

ALGUNES REFLEXIONS SOBRE EL LLENGUATGE SIMBÒLIC QUÍMIC. "EL SOMNI DE LAVOISIER"

Mercè Izquierdo Aymerich

Departament de Didàctica de les Ciències - Seminari d'Història de les Ciències

Paraules clau: *Llenguatge científic, fórmules químiques, química segle XIX*

The Lavoisier's dream

Abstract: Lavoisier proposed a new language for chemistry, a theoretical and experimental one. He thought that this precise language derives from experimentation would be more useful to learn chemistry. In the first half of the nineteenth century a symbolic language for chemistry was developed, which tried to express the theoretical reflection about the laboratory processes. But the enormous difficulties that had to be overcome show us the need to decide approaches not directly related with current theories and experimental work. The reflection we can derive is that it is not sure that a precise chemical language relates the students easily with chemical knowledge.

Key words: *Scientific language, chemical formulas, nineteenth century chemistry*

L'atomisme químic: un atomisme sense àtoms

Lavoisier proposà, per a la química, un nou llenguatge teòric que pogués relacionar-se amb l'experimentació i que comunicués la composició elemental dels compostos i la conservació de la massa en els canvis químics. Pensà també que el nou llenguatge permetria aprendre amb molta més facilitat ja que presenta la realitat química fomentada en les lleis experimentals i els noms de les substàncies expressen llur composició: són simples quan la substància ho és i compostos en el cas contrari.

Després de Lavoisier la química es va fonamentar en l'estequiometria. John Dalton (1766-1844) havia anunciat la teoria atòmica cap a 1805 i havia utilitzat el "Principi de la màxima simplicitat" per calcular les primeres masses atòmiques. Altres lleis, com la de proporcions múltiples del mateix Dalton i la de Gay Lussac (1778-1850), que expressa les relacions simples entre els volums de combinació de les substàncies gasoses, van aportar noves dades i van permetre elaborar les primeres taules de masses atòmiques. Es configurà així l'atomisme químic, amb diferents lleis estequiomètriques i regles que reflectien les regularitats en les proporcions de combinació dels elements i de les substàncies. L'atomisme químic era, però, escèptic pel que fa a la realitat dels àtoms, que per a molts eren només "masses equivalents" (Wollaston, 1814) (Rocke, 1984).

A despit dels èxits assolits, l'atomisme químic acaraba problemes importants. Per exemple, les relacions de volums i de massa en la combinació presentaven regularitats, però és difícil reunir-les a ambdues en un únic esquema; i tampoc és fàcil assignar valors a les masses atòmiques o equivalents dels elements i els compostos. Veiem-ho, amb un exemple.

L'hidrogen i l'oxigen es combinen en una relació de massa 1: 8. Si acceptem la regla de la màxima simplicitat (és a dir, que en aquesta combinació intervé un àtom de cada element) i prenem per conveni la massa atòmica de l'hidrogen igual a 1, hem d'acceptar que la de l'oxigen és 8. La fórmula de l'aigua seria HO i la seva "massa atòmica" 9. En aquest cas coincideixen les masses atòmiques i les equivalents. Però, si ens fixem en els volums de reacció, hem d'admetre que dos volums d'hidrogen es combinen amb un volum d'oxigen. Intuïtivament les relacions de volums es poden interpretar com relacions d'àtoms, especialment en els elements, i així ho va fer J.J. Berzelius (1779-1848), el gran líder de la química. En aquest cas, la fórmula de l'aigua és H₂O i si mantenim el conveni H=1, la massa atòmica de l'oxigen serà 16. El resultat d'aquesta reacció són 18 g d'aigua i aquesta és la massa d'una unitat (d'un "àtom") d'aigua. Ens trobem però que aquesta massa correspon a un volum d'aigua gas que és el doble del que ocupa un àtom d'oxigen, és a dir, 16 g d'oxigen. Veiem doncs que les masses (atòmiques o equivalents) dels compostos poden correspondre a un volum de gas (O), a dos volums de gas (H₂O o H₂) o fins i tot a quatre volums de gas, com veiem en el cas de l'àcid clorhídric, Cl²H².

La diversitat de masses (i de fórmules) pels compostos era el resultat de no haver pogut acceptar la hipòtesi que A. Avogadro (1776-1856) havia proposat l'any 1811 per interpretar la llei dels volums de Gay-Lussac.

