

■ Ciència

L'evolució del concepte d'element químic

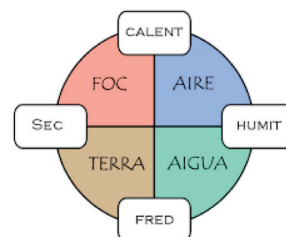
Aureli Caamaño

El 20 de desembre de 2017 l'Assemblea General de les Nacions Unides va proclamar el 2019 com l'Any Internacional de la Taula Periòdica dels Elements, en què se celebra el 150è aniversari de la publicació de la primera versió de la taula periòdica moderna dels elements químics per Dimitri Ivànovitx Mendeléiev (1834-1907), publicada el 17 de febrer de 1869. Aprofitem aquesta commemoració per revisar l'evolució del concepte d'element químic des de les idees especulatives dels filòsofs grecs antics fins al concepte actual.

Els quatre elements dels filòsofs grecs

Per als primers filòsofs grecs el concepte d'element era un principi fonamental del qual derivaven tots els cossos. Empèdocles va proposar la teoria dels quatre elements fonamentals: terra, aire, foc i aigua. Segons Demòcrit, aquests elements estaven formats per àtoms en moviment perpetu, que diferien en mida, forma, pes i calor, i es movien a l'atzar en el buit. Tot canvi observable es devia a combinacions i recombinacions d'aquests àtoms immutables. Plató va acceptar els quatre elements d'Empèdocles, i atorgà als seus àtoms formes geomètriques limitades per cares planes.

Segons Aristòtil la base de tot és la matèria primera, sobre la qual estan impreses les qualitats específiques que confereixen a cada substància individual la seva forma característica. Aristòtil va acceptar la idea dels quatre elements, però no l'existència dels àtoms. Juntament amb els elements va admetre la intervenció d'un conjunt de qualitats: calor, fred, sequedat i humitat, que podien combinar-se en parelles. Així, el foc era calent i sec; l'aire era calent i humit, l'aigua era freda i humida, i la terra era freda i seca. Els elements eren en realitat portadors de combinacions de qualitats. Aquestes qualitats podien variar-se en cert grau fent possible la transformació d'un element en qualsevol altre. Per convertir l'aire en aigua n'hi havia prou que la calor fos superada pel fred, ja que la humitat era comuna als dos. D'altra banda, els elements podien combinar-se en qualsevol proporció per formar els diferents cossos. Aristòtil va distingir tres tipus de combinació: la *síntesi*, que correspon a la nostra idea de mescla, la *mixis*, associació de cossos sòlids per formar-ne un de diferent (que correspon al que avui anomenem combinació química), i la *crasi*, una associació anàloga però per als líquids.



Els quatre elements i les quatre qualitats de la matèria, segons Aristòtil.

L'alquímia i els *tria prima*

A Alexandria, el pensament grec es va trobar amb un coneixement més antic, conegut com l'art egipci o *khemeia*. Inicialment consistia en els processos químics per embalsamar els difunts, però les seves pràctiques van evolucionar per incloure-hi altres processos químics, com la fabricació de vidre, la utilització de tints i sobretot la metal·lúrgia. D'aquesta manera la *khemeia* va quedar vinculada als set elements metàl·lics que es coneixien: or, plata, coure, estany, ferro, plom i mercuri. Aviat es va establir una relació amb els set planetes o estrelles errants, que eren el Sol, la Lluna, Venus, Mart, Saturn, Júpiter i Mercuri, amb un intent de relacionar la Terra amb el Cosmos. Tot aquest coneixement va ser atribuït al déu de la saviesa, Thoth, que els grecs que van arribar a Alexandria van identificar amb Hermes, el missatger dels déus. Així, les pràctiques ocultes de l'alquímia van passar a ser conegudes com "art hermètic".

L'alquímia va adoptar els elements aristotèlics: la terra, l'aire, el foc i l'aigua, però progressivament els va anar substituint per tres principis, que s'anomenaran *tria prima*: el mercuri, que representava el caràcter metàl·lic i la volatilitat; el sofre, que tenia la propietat de la combustibilitat, i la sal, que representava la propietat de la solidesa i de la solubilitat. L'objectiu principal de l'alquímia va ser inicialment aconseguir transmutar els metalls baixos en or (en alguns textos es parlava de curar el "metall malalt" convertint-lo en or), però més tard va passar a intentar curar no ja metalls sinó malalties i, posteriorment, aconseguir la immortalitat a través de la recerca de l'elixir de la vida.

