

CÓMO FACER, HOXE, UNHA REVOLUCIÓN QUÍMICA.

Manolo R. Bermejo

Dpto. Química Inorgánica

Universidade de Santiago de Compostela

1. INTRODUCCIÓN

Veño matinando, dende hai tempo, sobre a necesidade que ten o mundo de hoxe dun cambio radical no mundo da Química: tanto na investigación, como na docencia e na divulgación do noso saber cómpre a realización dunha nova Revolución.

No último congreso de **ENCIGA** presentei unha comunicación (1) sobre “A Química. Ciencia dun Revolucionario?”. Aproveitando o coñecemento da Historia da Química, e a obra científica de Lavoisier, reflexionaba sobre como se realizou a primeira Revolución Química. Tentaba presentar como fixo Lavoisier para crear unha Ciencia Moderna partindo dunha alquimia máis ou menos desenvolvida.

Como moitos sabedes non puiden defender nin explicar a miña ponencia e, dado que o ano 2011 será o Ano Internacional da Química, necesitaba afondar sobre esa comunicación (1) completando canto alí se iniciaba de modo que ambos os dous textos constitúan un traballo máis completo, o que me permitirá expresar as miñas ideas sobre a necesidade dunha nova Revolución na Química.

A vida e a obra científica de Lavoisier (2-4) representan unha parte da Historia da Ciencia que non só nos serve para comprender como se forxou a nosa disciplina senón que nos aporta ferramentas didácticas para comprender como se fixo a primeira Revolución Química. Tamén nos axuda a comprender cales son os puntos esenciais de como se realiza unha Revolución Científica e, o que resulta máis importante, axúdanos a formarnos para ensinalles aos nosos alumnos cal é a liberdade creativa da Química, e que eles deben ser obxectos directos da construción da nova Química sentíndose Revolucionarios.

Seguindo as ideas de Kuhn (5), e utilizando a Historia da Química, estamos en condicións de comprender como se fixeron as Revolucións que permitiron que a Química se atope na posición cimera actual. Se chegamos a comprender e operativizar os fundamentos da realización dunha Revolución científica, estaremos en condicións de ensinalles aos nosos alumnos como se fai. Deste xeito a Historia da Ciencia servirá non só para comprendermos o noso pasado, senón para albiscar no futuro, de modo que os nosos alumnos comprendan que deben pensar como revolucionarios na elaboración da Nova Química.

O ano 2011 celébrase o centenario da concesión do premio Nobel de Química a María Skłodowska (3,6) científica polaca formada en París e casada con Pierre Curie co que xa recibira

o premio nobel de Física no ano 1903. Tal acontecemento levou a elixir o ano 2011 como Ano Internacional da Química. É esta unha boa ocasión para ensinarlle aos nosos alumnos: como se fai a ciencia; como se fai unha Revolución Científica; como se constrúe o coñecemento científico; como...

Utilizando a Historia da Química poderedes distraer aos vosos alumnos na aula e ensinarlles como se foi facendo, se fai e se deberá facer no futuro a nosa disciplina.

2. COMO FOI A REVOLUCIÓN QUÍMICA DE LAVOISIER

A Revolución que Antoine Lauren Lavoisier realizou no mundo da química, no remate do século XVIII, foi unha típica Revolución da Ciencia.

Mais como é unha Revolución na Ciencia? Como foi a Revolución da Química? Quen revolucionou a nosa disciplina? Comecemos por dicir que as Revolucións na Ciencia non son sanguentas; pero si implican o derrocamento das ideas. A Revolución científica oponse á evolución e á reforma das ideas e provoca unha mudanza cualitativa das mesmas. T. S. Kuhn (5) escribiu contra a visión acumulativa da ciencia, popularizando nocións como: *paradigma*, *crise*, *ruptura* e *revolución*. Na súa obra “The structure of scientific revolution” pronúnciase pola idea da necesidade de revolucións periódicas na Ciencia: Cando a Ciencia –nunha determinada disciplina– se estanca pola acumulación de coñecementos, cómpre a Revolución. Di Kuhn que, para avanzar no coñecemento, cómpre cambiar de *paradigma* (conceptos aceptados como válidos nun momento do proceso creativo) e provocar unha *crise* dese coñecemento que leve a unha *ruptura* con ese presente, que conduza á construción do novo futuro científico: a Revolución. Estas ideas de Kuhn serven para interpretar unha parte significativa das Revolucións que se produciron na Historia da Ciencia.