Malgrat aquestes dificultats, cap als anys vint Berzelius havia elaborat un llistat de masses atòmiques utilitzant diverses regles (la llei de Gay Lussac, la llei de Dulong-Petit, la llei d'Avogadro pels elements, la llei de Mitscherlich...) que li permetien interpretar les dades estequiomètriques. A més, expressà, amb ajuda de fórmules, tant la composició elemental i les relacions constants de massa en les substàncies químiques compostes com ara l'estructuració de les substàncies inorgàniques i el suposat caràcter polar dels seus components (Berzelius havia interpretat les dades de l'electròlisi atribuint un caràcter electroquímic als elements, explicant així les preferències que mostraven els elements en combinar-se: l'oxigen, electronegatiu, es combina amb l'hidrogen, electropositiu; i les fórmules reflectien aquest caràcter dual dels compostos químics).

Per exemple l'actual sulfat doble d'alumini i potassi era representat per la fórmula KO + AlO³SO + 24 H²O. Dins de cada agrupació d'àtoms n'hi ha un que és més electronegatiu que l'altre, i cada agrupació té també una càrrega residual positiva o negativa que fa que restin unides (Brock, 1992).

Aquestes fórmules va indignar la majoria de químics, que protestaven per la seva complexitat i perquè introduïen unes normes simbòliques que no estaven d'acord amb l'àlgebra: els símbols de costat no es multipliquen, sino que se sumen; els superíndexs no són potències, sino sumes. A més, es deia que les agrupacions d'àtoms fossin arbitràries i que no es connectaven fàcilment amb els resultats de les anàlisis. Tot i això, les fórmules es varen anar imposant degut a que permetien realment expressar idees i fets que costava molt expressar de cap altra manera (Turner, 1833) (Nye, 1993).

Però la interpretació dels fenòmens químics i la construcció d'un llenguatge que permetés comunicar-la fàcilment als aprenents havia d'acarar a reptes encara més importants.

Són a començaments dels anys trenta del segle XIX. La química orgànica es desenvolupava ràpidament i cada dia eren sintetitzades i s'analitzades noves substàncies. Però l'enfocament teòric derivat de l'electroquímica, que semblava apropiat per a la química inorgànica, no donava els mateixos resultats pel que fa a la química orgànica.

Quines fórmules convenen a les substàncies orgàniques?

Els trenta anys següents van ser difícils, perquè els nous fets químics no es deixaven encasellar fàcilment en el llenguatge simbòlic que, d'altra banda, semblava imprescindible per expressar la complexitat de les idees químiques. Em referiré a alguns dels episodis d'aquests anys que potser podran reflectir les dificultats de la construcció de les fórmules. Aquesta història té una mica de tot, com passa també en la vida real dels científics: topades generacionals; enfrontaments nacionals; lluites de poder; xocs polític; diferents postures metafísiques; apassionament per les pròpies idees que semblen explicar millor que cap altra...

Els protagonistes de la història són personatges ben coneguts. A Alemanya, Berzelius, que havia estat mestre de químics (Gmelin, els germans Rose, Mitscherlich, Wöhler, Bunsen, entre altres, havien estat deixebles seus) i l'autoritat química indiscutible durant vint-i-cinc anys però que començarà a veure com les noves generacions se li enfronten; Kolbe (1818-1884), deixeble de Wöhler; una nova generació representada pel jove F.A. Kekulé (1829-1896), que s'enfrontarà a un Kolbe ja madur. A França, el brillant professor J.B. Dumas (1800-1884) i els seus joves oponents, A. Laurent (1807-1853) i Ch. Gerhardt (1816-1856). I els anglesos E. Frankland (1825-1899), A. Williamson (1824-1904) i W. Odling, que recullen el millor dels dos enfocaments contraposats amb els quals s'intenta donar fórmules als compostos orgànics.

Primer episodi: radicals versus fórmules unitàries en les fórmules orgàniques

La química orgànica experimentà un creixement espectacular a partir dels anys trenta. La química esdevé cada vegada més una ciència que estudia els productes que ella mateixa crea al laboratori, i inclús només aquells que poden ser produïts a escala industrial. Però ha d'enfrontar importants dificultats per establir fórmules que permetin expressar clarament tot allò que passa en el laboratori, i també d'interpretar-ho.

a) Com diferenciar les fórmules de les substàncies isòmeres?

El primer problema, l'isomeria, s'havia plantejat l'any 1824, quan es van publicar, independentment, les anàlisis del fulminat i del cianat de plata. Malgrat les diferències de les dues substàncies, la seva composició qualitativa i quantitativa era la mateixa. Els estudiosos propers a la Naturphilosophie, criticats llavors i ara com a anticientífics, van proposar una via imaginativa per representar les diferències entre substàncies mitjançant fórmules "racionals" que permetien agrupar els símbols dels elements de manera que formessin "fórmules dins de les fórmules". Així, per exemple, per a la goma, el sucre i el midó, tres substàncies isòmeres, es proposaren les fórmules $\text{CO.CH}_2.\text{H}_2\text{O}$, CO_2CH_4 i $2\text{C}.2\text{H}_2\text{O}$.