Els principis químics com a portadors de propietats

Al llarg de l'edat mitjana se suposava que els elements aristotèlics eren els elements dels quals estava format tot cos, però, per poder explicar les diferents propietats químiques de les substàncies, van afegir-hi altres elements o principis. Els *principis* no es consideraven equivalents a les substàncies reals amb el mateix nom; corresponien en tot cas a l'essència d'aquestes substàncies. Mai s'havien pogut aïllar, però servien per explicar les propietats dels *mixtos* (que avui anomenem *compostos*), perquè se suposava que aquestes propietats depenien de la proporció que contenien de cada un d'aquests principis. Aquests principis només els era possible abandonar un *mixt* (un compost) per penetrar-ne un altre. Per tant, les propietats específiques de cada principi només es podien observar en els compostos dels quals formaven part.

El químic alemany Georg Ernst Stahl (1660-1734) considerava que només hi havia dos principis, l'aigua i la terra, però hi havia tres tipus de terra: la *terra vitrificable*, que remet a la solidesa i el pes dels minerals; la *terra mercurial* o metàl·lica, que proporciona als metalls la seva mal·leabilitat i brillantor, i la *terra flogística* (*flogist*), lleugera i inflamable. Aquesta última es considerava que comunicava lleugeresa i inflamabilitat als mixtos dels quals formava part. Mitjançant la suposició de l'existència del flogist, Stahl va ser capaç de construir una teoria que va tenir la virtut d'explicar a la vegada les combustions dels materials inflamables, la calcinació dels metalls i la fermentació. Se suposava que durant la combustió d'una substància combustible o la calcinació d'un metall es despenia *flogist*, el principi inflamable, que es dispersava en l'aire. L'aire era, doncs, un mer auxiliar per a la combustió: la seva presència era necessària perquè tingués lloc la combustió o la calcinació d'un metall, però no hi participava activament.



Georg Ernst Stahl, *Opusculum chymico-physico-medicum* (1715).

La teoria del flogist va tenir una gran influència en la química del segle XVIII, fins al punt que, el 1787, el filòsof Immanuel Kant (1724-1804) va incloure Stahl, juntament amb Galileu i Torricelli, entre els autors que havien aconseguit produir una "revolució profitosa" que havia transformat la física en una autèntica ciència, en el prefaci de la segona edició

de la *Crítica de la raó pura*.

Els elements com a substàncies simples que entren en la composició dels compostos

En el segle XVIII la composició dels cossos s'establia mitjançant l'anàlisi, que es podia realitzar per escalfament (per acció del foc) o mitjançant la reacció entre mixtos (compostos). L'estudi de descomposicions i recomposicions simples i reversibles de sals van permetre seguir la pista de substàncies involucrades en un procés químic i identificar-les com a components químics essencials relativament estables que es conservaven en els compostos químics binaris preparats a partir d'elles. D'aquesta manera, juntament amb la concepció clàssica d'element o principi es va anant desenvolupant una altra que denominava com a tals les substàncies que es podien obtenir mitjançant l'anàlisi dels compostos. Per exemple, el químic suec Torbern O. Bergman (1735-1784) defensava que "per conèixer els principis d'un cos [...] era necessari separar-los mitjançant anàlisi i confirmar aquesta anàlisi mitjançant la síntesi". Bergman defineix aquests principis com a substàncies simples que entren senceres en les combinacions, proporcionant així un precedent a la definició de Lavoisier de substància simple.

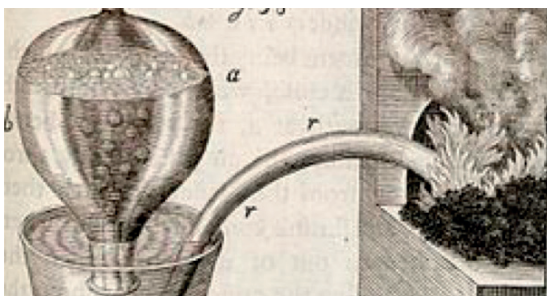


Torbern Bergman (1735-1784). Químic suec i mineralogista, professor de química de la universitat d'Uppsala.

De l'aire com a element a una diversitat d'"aires"

Al llarg del segle XVIII es va produir una transició molt lenta de la noció d'aire com a substància elemental a la idea que existien diferents tipus d'aires en l'atmosfera, al mateix temps que es desenvolupava una nova visió de l'estat gasós. A partir dels anys setanta es van identificar un gran nombre dels nous "aires" o "fluids elàstics", tal com van ser anomenats, abans que s'imposés la denominació moderna de gas. La paraula "gas" (un neologisme, que significava caos) va ser introduïda per Jean Baptista van Helmont (1579-1644) al segle XVII, però el seu ús no es va generalitzar en els llibres de química fins a un segle després. Els químics de la segona meitat del segle XVIII utilitzaven sobretot termes com "aire", "espècies d'aire", "fluids elàstics" o "emanacions elàstiques".

