (fig. 8). A partir de notícies d'actualitat o de textos adaptats que tractin problemàtiques associades a algun d'aquests elements i que puguin interpel·lar l'alumnat, es demana treballar cooperativament i escollir-ne algun per cercar informació de les substàncies en què es troba a la natura, les transformacions per obtenir substàncies i materials en què es fa servir i els impactes derivats de l'augment del seu ús. En aquestes activitats inicials es comparteixen objectius i es posen en comú les preguntes a les quals

es vol donar resposta a la vegada que es posen de manifest les idees prèvies dels alumnes que són el punt de partida dels aprenentatges. Com podem tenir elements disponibles encara que les substàncies que el contenen hagin esdevingut deixalles després del seu ús? Què passa amb els elements i les substàncies en els processos de reciclatge? La proposta incorpora la personalització dels aprenentatges i la metacognició, així com activitats de regulació que concreten els criteris d'avaluació.

El repte és elaborar i comunicar propostes de millora argumentades sobre la gestió de recursos que tinguin en compte principis de l'economia circular i de sostenibilitat, així com la presa de decisions

a nivell individual i col·lectiu. L'elaboració d'arguments requereix l'estructuració de les idees que han de mobilitzar els coneixements sobre els conceptes de substància, element, conservació i canvi construïts en aquesta proposta d'aprenentatge al llarg de les activitats, i que es mostra a la taula 1. En la seqüència d'activitats l'alumnat ha d'elaborar hipòtesis i explicacions, primer a nivell macro i després submicro, amb el fil conductor de què ha canviat i què s'ha mantingut.

L'experiment amb l'heli complementa la proposta com a exemple del descobriment de l'element abans que el de la substància, ja que l'element va ser descobert en la radiació solar per

Seqüència d'activitats	Preguntes que orienten el procés	Progressió d'idees (explicacions nivells macro i submicro)
Extracció del coure de la malaquita (E1). Primeres idees científiques d'element, Boyle, s. XVII.	A nivell de composició, què diferencia una substància composta com la malaquita d'una d'elemental com el coure? D'on prové el coure que es forma a partir de la malaquita?	Un element és el tipus de matèria que constitueix cada substància elemental. Les substàncies elementals estan formades per un sol tipus de matèria (element) a diferència de les compostes, constituïdes per més d'un tipus de matèries diferents.
Obtenció d'hidrogen i d'oxigen (E2). L'experimentació amb gasos, Lavoisier, s. XVIII.	Per què l'oxigen i l'hidrogen són substàncies elementals, i què els diferencia de les compostes? D'on prové el tipus de matèria que forma part del gas hidrogen / oxigen?	Els tipus de matèria que formen les substàncies es conserven en les reaccions químiques. Els tipus de matèria es desplacen entre substàncies en les reaccions [desplaçament d'un element, descomposició, formació (E3)].
Electròlisi de l'aigua (E4). Descobriments de substàncies elementals per electròlisi, s. XIX.	Quines substàncies elementals s'espera obtenir quan l'aigua es descompon mitjançant l'electricitat? Per què s'anomenen elementals?	Les substàncies elementals no es poden descompondre en altres de més simples (nivell macro). Nota: Aquestes idees i la formulació de les preguntes corresponents també es poden incloure a E3.
Anàlisi quantitativa de la reacció entre el magnesi i l'oxigen (E3). Aportacions de Dalton i Mendeléiev, s. XIX.	Influeix la massa de magnesi en la relació entre la quantitat de magnesi i d'òxid format? Per què? Què indica aquest fet respecte a la composició en massa de les substàncies? I respecte a la relació entre àtoms?	Les substàncies compostes tenen una composició fixa, és a dir, un mateix percentatge de cada tipus de matèria (nivell macro). Les substàncies elementals estan formades per àtoms d'un mateix element. Els àtoms es conserven en els canvis químics. Les relacions entre àtoms en les substàncies compostes és de nombres enters (submicro – atòmic).
Espectroscòpia i colors a la flama (E5). L'espectroscòpia en la identificació i el descobriment d'elements, s. XIX.	Com es pot identificar un element sense aïllar la substància elemental? De què està format un element a nivell submicro – atòmic? Com es poden interpretar els espectres a nivell submicroscòpic – electrònic?	Els elements, que es troben tant en substàncies elementals com en substàncies compostes, estan formats per un tipus d'àtoms que es diferencien dels altres pel seu espectre atòmic (submicro – atòmic). Els canvis de nivell energètic dels electrons dels àtoms originen les ratlles dels espectres atòmics (nivell submicro – electrònic).

Taula 1. Proposta de seqüenciació d'activitats, de preguntes i de progressió d'idees.

espectroscòpia molt abans que s'hagués pogut aïllar la substància a la Terra, per la seva escassetat en recursos terrestres. A més, actualment és un dels elements en perill, ja que pot escapar realment de la Terra quan s'utilitza per inflar globus. Aquest element sí que pot desaparèixer de la Terra!