Comença, però a perfilar-se un nou dilema: aquestes agrupacions, han de correspondre a compostos químics reals, o no? També resultava difícil posar-se d'acord en quina era la fórmula més apropiada per a una mateixa substància; cada químic feia la seva proposta, que diferia segons l'escala de masses atòmiques o equivalents que prenia i segons la "massa atòmica" que assignava al compost.

Per exemple, els àcids orgànics s'analtzaven habitualment a partir de les sals de plata. Però la massa atòmica de la plata era el doble de la que considerem actualment. Degut a això, la fórmula de l'àcid sortia el doble de l'actual: $C_4H_8O_4$ i, segons la concepció dual que es tenia de les sals i dels àcids, la fórmula racional havia de ser $C^4H^6O^3H^2O$ (similar a la de l'àcid sulfúric, $SO^3.H^2O$; el grup C^4H^6 era suposadament positiu (com el sofre en el sulfúric) enfront del grup O^3 , negatiu. En calcular la densitat de vapor d'aquest àcid es veia que aquesta fórmula corresponia a "quatre volums" (és a dir, un volum doble al que ocupaven 18 g d'aigua). En altres casos es triaven fórmules de dos volums (que corresponien al volum de 18 g d'aigua, doble del que corresponia a 16 g d'oxigen).

Un dels criteris que s'utilitzaven per triar fórmules de dos o de quatre volums era la possibilitat d'escriure fórmules racionals que destaquessin una plausible estructuració interna de les substàncies suposadament relacionada amb les característiques químiques de les substàncies. Les fórmules racionals comencen a mostrar regularitats i, seguint l'orientació de Berzelius (i de Lavoisier), s'anomenen "radicals" les agrupacions que suposadament formen part de diverses substàncies, i que permeten explicar llurs relacions.

Veiem, per exemple, les fórmules que es proposaven per a tres substàncies relacionades entre si: l'èter, l'etanol i el clorur d'etil. Dumas suposava que estava fet del radical "eterin", de fórmula C^4H^4 ; Liebig, li atribueix el radical etil, C_4H_{10} . La diferència entre aquestes dues propostes (fetes respectivament els anys 1828 i 1834) és important, perquè així com l'eterin era una substància química identificable (és l'etilè, si comptem que $C=6$ i que es tracta d'una fórmula de quatre volums), l'etil és hipotètic (Russell, 1971).

Per Dumas, l'alcohol és $C^8H^8 + 2H^2O$ i l'èter és $C^8H^8 + H^2O$ ($C=6$). Amb aquestes fórmules s'expressaven les relacions genètiques entre l'èter i l'alcohol (l'èter s'obté per deshidratació de l'alcohol) però era perquè es tenia una fórmula de quatre volums per l'alcohol i per l'eterin i una fórmula de dos volums per l'èter.

Per Liebig, l'alcohol és $C^4H^{10}.H^2O$, l'èter $C^4H^{10}O$, i l'èter muriàtic és $C^4H^{10}Cl^2$ ($C=12$). Les fórmules són ara de quatre volums per a l'alcohol i per l'èter muriàtic i de dos volums per l'èter.

En 1832, Liebig i Wöhler consideren que el radical benzoil, $C_{14}H_{10}O_2$ ($C=6$) és present en el benzaldehid, l'àcid benzoic, la benzamida, el benzofornonitril... Bunsen descobreix el radical cacodil, $As(CH_3)_2$ present en una sèrie de substàncies formades per aquest radical, que sintetitza des de 1837 fins 1843. Semblava que "els radicals" obrien un camí de recerca prometedor. Però Berzelius insisteix en el seu caràcter polar, per poder explicar els enllaços entre els àtoms; i això complicarà molt les coses, com veurem.

b) Les fórmules unitàries

L'any 1827 s'havia produït un incident desagradable en una recepció a les Tulleries: les espelmes havien començat a desprendre una olor sofocant que va obligar a obrir les finestres. J.B. Dumas va estudiar el fenomen i va interpretar-lo suposant que s'havia produït

un error en el procés de blanquejat de la cera havia substituït hidrogen per clor; la substància obtinguda desprenia clorhídric en cremar-se i per això feia tan mala olor. l'any 1834 Dumas enuncia la "lleï de metalepsia (substitució)" que "descriu els fets" (dels quals ja se'n coneixien altres exemples) sense intentar cap interpretació que contradigués obertament el dualisme.