El 1727 el químic anglès Stephen Hales (1667-1761) va concloure que l'aire podia existir fixat en un cert nombre de substàncies tant minerals com vegetals o animals.



Cubell pneumàtic de Stephen Hales per a la recollida de gasos. *Vegetable Staticks* (1727).

El 1756 el químic escocès Josep Black (1728-1799) va descobrir que en escalfar la “magnèsia alba” (carbonat de magnesi) es despenia un tipus d'aire, que va anomenar “aire fix” (que avui anomenem diòxid de carboni) i una petita quantitat de vapor d'aigua. Aquest aire fix, segons Black, era la causa de la forta efervescència que es produïa quan la magnèsia alba es combinava amb els àcids. Black va explicar aquesta reacció com a conseqüència dels desplaçament de l'aire que estava “fixat” dins la magnèsia alba. Més endavant va demostrar que aquest aire era el mateix que es desprèn en la respiració animal i en les combustions i fermentacions.



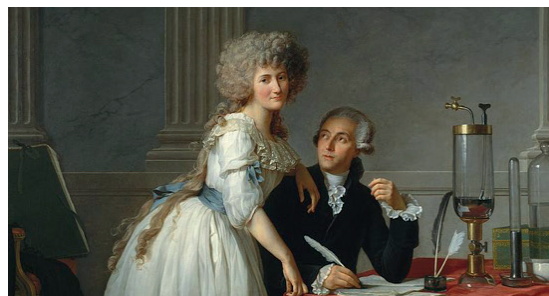
Josep Black (1728-1799). Metge i químic escocès.

El 1766 el químic anglès Henry Cavendish (1713-1810) va obtenir “aire inflamable” (gas que avui anomenen hidrogen) en dissoldre diversos metalls com el ferro o el zinc en àcids minerals. Va suposar que la dissolució dels metalls provocava el despeniment del flogist, que donava lloc a la formació del gas inflamable.

El descobriment de l'oxigen, la teoria de la combustió de Lavoisier i la síntesi de l'aigua

El 1772, el químic francès Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) va arribar a la conclusió que la combustió d'elements com el fòsfor i el sofre i la calcinació dels metalls implicaven la fixació d'aire. També va comprovar que els aires que es despenien en la combustió del sofre i del fòsfor tenien propietats àcides quan es dissolien en aigua, per això, va pensar que l'àcidesa era conseqüència de la fixació de l'aire.

Lavoisier desconeixia que, quasi de manera simultània, el químic anglès Joseph Priestley (1733-1804) estava desenvolupant una investigació en temes similars. El 1774, Priestley recull l'aire que es desprèn en escalfar la calç vermella de mercuri (òxid de mercuri)



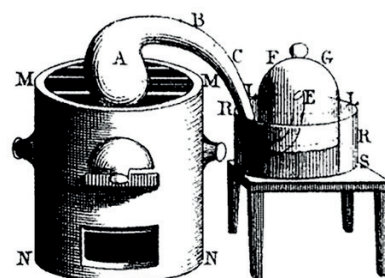
Antoine-Laurent Lavoisier i Marie-Anne Pierrette Paulze pintats per Jacques-Louis David el 1788. Museu Metropolità d'Art de Nova York.

i comprova que no es dissol en aigua com passa amb l'aire fix (diòxid de carboni) descobert per Black. Quan introdueix una espelma en el recipient que conté el nou aire comprova sorprès que crema amb una flama remarcablement vigorosa. Segons Priestley, aquest aire tenia la capacitat de rebre molt més flogist que l'aire atmosfèric, és a dir, devia de contenir molt poc o res de flogist; per això el va denominar “aire deflogisticat”. Així, doncs, va interpretar la reacció de la calç vermella de mercuri com si incorporés el flogist de l'aire.



Joseph Priestley (1733-1804), químic, filòsof i teòleg anglès que va obtenir oxigen per escalfament de la calç vermella de mercuri.