Els arguments basats en ciència que l'alumnat hauria de ser capaç d'elaborar en la part final de la proposta haurien d'incorporar idees com que els elements que hi ha al planeta són limitats, formen part de tot i es conserven si no canvien les substàncies o quan d'unes substàncies se'n formen unes altres. Els elements i els àtoms no desapareixen, però quan les substàncies que els contenen esdevenen deixalles, es dispersen, deixen d'estar a l'abast i poden generar impactes sobre el medi i les persones. També podrien incloure arguments basats en mètodes de separació de les substàncies de les mesclures, desenvolupats en propostes d'aula anteriors. A banda de la necessitat de reduir el consum i de reutilitzar, reciclar permet tornar a incorporar elements i àtoms al cicle i estalviar recursos. Els avenços en coneixements sobre la matèria i els canvis, ja iniciats per

científics de segles passats, contribueixen a través de la investigació i la innovació actuals a la cerca de solucions sostenibles.

Al final de la proposta es demana transferir els aprenentatges a altres contextos, com per exemple les problemàtiques derivades de l'augment de les emissions de CO₂, amb explicacions sobre què canvia i què es conserva quan la matèria orgànica es crema i els impactes que origina.

Consideracions finals

En el disseny de seqüències didàctiques en general s'ha posat èmfasi en *què* ensenyar, *com* ensenyar i a *qui* s'adreça la proposta, per conèixer les idees prèvies i les dificultats d'aprenentatge. Els currículums per competències requereixen la incorporació del *per a què* aprendre per tal de donar sentit i funcionalitat als aprenentatges. Cal expressar el que es vol que els alumnes aprenguin, tenint en compte per a què es vol que ho aprenguin, sense deixar de banda la planificació d'activitats que proposen a l'alumnat pensar, fer, comunicar i sentir (Cousó, 2013).

Tanmateix, moltes propostes d'aula no contempnen de manera explícita, ni com a punt de

partida, el *per a què*, que esdevé l'autèntic motor d'aprenentatge. Aquesta proposta integra el *per a què* i el *què* per aconseguir que els aprenentatges adquireixin sentit i siguin competencials i profunds, sense deixar de banda el *com* i a *qui* s'adreça. La figura 9 mostra els elements del disseny de propostes d'aula i pretén emfatitzar la necessitat d'un context i d'una demanda o repte.

Bibliografia

- ALIBERAS, J.; IZQUIERDO, M.; GUITART, F. (2014). «Com es veuen els àtoms a la llum d'una espelma i com es compliquen més i més». *Educació química EduQ*, núm. 19, p. 4-9.
- BLANCO, A.; ESPAÑA, E.; FRANCO, A. J.; RODRÍGUEZ MORA, F. (2018). «Competencias y prácticas científicas en problemas de la vida diaria». *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 92, p. 45-51.
- BOYLE, R. (1661). *The sceptical chymist: or chymico-physical doubts & paradoxes*. Londres. Disp. en línia a: <<https://archive.org/details/scepticalchymis00BoylA/mode/2up>> [Ed. en castellà: BOYLE, R. (2017). *El químico escéptico* (trad.: N. Pérez-Galdós). Barcelona: Crítica.]

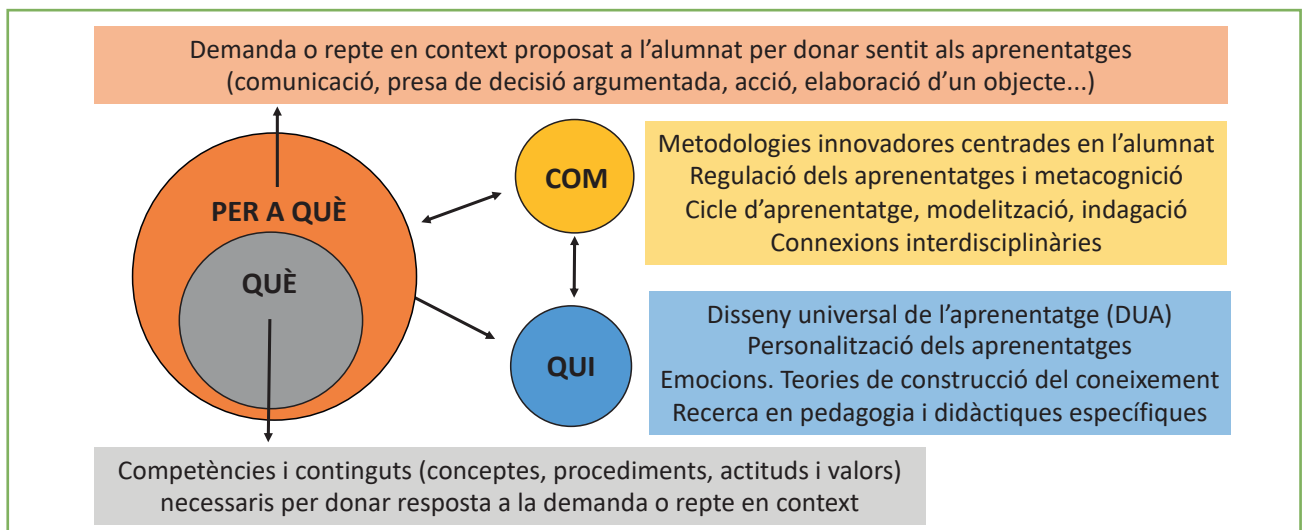


Figura 9. Elements del disseny de situacions d'aprenentatge amb sentit.