Però Auguste Laurent, (1807-1853), ajudant de Dumas i tan valuós com ell, es llença impetuós cap a una nova visió unitària de les substàncies químiques, que és presentada com una alternativa a la de Berzelius perquè prescindeix de la polaritat. El seu model, que presenta en la Tesi Doctoral en 1836, procedeix de la cristal·lografia: així com el cristal·lògraf Haüy imagina que el cristall es forma a partir d'una molècula inicial "elemental" a l'entorn de la qual es van col·locant ordenadament les altres "molècules integrants", Laurent imagina les substàncies orgàniques formades per un nucli inicial C_8H_{12} ($C=6$) que ell dibuixa com si fos un prisma ortogonal amb els carbonis en els vèrtex i els hidrògens en les arestes; els hidrògens podien ser substituïts per clor, o per oxigen, i així es generaven les diverses substàncies relacionades amb aquest primer nucli (Bensaude-Vincent i Stengers, 1993).

Segons aquest model, la substitució dels hidrògens per clor ja no canvia l'estructura de la molècula i, per això, no es modifiquen profundament les propietats. Per a Laurent, la molècula representa una identitat amb una estructura pròpia, i d'aquesta estructura global depenen les propietats; no és tan important la naturalesa electroquímica dels àtoms que la formen com la seva situació en el conjunt. Les seves recerques sobre derivats del naftalé confirmen brillantment la seva teoria del nucli, però la polèmica que enceta amb els grans Dumas (al qual acusarà de plagi quan enuncii la seva teoria dels "tipus") i Berzelius fa que la seva obra sigui poc apreciada pels químics més ben situats, especialment a França on Laurent tindrà poques possibilitats de prosperar acadèmicament.

Segon episodi. Enfrontaments al dualisme polar, sense consens

La possibilitat de substitució d'hidrogen per clor es confirma amb l'obtenció de l'àcid tricloroacètic, que aconsegueix el mateix Dumas; la fórmula que li atribueix ($C_4HCl_3O_2$) ($C=6$) és perillosament semblant a la de l'àcid acètic ($C_4H_4O_2$) i li és difícil negar la substitució de l'hidrogen per clor.

Berzelius, en canvi, intenta primer defugir la semblança entre les dues substàncies, escrivint la fórmula $C_2Cl_6.C_2O_3.H_2O$ ($C=12$) (recordem que la fórmula de l'àcid era $C_4H_6O_3.H_2O$); però quan es demostra que a partir d'aquest àcid es pot obtenir directament l'àcid acètic per hidrogenació simple, ja no pot negar l'evidència de la substitució. Tot i així, es resisteix a deixar la seva concepció dual: proposa ara l'existència d'uns nous radicals sense polaritat, coordinats o "copulats" amb la part polar de la molècula. Així, en la seva fórmula per l'àcid acètic, el grup no polar C_2H_6 està unit al grup C_2O_3 (àcid oxàlic) que és polar i que esdevindrà a partir d'ara comú a tots els àcids orgànics. Berzelius va haver d'inventar constantment nous radicals i les seves propostes es van fer tan complicades que ja ningú les tenia en compte.

Realment, el dualisme estava en crisi. Dumas desautoritzà les idees de Laurent, però ell mateix proposà l'anomenada "teoria del tipus", segons la qual es formen famílies de substàncies per substitució dels àtoms d'hidrogen per clor o oxigen d'una d'elles i les

substàncies d'una mateixa família mantenen quelcom en comú i formen un mateix "tipus químic".

Però tampoc la teoria de Dumas és acceptada. Liebig ridiculitza la teoria de la substitució de Dumas i promet oposar-s'hi des de la seva revista *Annales der Chemie* (i ho fa, ridiculitzant-la). Però en realitat, si es mira desapassionadament, la proposta de Liebig del radical benzoil, que es manté en tots els derivats, no és tant diferent dels tipus de Dumas! Liebig havia fet pinya primer amb Dumas contra Berzelius respecte la composició dels éters i, després, amb Wöhler contra Dumas per tornar a ser, l'any 1845, un defensor seu; ell, que havia organitzat el primer laboratori-escola -exemple per a tota Europa-, acabà desenganyat de les complicacions interpretatives de la química orgànica i abandona aquest camp d'estudi per a passar-se a la química fisiològica.

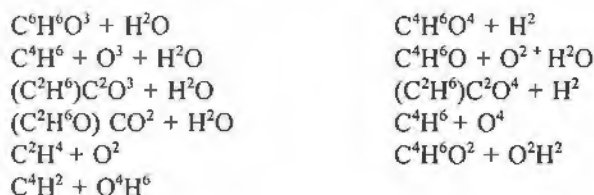
Mentrestant, la teoria dual continua fent camí en l'obra de grans químics com ara H. Kolbe, Bunsen i Frankland que continuen pensant en termes de radicals amb polaritat. També la teoria unitària continuarà desenvolupant-se, gràcies a l'obra de Laurent i de Gerhardt.