A finals de 1775, Lavoisier va repetir les experiències de Priestley, però va interpretar la calcinació de manera diferent, considerant que el principi que es combina amb els metalls durant la seva calcinació i que provoca l'augment de pes no era altra cosa que la porció més pura de l'aire, que Priestley havia anomenat “aire deflogisticat”. Va suposar que l'aire estava format per un component vital (que més tard anomenà oxigen) i una part que no permetia la vida (que va anomenar azot i que actualment anomenem nitrogen). Per provar que l'aire estava format per una mescla d'aire vital i d'azot, entre el 1775 i el 1776, Lavoisier va completar l'anàlisi i la síntesi de l'aire: l'eliminació de l'oxigen de l'aire mitjançant la formació de la calç de mercuri (òxid de mercuri) i l'addició posterior de

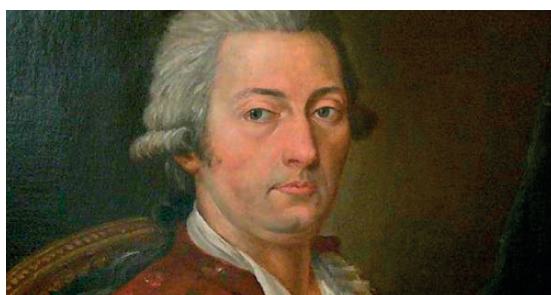


Experiència de la calcinació del mercuri segons la descripció del Tractat elemental de química de Lavoisier.

l'oxigen obtingut en escalfar la calç, per obtenir de nou el mateix aire. Amb aquestes experiències quedava provat que l'aire no era un element sinó una mescla de com a mínim dos gasos, l'oxigen i el nitrogen.

El 1777, Lavoisier va presentar davant l'Académie des Sciences una memòria on proposava "una nova teoria de la combustió" que permetia explicar "d'una manera molt satisfactòria tots els fenòmens de la combustió, la calcinació i, fins i tot els que acompanyen la respiració dels animals, com a conseqüència d'una combinació amb el component més vital de l'aire, que va anomenar oxigen (que vol dir generador d'àcids), perquè creia que l'oxigen conferia propietats àcides als compostos que formava, és a dir, que era un principi d'acidesa. Aquesta teoria permetia explicar aquests fenòmens sense haver de suposar que existia flogist en els materials combustibles o en els metalls.

Es pot considerar que aquestes experiències de Lavoisier van conduir a demostrar que l'oxigen era un component de l'aire, si bé van ser les experiències de Priestley en la mateixa època les que van portar a obtenir i caracteritzar aquest gas abans que ho fes Lavoisier. Això, sense comptar amb un altre precedent: el farmacèutic i químic suec Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) l'havia obtingut anys abans, entre el 1770 i el 1773, a través de l'escalfament de la calç vermella de mercuri i per altres procediments. El va anomenar "aire igni", però els seus treballs no es van publicar fins al 1777. Aquests fets han portat controvèrsia sobre qui va descobrir l'oxigen realment. És cert que el primer que ho va fer i comunicar va ser Priestley, però el primer que el va interpretar com un nou gas i no com un tipus d'aire va ser Lavoisier.



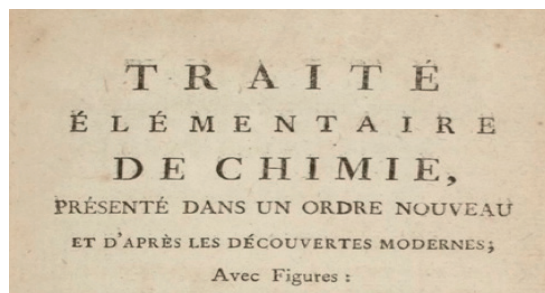
Carl Wilhem Scheele (1742-1786). Químic i farmacèutic suec, nascut a Pomerània, codescobridor de l'oxigen.

Cavendish va obtenir aigua el 1781 en cremar aire inflamable i va interpretar la reacció com una combinació de l'aire inflamable amb l'aire deflogisticat. Aquest mateix any Lavoisier va repetir l'experiment d'una manera més precisa, usant gasòmetres, i va comprovar que una cinquena part (un 20%) de l'aire comú desapareixia quan es combinava amb l'aire inflamable i que s'obtenia aigua com a producte d'aquesta reacció, per la qual cosa va anomenar hidrogen (que significa

generador d'aigua) l'aire inflamable. Lavoisier també va fer la reacció de descomposició de l'aigua fent passar vapor d'aigua per un ferro calent, i en va obtenir hidrogen i òxid de ferro. Aquestes dues experiències demostraven de manera definitiva que l'aigua no era un element, sinó que era un compost que estava format pels elements hidrogen i oxigen.