- CAAMAÑO, A.; GUITART, F.; GRAPÍ, P. (2019). «L'ensenyament del concepte d'element químic i de la taula periòdica a l'educació secundària». *Educació química EduQ*, núm. 25, p. 32-40.
- CAAMAÑO, A.; MARCHÁN, I. (2021). «La progresión en el aprendizaje de los conceptos de sustancia y reacción química en secundaria». *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 103, p. 7-15.
- COROMINAS, J. (2011). «Química dels gasos a petita escala. "Química talla S"». *Educació química EduQ*, núm. 9, p. 38-43.
- COUSO, D. (2013). «La elaboración de unidades didácticas competenciales». *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 74, p. 12-24.
- COUSO, D.; JIMÉNEZ-LISO, M. R.; REFOJO, C.; SACRISTÁN, J. A. (coord.) (2020). *Enseñando Ciencia con Ciencia*. Madrid: FECYT & Fundación Lilly; Penguin Random House, cap. 2.2.
- DALTON, J. (1808-1827). *A new System of chemical Philosophy*. Manchester: R. Bickerstaff. Vol. 1 disp. en línia a: <<https://archive.org/details/newsystemofchemi01daltuoft>>; vol. 2 disp. en línia a: <<https://archive.org/details/newsystemofchemi02daltuoft>>. [Ed. en castellà: DALTON, J. (2012). *El atomismo en química: Un nuevo sistema de filosofía química de John Dalton* (trad.: I. Pellón). Alacant: Servei de Publicacions de la Universitat d'Alacant.]
- DUNCAN, R. G.; GOTWALS, A. W. (2015). «A tale of two progressions: on the benefits of careful comparisons». *Science Education*, núm. 99, p. 410-416.
- DUSCHL, R.; MAENG, S.; SEZEN, A. (2011). «Learning progressions and teaching sequences: A review and analysis». *Studies in Science Education*, vol. 47, núm. 2, p. 123-182.
- GILBERT, J. K. (2006). «On the nature of "context" in chemical education». *International Journal of Science Education*, vol. 28, núm. 9, p. 957-976.
- GUITART, F.; LUPIÓN, T. (2021). «Formación de precipitados y reacciones de precipitación. Estrategias de contextualización y de modelización». *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 103, p. 45-50.
- LAVOISIER, A. L. (1789). *Traité élémentaire de chimie*. París: Cuchet. Disp. en línia a: <<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8615746s/f15.image>>. [Ed. en català: LAVOISIER, A. L. (2003). *Tractat elemental de química* (trad.: M. Artís; A. Nieto-Galan). Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.]
- MALÉ, J.; VIETA, P. A. (2019) «La Bíblia té química: en els cent cinquanta anys de la taula periòdica de Mendeléiev». *Revista de la Societat Catalana de Química*, núm. 18, p. 62-81.
- MAYSSOUN, C.; FUERTES, C.; DURAN, J. (2018). *Microscale techniques in chemical. Synthesis practical subject*. Congrés Internacional de Docència Universitària, CIDUI. Girona.
- MICROCHEM UK (2018). «It is not the experiment in the book!» *Back to the indestructible crucible and more* [en línia]. <<https://microchemuk.weebly.com/3-blog-is-this-supposed-to-happen/it-is-not-the-experiment-in-the-book-back-to-the-indestructible-crucible-and-more>>
- TALANQUER, V. (2011). «Macro, submicro, and symbolic: the many faces of the chemistry "triplet"». *International Journal of Science Education*, vol. 33, núm. 2, p. 179-195.
- (2020). «La progresión de los aprendizajes sobre la composición, estructura y transformación química de la materia». *Educació Química EduQ*, núm. 27, p. 4-11.
- WORLEY, B. (2018). «"In a little you can see a lot": the impact of practical microscale chemistry on chemical education». *Educació Química EduQ*, núm. 24, p. 58-62.



Josep Duran

Professor titular de química a la Universitat de Girona i doctor en química per la mateixa universitat, on desenvolupa recerca en l'àmbit de la catalisi. Ha participat en nombrosos projectes de millora de la qualitat docent universitària i és un referent en comunicació i divulgació científica. Treballa per a l'establiment de ponts amb l'ensenyament de la química a secundària i per promoure les vocacions científiques dels estudiants.
A/e: josep.duran@udg.edu



Fina Guitart

Doctora en química per la UB i catedràtica de física i química de secundària, amb una trajectòria professional vinculada al desenvolupament del professorat, tant en la formació permanent en programes de formació del Departament d'Educació, com en la inicial, al màster de formació del professorat de l'especialitat de física i química de la UB. Participa en equips de treball per promoure la innovació i la recerca educatives a les aules.
A/e: jguitar3@xtec.cat