Tercer episodi. Buscant regularitats per damunt de tot. El problema de la classificació

Laurent coneix l'any 1843, un altre químic jove, polèmic com ell pel seu tarannà apassionat i pel poc respecte als seus mestres. Es tracta de Charles Gerhardt (1816-1856), que s'havia format amb Liebig i havia tingut també una estada curta, poc afortunada, al laboratori de Dumas. Laurent i Gerhardt s'entenen bé i, per vies una mica diferents, emprenen la tasca de posar ordre en la química orgànica i de classificar els compostos.

L'ordenació que persegueixen la fan a partir de les fórmules: certament, aquestes són generalment confuses, però ofereixen un panorama de la química "sobre el paper" que pot ser també reformat sobre el paper. Buscaren regularitats i precisió en aquest llenguatge escrit i, així, van diferenciar el significat de termes com ara àtom, molècula, equivalent i volum de combinació, que es confonien i que sovint eren considerats sinònims.

Gerhardt vol simplificar les fórmules per tal que una mateixa substància sigui representada per una sola fórmula. Veiem, per exemple, algunes de les fórmules que s'utilitzaven per a l'àcid acètic:



Laurent proposà un principi taxonòmic coherent amb la seva teoria dels nuclis: considera que tots els compostos que es converteixen en una mateixa substància sense pèrdua de carboni pertanyen a una mateixa sèrie. Però aquestes regularitats es tornen evidents en la fórmula només quan totes les fórmules estan escrites segons el mateix conveni (o bé dos o bé quatre volums). Per això Laurent refà totes les fórmules segons el conveni de quatre volums (recordem que això significa tenir fórmules corresponents a 36

g d'aigua, és a dir fórmules dobles a les actuals) i introdueix regles com la del "nombre parell": "Si una fórmula s'expressa en dos volums, la suma de tots els àtoms d'oxigen, hidrogen, halogen i nitrogen ha de ser un nombre parell". Amb aquestes regles detecta els subíndexs que "no lliguen", que fan un mal so en el conjunt. Per exemple, Gerhardt denuncia com a "completament falses" (cal dir que amb un llenguatge massa dur, que demostra el seu poc tacte i que no fa més que portar-li problemes, guanyant-se el rebuig del professors de química) les fórmules que Liebig proposa per a una sèrie de compostos nitrogenats, només perquè contradiuen la llei del nombre parell... i té raó!

D'aquesta manera Laurent i Gerhardt detecten errors en les fórmules. Per conveni, i per poder fer que les fórmules siguin comparables unes amb les altres, Laurent proposa emprar una única llista de masses atòmiques, utilitzant sempre $C=12$. Veiem com varia l'aspecte d'aquestes fórmules una vegada que Laurent hi imposa les seves regles (Laurent, 1854).

Noms de Laurent	Fór. empíriques	De Berzelius	De Laurent
Hidrogen bicarbonat	CH^2	CH^2	C^2H^4
Hidrogen clorat	C^2H^2Cl	$C^4H^6Cl^2$	C^2H^3Cl
Hidrogen biclorat	$CHCl$	$C^2H^2Cl^2$	$C^2H^2Cl^2$
Hidrogen triclorat	C^2HCl^3	$C^4H^2Cl^6$	C^2HCl^3
Hidrogen perclorat	CCl^2	CCl^2	C^2Cl^4

El panorama que mostren les fórmules és ara molt més clar; a més, es pot explicar que el punt d'ebullició d'aquestes substàncies augmenti regularment de la primera a l'última. Permet albirar noves regularitats i això és el que farà Gerhardt ara. S'adona que moltes reaccions es produeixen per eliminació d'aigua, amoníac o clorhídric entre dues molècules diferents, i que els dos "residus" que queden s'uneixen per formar el producte de la reacció.

A partir d'aquestes observacions fa dues propostes interessants: d'una banda, nega qualsevol relació entre els residus i els radicals polaritzats, però ofereix un criteri per classificar un gran nombre de reaccions orgàniques (els nous tipus químics); de l'altra, proposa que les fórmules de l'aigua, amoníac i clorhídric siguin les mateixes en la química orgànica i en la química inorgànica. En utilitzar fórmules de quatre volums, les fórmules d'aquestes tres substàncies resultaven doblades; per tal d'evitar-ho, Gerhardt proposa utilitzar sempre fórmules de dos volums, i Laurent el segueix en aquesta iniciativa. La conseqüència, però, és un gran canvi en la consideració de l'estructura dels àcids: la fórmula de dos volums per l'acètic és $C_2H_4O_2$, i aquesta fórmula ja no permet l'escriptura dual ni de l'àcid ni de la sal; per fer coincidir aquesta fórmula amb els resultats de les anàlisis de les sals de plata, cal dividir per dos la massa atòmica de la plata. Laurent amplia l'ús de les fórmules de dos volums als mateixos elements i dona als elements hidrogen, oxigen i clor les fórmules H_2 , O_2 i Cl_2 .