L'element químic com a substància simple

Després de la publicació del *Méthode de nomenclature chimique* (1787), Antoine Laurent Lavoisier va emprendre la redacció del seu *Traité élémentaire de chimie*; el redacta en un any i el publica el 1789, sense esperar l'autorització de l'Acadèmia, el mateix any que s'inicia la Revolució francesa. El *Traité* ha estat sempre vist com el punt culminant de la revolució química del segle XVIII. El títol complet de l'obra dona idea de la novetat que volia representar: *Tractat elemental de la química, presentat d'una manera nova i després dels descobriments moderns*.



Tractat Elemental de Química (1789).

Lavoisier s'aparta de la noció grega d'element abstracte com a portador de propietats i se centra en la idea dels elements com l'etapa final de descomposició de qualsevol compost. D'aquesta manera redefineix el concepte d'element com a substància simple, és a dir, una substància que no es pot descompondre en altres de més simples. Lavoisier va elaborar una taula de 33 substàncies simples, que va publicar en la segona part del *Traité*, entre les quals va incloure la llum i el calòric, si bé d'algunes d'elles adverteix que ho són de manera provisional, perquè pot ser que més endavant puguin ser descompostes. Això és el que va ocórrer amb les suposades substàncies elementals tèrries (calç, magnèsia, barita, alumina i sílice).

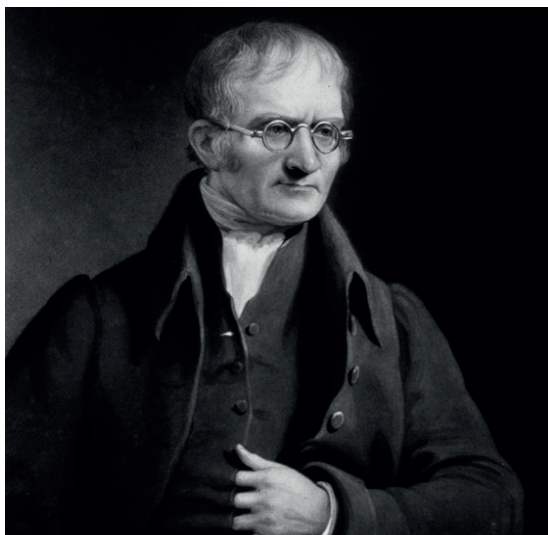
PARTIE II, DES SUBSTANCES SIMPLES. 13.	
TABLEAU DES SUBSTANCES SIMPLES.	
NOMS NOUVEAUX.	NOMS ANCIENS CORRESPONDANTS.
Lumière.	Lumière.
	Chaleur.
	Principe de la chaleur.
Calorique.	Fluide igné.
	Feu.
	Matière du feu et de la chaleur.
	Air déphlogistiqué.
Oxygène.	Air empyréal.
	Air vital.
	Base de l'air vital.

Taula de substàncies simples de Lavoisier, publicada en el *Méthode de nomenclature chimique* (1787).

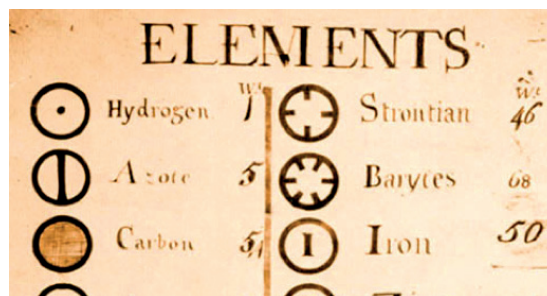
Amb la invenció de la pila elèctrica, el 1799, pel químic italià Alessandro Volta (1745-1827), l'electròlisi (descomposició d'una substància pel pas del corrent elèctric) es va convertir en un nou procediment d'anàlisi que va permetre descompondre substàncies que fins aquell moment s'havien resistit a la calor o l'acció química. El químic anglès Humphry Davy (1778-1829) entre el 1807 i el 1810 va aïllar successivament per aquest procediment el sodi, el potassi, l'estranci, el bor, el calci, el magnesi, i cap al 1810, el clor, el iode i el brom.