Tot això és el que proposen amb valentia Laurent i Gerhardt: noves masses atòmiques, noves idees sobre la composició dels àcids i de les sals (i la neutralització), "passen" de la polaritat, imposen les fórmules de dos volums (que és una manera d'imposar la hipòtesi d'Avogadro)...i tot això, "per conveni". No és estrany que la seva tasca faci

impacte. La seva reforma va ser sobretot estètica; però pren de seguida un altre sentit, al llarg dels anys cinquanta.

Malgrat la important tasca que van realitzar, Laurent i Gerhardt van ser marginats a França; mai no aconsegueixen un bon laboratori i van fer llur recerca en universitats de província.

Els resultats que obtenen són valorats de manera diversa: alguns alemanys no els consideren, perquè ells dos són francesos; alguns francesos no els consideren "francesos" pels elogis que reben dels alemanys i, en canvi, guanyaren el rebuig dels grans professors connacionals. Un grup de joves anglesos (com Frankland i Williamson) que es formen a les universitats alemanyes i franceses són els que millor aprofiten llurs idees, que integren amb d'altres que procedeixen de la recerca sobre radicals.

Quart episodi. Calen les teories, en química?

Ja són a la dècada dels cinquanta. Berzelius ha mort i la seva llista de masses atòmiques ha estat abandonada i substituïda, en molts casos, per la de les masses equivalents que Gmelin ha posat de moda i que ha estat ben acollida en els àmbits positivistes de l'època. La teoria atòmica ha estat gairabé abandonada per part dels químics més veterans: no resulta pràctica, i tampoc no soluciona el problema dels volums de manera racionalment satisfactòria. Cada vegada són més els que prenen masses equivalents ($O=8$, $H=1$, $C=6$) i que consideren que parlar d'àtoms és allunyar-se dels experiments. Les polèmiques sobre la constitució de les substàncies orgàniques -nuclis, tipus, residus- han esgotat els "grans" que es manifesten escèptics que sigui competència de la química esbrinar l'estructuració interna de les substàncies. Tal com hem vist, Liebig abandona la química orgànica i es passa a la química biològica, que començava a desenvolupar-se.

És legítim preguntar-se com són estructurades les substàncies orgàniques, si mai no es podran veure els àtoms? La majoria dels químics nascuts abans del 1818 consideren que ja es prou important la immensa tasca de posar a punt mètodes d'anàlisi precisos i de conèixer les masses equivalents de les substàncies (Rocke, 1993). Però una nova generació s'està obrint camí i té ja una actitud favorable a l'especulació teòrica; és més, la considera necessària (Rocke, 1993).

Els químics més joves consideren que el més important és precisament fer les suposicions que calguin per tal d'ordenar els fenòmens i fer-los entenedors. Hem vist a l'apartat anterior com Laurent i Gerhardt prenen una decisió respecte els volums per aconseguir un objectiu que veuen clar: comparar les fórmules, i l'apliquen amb coherència i amb resultats satisfactoris. Aquest és el punt de partida dels químics més joves que han estat educats al bell mig de la polèmica i que consideren estimulants continuar el camí i culminar-lo.

Tot i això, veurem que hi ha diferents opinions respecte a com ha de ser una teoria referent a la constitució de les substàncies: la "convencionalista", que va portar als nous "tipus químics" molt en la línia de Laurent i Gerhardt i de la qual podem prendre Kekulé com a representant; i la "hipotètic- deductiva", que continuava la línia de Berzelius referent als radicals, amb Kolbe com a representant. Les aportacions van ser vàlides des dels dos vessants i ambdues permeteren l'emergència del concepte de valència o capacitat de

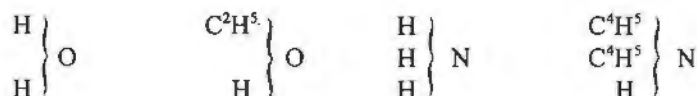
combinació. Però és sorprenent l'enfrontament entre les dues i els arguments que Kolbe utilitzà per defensar la seva posició.

En la primera, les fórmules són fins a cert punt independents de les propietats de les substàncies i expressen, en canvi, regularitats en l'esdeveniment de les reaccions o en les pròpies fórmules que serveixen de base per a les classificacions. En canvi, en la segona el laboratori sempre hi és present. Els radicals que imagina Kolbe tenen tothora sentit químic, mentre que les agrupacions de Kekulé no en tenen, però són imaginatives i esdevenen més elegants i senzilles.