La teoria atòmica de Dalton: els àtoms com a elements

El químic francès Joseph Louis Proust (1754-1826) va ser professor del Real Seminario Patriótico de Vergara i del Real Colegio de Artillería de Segovia, on va realitzar les investigacions que el van portar a establir la llei de les proporcions definides o dels proporcions constants. El 1808 el químic anglès John Dalton (1766-1844) va proposar una teoria segons la qual tots els àtoms d'un mateix element són idèntics i es caracteritzen per tenir el mateix "pes atòmic", i els compostos són conseqüència de la combinació química dels àtoms dels elements que els formen. Aquesta teoria, que exposa en el *System of Chemical Philosophy* (1808-1810), explica perfectament la llei de les proporcions definides de Proust i proporciona un camí per determinar els pesos atòmics. Per exemple, si es determina que 8 g d'oxigen sempre es combinen amb 1 g d'hidrogen i se suposa que la combinació entre l'oxigen i l'hidrogen té lloc àtom a àtom (és a dir, que la fórmula de l'aigua és HO, com va fer Dalton seguint la regla de màxima simplicitat), es pot deduir que la massa d'un àtom d'oxigen és 8 vegades la massa d'un àtom d'hidrogen, és a dir, que la massa atòmica relativa (el "pes atòmic") de l'oxigen és 8. Avui sabem que la fórmula de l'aigua és H₂O i no HO i, per tant, el mateix raonament ens porta a deduir que la massa atòmica relativa de l'oxigen és 16.



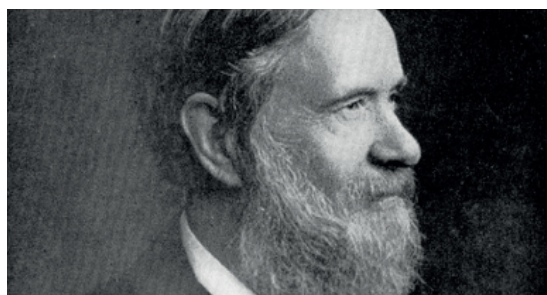
John Dalton (1766-1844).



Làmina il·lustrativa dels símbols atòmics utilitzats per John Dalton, c. 1808, en el seu llibre *Un Nou Sistema de Filosofia Química*. Els nombres indiquen les masses atòmiques relatives atribuïdes a cada element.

Elements atòmics, però substàncies elementals moleculars

El problema que tenien els químics de l'època de Dalton i de tota la primera meitat del segle XIX i part de la segona és que no tenien manera de conèixer amb certesa quines eren les fórmules dels compostos. Aquest fet va provocar una gran confusió tant en les fórmules com en les taules de pesos atòmics durant més de cinquanta anys, fins al punt que el 1835 el químic francès Jean-Baptiste Dumas (1800-1884) va dir: "Si jo pogués, esborraria la paraula àtom de la ciència, persuadit que va més enllà de l'experiència; i en química mai han d'anar més enllà de l'experiència". La situació no es va clarificar fins al congrés internacional de química de Karlsruhe celebrat el 1860 gràcies a les propostes d'un químic italià, Stanislao Cannizzaro (1826-1910), que va recuperar la hipòtesi del físic i químic Amedeo Avogadro (1776-1856) sobre la proporcionalitat entre el volum dels gasos i el nombre de molècules que contenien, que permetia determinar la massa molecular dels gasos a partir de mesures de la densitat, i d'aquesta manera arribar a la conclusió que l'hidrogen i l'oxigen eren moleculars (H₂, O₂) i que la fórmula de l'aigua era H₂O.



Stanislao Cannizzaro (1826-1910).

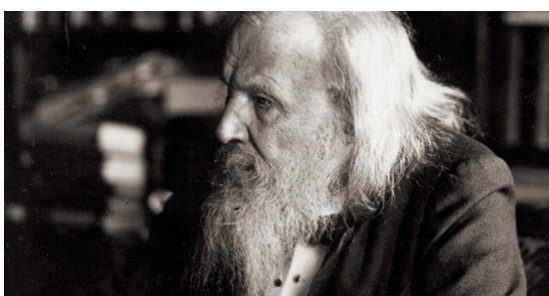
El concepte d'element de Mendelèiev i la taula periòdica dels elements

Al segle XIX, el descobriment de cada cop més elements va fer necessari pensar en algun tipus de classificació. Alguns químics van optar per agrupar els elements (substàncies elementals) segons propietats similars i van intentar veure si hi havia cap relació entre els seus pesos atòmics; altres, com el químic alemany Julius Lothar Meyer (1830-1895) i el químic rus Dimitri

Mendeléiev (1834-1907), van tractar d'ordenar-los pels pesos atòmics i van descobrir que les seves propietats variaven de manera periòdica.



Julius Lothar Meyer (1830-1895).



Dimitri Mendeléiev (1834-1907).

La *lleï periòdica* que va enunciar Mendeléiev estableix que les propietats de les substàncies elementals i dels compostos depenen d'una funció periòdica dels pesos atòmics dels elements que els componen. Mendeléiev s'esmerça en explicitar la distinció entre aquests termes al principi de l'article on enuncia la llei: "A l'expressió de cos 'simple' correspon la idea de molècula. [...] Cal reservar, tanmateix, el nom d'element per caracteritzar les partícules materials que formen els cossos simples i els compostos, i que determinen la forma en què es comporten des del punt de vista físic i química. La paraula 'element' evoca la idea d'àtom." Així, doncs, la distinció entre substància simple i compost, que constituïa l'eix principal del sistema de Lavoisier, passa a un segon pla. L'element és l'únic principi explicatiu, un concepte que no té una existència fenomènica, sinó que roman ocult en els cossos simples i els compostos, però que s'intercanvia i es conserva en les reaccions químiques.