La "Nova Teoria dels Tipus" procedeix del primer enfocament. S'inicia amb una interessant analogia que proposa Laurent, entre la fórmula de l'aigua i la d'altres substàncies:

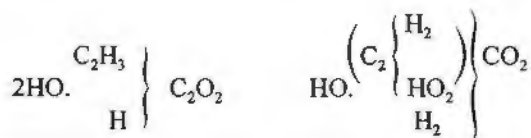
OHH (aigua) - OEtH (alcohol) - OEtEt (èter) - OHK (potassa)

Williamson, un jove anglès que pot ser considerat deixeble de Laurent i Gerhardt (els va conèixer en una estada d'estudis a París) desenvolupa aquesta idea en la seva recerca sobre els alcohols i els èters i considera que corresponen al "Tipus Aigua". Hofmann, poc després, interpreta la síntesi d'amines que acaba de realitzar en termes d'un nou tipus, el tipus amoniac.



Gerhardt, en 1850, amplia el nombre de tipus, afegint-hi el tipus H-H (on inclou els hidrocarburs) i proposa utilitzar "fórmules sinòptiques" per posar en evidència relacions classificatòries; a partir d'aquest moment desenvolupa els nous tipus, que ajuden molt a aclarir les relacions entre substàncies i consoliden una nova manera de considerar els àcids, amb un nou protagonisme de l'H contra la concepció dual "òxid i aigua". Kekulé introdueix finalment el grup metà i amb això justifica la centralitat del C en la química orgànica: aquest element pot quedar unit a quatre grups diferents.

Kolbe segueix una altra orientació. No busca tant l'estètica d'un panorama de lletres ben ordenat sinó que vol que les agrupacions que escriu tinguin sentit químic. Continua aïllant radicals orgànics en reaccions d'electròlisi. Rebutja els tipus, perquè els considera massa convencionals. En canvi, defensa que totes les substàncies orgàniques es deriven de l'àcid carbònic, perquè totes s'originen a partir del C₂O₂, en les plantes. Però en la notació ha aïllat també el C₂, (C=6) fent-lo el punt d'unió dels altres grups d'àtoms de la molècula, que imagina agrupats espacialment i retinguts per les càrregues elèctriques que tenen i que es mostren en l'electròlisi.



Cinquè episodi. La capacitat de combinació i l'estereoquímica (laboratori versus convenis)

Ja som gairebé a la dècada dels seixanta. El congrés de Karlsruhe, amb la brillant aportació de Cannizzaro, establirà definitivament la llista de masses atòmiques que, de fet ja utilitzaven Gerhardt i Laurent, així com la hipòtesi d'Avogadro, reforçada per les noves mesures físiques sobre el comportament dels gasos, en el marc de la teoria cinèticomolecular i de la termodinàmica química, que començava a sorgir. Però uns anys abans ja els nous tipus i els nous radicals, contemplats des d'una perspectiva "teòrica", havien fet emergir el concepte de "capacitat de combinació" o valència.

De fet el primer de parlar-ne va ser Frankland, que treballà amb Kulbe en els radicals. Intentà aïllar radicals treballant amb organometàl·lics (cap a 1850) i s'adonà que, en aquests compostos, el metall té la "mateixa capacitat de combinació" que mostra en les combinacions inorgàniques: "... el poder de combinació de l'element atractiu, si es pot utilitzar aquesta paraula, queda satisfet sempre pel mateix nombre d'equivalents ..." Considerà que la teoria dels tipus i la dels radicals podrien reconciliar-se i va confegir una taula en la qual comparà els "tipus inorgànics amb els orgànics (C=6):

Tipus inorgànics		Tipus orgànics	
	S		C ₂ H ₃
As	S	As	C ₄ H ₅
	S		C ₄ H ₅
Sn	S	Sn	C ₂ H ₃
	S		C ₂ H ₃
Hg	S	Hg	C ₂ H ₃
	S		C ₂ H ₃

Malgrat que Frankland continuà defensant la teoria electroquímica com una explicació entre d'altres possibles, la idea que realment va ser nova fou que els elements tenen un poder de combinació definit. També els Nous Tipus de Gerhardt—Williamson—Hofman conduïren a un concepte semblant: Odling, traductor de l'obra de pòstuma de Laurent (*La méthode de Chimie*), utilitzà cometes per indicar el valor de reemplaçament dels elements d'un dels grups del tipus, comparat amb l'hidrogen; aquesta notació, en ser progressivament adoptada, va facilitar la implantació del concepte de valència.



Però la diferència entre els dos plantejaments es concretà en un punt que resultaria important: l'acceptació de la concatenació, de la unió carboni-carboni que Kekulé proposà

(sense poder explicar-la), però que no tenia cabuda en la perspectiva de Kolbe. Finalment, la introducció de línies entre els àtoms per a representar les suposades unions donà lloc a constructes clars, elegants i fàcils de recordar...però que no reflectien directament el comportament experimental de les substàncies tal com hauria volgut Kolbe.