Meyer i Mendeléiev van representar la periodicitat de les propietats dels elements mitjançant una *taula periòdica*, és a dir, una representació bidimensional amb columnes (que mostren els grups d'elements de propietats similars) i files (que mostren els elements que pertanyen a un mateix període). La longitud variable dels períodes i el caràcter aproximat de la repetició han fet que alguns químics no acabin d'estar d'acord que la periodicitat química es pugui considerar una "lleï". Altres químics argumenten que, malgrat que no sigui tan regular com la majoria de les lleis físiques, pot considerar-se un exemple típic de llei química, més complexa i menys general que les lleis físiques.

En qualsevol cas la "lleï periòdica" va convertir la taula de Mendeléiev en un veritable model científic en permetre fer prediccions sobre elements encara no descoberts i resoldre anomalies.

El descobriment de cinc gasos nobles entre el 1892 i el 1898 va constituir un autèntic dalta baix per a la taula periòdica, fins que es va decidir crear un nou grup (entre el dels halògens i el dels alcalins) per acomodar-los. El problema següent va aparèixer amb el coneixement de l'estructura interna dels àtoms.

El nombre atòmic: nou criteri definidor dels elements químics

Després del descobriment del nucli atòmic per Ernest Rutherford el 1911, l'advocat i físic neerlandès Antonius Van den Broek (1870-1926) va ser el primer en proposar que el nombre d'ordre de cada element de la taula periòdica era igual a la seva càrrega nuclear i suggerir que l'ordenació dels elements químics a la taula periòdica s'havia de fer sobre la base d'aquest valor i no de la massa atòmica. El 1913 el físic anglès Frederick Soddy (1877-1956) va indicar que les idees de Van den Broek aclarien les lleis del desplaçament radioactiu, i el mateix any el físic britànic Henry Moseley (1887-1915) estudià l'espectre de raigs X dels àtoms i comprovà que hi havia una relació lineal entre el número d'ordre dels elements a la taula periòdica i l'arrel quadrada de la longitud d'ona d'aquests raigs, confirmant la hipòtesi de Van den Broek i va anomenar *nombre atòmic* el nombre d'ordre. Rutherford va acceptar la hipòtesi de Van der Broek i va aventurar que el nucli podria estar format per partícules positives.

El mateix any 1913 Frederick Soddy, treballant amb elements radioactius, va descobrir que podien tenir més d'un pes atòmic i va formular el concepte d'isòtop per designar àtoms amb el mateix nombre atòmic però diferent massa. Els va anomenar així per indicar que eren elements que ocupaven el mateix lloc (*topos*) en la taula periòdica, malgrat tenir diferent massa atòmica. Els fonaments de la lleï periòdica dels elements formulada per Mendeléiev van romandre intactes a condició de canviar els "pesos atòmics" pels "nombres atòmics", però el concepte d'element químic va resultar modificat, ja que va deixar de referir-se a un únic tipus d'àtom per passar a significar el conjunt d'àtoms o ions de diferent massa que tenen el mateix nombre atòmic.

El 1917 (en experiments publicats el 1919), Rutherford va demostrar que el nucli d'hidrogen era present en altres nuclis, resultat general que es descriu com el descobriment del protó. El 1920 Rutherford va suggerir que la disparitat entre el nombre atòmic d'un àtom i la seva massa atòmica podria explicar-se per l'existència d'una partícula de càrrega neutra dins del nucli atòmic. Aquesta hipòtesi es va confirmar el 1932 amb

el descobriment del neutró pel físic britànic James Chadwick (1891-1974).

Sobre la base de les propostes del químic britànic d'origen austriac Friedrich Adolf Paneth (1887-1958), la IUPAC va modificar el 1923 la propietat essencial de l'element del pes atòmic al nombre atòmic. D'altra banda, el coneixement de l'estructura interna de l'àtom i de la seva estructura electrònica va permetre explicar la regularitat i la periodicitat de les propietats físiques i químiques dels elements en funció de la seva estructura electrònica, cosa que afavorí el pas de la "taula química" de Mendeléiev a la "taula física" actual.