La química de Kekulé, que inclou els plantejaments geomètrics inicials de Laurent (que Gerhardt no compartia!) evoluciona amb naturalitat cap a l'estereoquímica (de fet Pasteur havia estat orientat en els seus primers treballs per Laurent). És la química "sobre el paper" que ara s'ensenya als joves.

Però Kolbe considerà frívol aquest plantejament; la teoria química que ell voldria havia de ser una teoria més propera a l'experimentació, més "realista". Tampoc aprovà del tot l'acceptació de les mesures físiques de les substàncies, com, per ex., els calors específics dels gasos, que fonamentaren finalment la Hipòtesi d'Avogadro en el marc de la nova teoria cinètico- molecular.

Al final de la seva vida sembla que és la pròpia química la que impediex a Kolbe fer avançar a la química.

Els conceptes d'estructura i enllaç seran ara els conceptes emergents, i les fórmules de Kekulé en facilitaren el camí, però només als que hi veïren més enllà del laboratori. Kolbe es quedà sol, presoner del seu puritanisme químic que s'havia tornat neuròtic al final de la seva vida.

Conclusions

Hem pogut veure les dificultats d'elaborar un llenguatge que transmeti alhora informació sobre el comportament concret de les substàncies i una visió unificada de l'estructuració de totes elles. Cada químic que defensava la seva fórmula enfront de la d'un altre químic sabia ben bé perquè ho feia i segur que tenia raó. Les fórmules es van anar unificant gràcies a un gran nombre de pactes i d'acords:

a) Els químics van acceptar les aportacions dels físics (mesures cristal·logràfiques, calors latents i específiques...) i gràcies a això, la hipòtesi d'Avogadro i una llista unificada de masses atòmiques;

b) Van acceptar per conveni els traços entre els símbols, malgrat que no sabien res d'enllaços químics; en les fórmules apareixien agrupacions d'àtoms amb una relació poc definida amb les propietats de les substàncies;

c) Es va acceptar per a les substàncies "models" allunyats de la investigació pròpiament química al laboratori (com els cristalls), i que fossin aquests models els representats per les fórmules;

d) Varen imposar un llenguatge semblant a l'àlgebra, però amb un significat ben diferent, malgrat l'oposició, ben enraonada, de molts científics que consideraven que aquesta manera de procedir introduïa confusió en el llenguatge i no la claretat que es pretenia.

Tots aquests pactes, assumits pels químics, van portar a un llenguatge sistemàtic, que no ha deixat de desenvolupar-se sense canviar radicalment fins el moment present. Però aquest llenguatge no correspon al "sogni de Lavoisier", no és un llenguatge que pugui transmetre una interpretació teòrica única dels fets.

Alguna cosa que hem rebut en la nostra formació científica ens fa ser massa triomfalistes, o massa confiats, o una mica cecs, en relació a les fórmules... Les presentem als joves, als nens, com si fos el més important de la química i com si realment, amb elles, els poguéssim estalviar les dificultats d'interpretar els fenòmens químics. Però cap llenguatge té el poder de donar per ell mateix el coneixement, sino que hi ha d'haver en primer lloc la necessitat de comunicar quelcom. No seria millor procurar que els alumnes es preguntin sobre els fenòmens químics, se'ls mirin i hi pensin, més que donar-los un llenguatge que els és estrany pensant que ell tot sol reproduirà les preguntes i respostes que el van fer néixer?

Com a conclusió, ens podem preguntar què és el que ens comuniquen realment les fórmules. Però deixem aquesta pregunta sense resposta: requereix una recerca diferent d'aquesta.

Bibliografia

BENSAUDE-VINCENT, B.; STENGERS, I. (1993), *Histoire de la Chimie*. París, La Découverte.

IZQUIERDO, M. (1995), "Lavoisier: una reforma del llenguatge per a la reforma de l'ensenyament". En: *Actes de les Jornades en commemoració de Lavoisier* (en premsa). Barcelona, IEC.

LAURENT, A. (1854), *Méthode de Chimie*. París

ROCKE, A. (1984), *Chemical atomism in the Ninnetenth Century*. Columbus, Ohio State University Press.

ROCKE, A. (1993), *The quiet revolution*. Berkeley, University of California Press.

RUSSELL, C.A. (1971), *The History of Valency*. Leicester University Press.

TURNER, E. (1833), *Elements of Chemistry*. London.

NYE, M.J. (1993), *From Chemical Philosophy to Theoretical Chemistry*. Berkeley, University of California Press.