La definició actual d'element químic

Com a conseqüència de l'evolució històrica del concepte d'element químic, aquest terme s'usa actualment amb un doble significat, que es manifesta en la definició que dona la IUPAC (Gold Book) d'element químic:

1. Una classe d'àtoms; tots els àtoms tenen el mateix nombre de protons al nucli atòmic.
2. Una substància química pura composta d'àtoms amb el mateix nombre de protons al nucli atòmic. De vegades, aquest concepte es denomina *substància elemental* diferent de l'element químic definit a l'apartat 1, però generalment el terme *element químic* s'usa per als dos conceptes.

La primera definició té un significat submicroscòpic i abstracte, en parlar d'una classe d'àtoms. La segona definició té un caràcter macroscòpic (però, amb una referència a la constitució submicroscòpica de la substància elemental) i concret, ja que es refereix a una substància elemental amb unes propietats determinades.

L'ensenyament del concepte d'element químic i de la taula periòdica

En l'ensenyament del concepte d'element químic és essencial diferenciar entre els dos significats reconeguts en la definició de la IUPAC: element com a classe d'àtoms i element com a "substància elemental". Aquesta diferenciació també comporta la necessitat de diferenciar dos tipus de taula periòdica: la de les substàncies elementals (amb indicació de les propietats de les substàncies elementals) i la dels àtoms (amb indicació de les propietats atòmiques i l'estructura electrònica dels àtoms). Moltes de les dificultats d'aprenentatge del concepte d'element químic i del significat de la taula periòdica dels elements s'atribueixen a la manca de diferenciació entre aquests dos conceptes. D'altra banda, molts investigadors critiquen la manca d'una perspectiva històrica en l'ensenyament del concepte d'element químic i de la taula periòdica en els llibres de text

i proposen una aproximació didàctica de tipus històric. La celebració de l'any internacional de la taula periòdica ha suscitat la publicació d'un gran nombre d'articles sobre els elements químics, el desenvolupament de la taula periòdica i les formes d'ensenyament i recursos didàctics per al seu aprenentatge. El present article ha estat un breu recorregut per l'evolució històrica del concepte d'element químic amb finalitats divulgatives, però també pretén ser un recordatori de la importància de l'evolució històrica dels conceptes químics en l'ensenyament de la química.

Bibliografia

- DA, "Any Internacional de la Taula Periòdica AIYP2019", 2019, *Educació Química EduQ*, 25.
- Bensaude-Vincent, Bernadette, "Lavoisier, una revolució científica" i "Mendeleiev: historia de un descubrimiento", a Michel Serres (ed.), *Historia de las ciencias*, Madrid, Ediciones Cátedra, 1988.
- Bensaude-Vincent Bernadette; Stengers, Isabelle, 1997. *Historia de la química*, Adisson Wesley/Universidad Autónoma de Madrid.
- Bertomeu Sánchez, José Ramón, 2019, "El sistema periòdic i la pedagogia química del segle XIX: La creativitat col·lectiva de les aules de ciències", *Educació Química EduQ*, 25.
- Bertomeu Sánchez, J. R.; García Belmar, 2006, A., *La revolución química. Entre la historia y la memoria*, Publicacions Universitat de València.
- Brook, William H., 1992, *Historia de la química*, Madrid, Alianza Editorial.
- Caamaño, Aureli; Guitart, Fina; Grapí, Pere, 2019, "L'ensenyament del concepte d'element químic i de la taula periòdica a l'educació secundària", *Educació Química EduQ*, 25.
- Fernández, Manuel, 1999, "Elementos frente a átomos", *Alambique*, 21, p. 59-66.
- Leicester, Henry M., 1967, *Panorama histórico de la química*, Ed. Alhambra.
- Mendeléiev, D.I., 2019, *La relació entre les propietats dels elements i llur pes atòmic*, Clàssics de la Química, 2, 2a ed., Societat Catalana de Química, IEC, Barcelona.
- Pellón González, Inés, 2002, *Un químico ilustrado*. Lavoisier, Nivola.
- Pellón González, Inés, 2013, *El hombre que pesó los átomos*. Dalton, Nivola.
- Román Polo, Pascual, 2002, *El profeta del orden químico*. Mendeléiev, Nivola.
- Román Polo, Pascual, 2019, "La evolución de la tabla periódica de los elementos químicos desde 1869 hasta hoy", *Educación Química EduQ*, 25.
- Scerri, Eric, 2013, *La tabla periódica: una breve introducción*, Madrid, Alianza.
- Strathern, Paul, 2000, *El sueño de Mendeléiev. De la Alquimia a la Química*, Siglo XXI.