Os traballos de Lavoisier serven para ilustrar e comprender como, na súa época, se vai producir a Revolución da Química. Expliquei con anterioridade (1) que a de Lavoisier foi a primeira gran Revolución que tivo lugar na nosa disciplina; pero non a última, nin sequera a máis importante na miña opinión, pero si chantou os alicerces para que se puidera comezar a cimentar o que ía ser unha Ciencia moderna.

Cando Lavoisier chega ao mundo da química a Teoría imperante era a *teoría do floxisto* baseada nos Elementos-Principio. Lavoisier vai facer unha Revolución segundo Kuhn:

- Cambia o *paradigma*: o floxisto é unha entelexia -non existe-, no seu lugar vai poñer o osíxeno e crea a *Teoría da Combustión*.
- Vai provocar unha *crise*: os Elementos-Principio non son elementos senón compostos; logo todo é falso. Cómpre cambiar unha teoría que é falsa.
- Consegue provocar unha *ruptura*: os seguidores da teoría da combustión van por un lado e os “floxistas” continúan no seu.

O resultado é ben sabido por todos: a *teoría do floxisto* foi perdendo “adeptos” que se sumaban aos seguidores da nova teoría.

Estaba producíndose a Revolución e estaba nacente a química moderna. Máis vaiamos por pasos.

3. POR QUE TIVO QUE FACER LAVOISIER UNHA REVOLUCIÓN?

Cando Antoine-Laurent Lavoisier se incorpora ao mundo da ciencia a *teoría do floxisto* é a única teoría aceptada; os seus colegas, e de modo particular o seu mestre Rouelle, son defensores

desta teoría. Lavoisier nace, na ciencia, mamando e practicando esta teoría; tamén utilizando os Elementos-Principio considerados esenciais por Sthal (7).

Cómo chegou Lavoisier a dubidar desta teoría? Cando a abandonou? Non se pode respostar con claridade, pero si podemos dicir que dubidou da teoría por mor do seu método experimental, polo emprego cuantitativo da balanza. Mais a idea de abandonar a *teoría do floxisto* non foi froito da inspiración repentina que xorde dun experimento único ou dunha idea moi brillante: foi o resultado dun estudo en profundidade de máis de quince anos de traballo nos que, paseniñamente, foi analizando, de un en un, os Elementos-Principio.

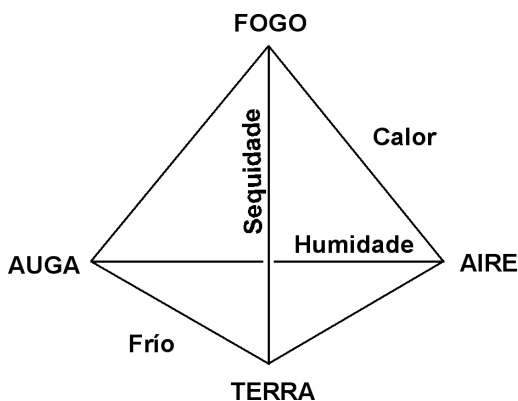
A modo de resumo as ideas que levaron a Lavoisier a non crer nos Elementos-Principio proceden da praxe. Así, como veremos, non pode acreditar neles como parte primordial da materia como se viña aceptando das ideas aristotélicas. Aproveitarei para incidir sobre a maligna influencia que teñen, na Ciencia, as *Preconcepcións* que poden converter falsidades en verdades científicas.

Hoxe ninguén acredita na veracidade dos Elementos-Principio; pero durante máis de 2.000 anos foron tomados como certos. Vexamos como Lavoisier dubidou deles; pero endexamáis denunciou publicamente a súa falsidade:

- (a) *Terra*. Lavoisier iniciouse na Ciencia da man do gran xeólogo Frances Guettard. Con el levantou parte do mapa xeolóxico de Francia. Coñecía que no planeta Terra había *terras* pero non unha única *terra* das que derivaban as demais. Do mesmo xeito que había moitos *cales* e non un único *cal* (hoxe chamámoslle así ao CaO) tampouco existía unha *terra* principio de outras. Logo non era un *Elemento-Principio*.

O convencemento de Antoine deste error conceptual deriva da súa primeira achega ao mundo da Ciencia. Tiña 22 anos cando elaborou, da man de Guettard, dous informes sobre o xeso que presentou na Academie de Science de París no ano 1766. O primeiro, enviado no mes de febreiro foi publicamente lido dando conta da súa composición: cal, H₂SO₄ e H₂O. O segundo informe leuno no mes de marzal sinalando como o xeso para a construción se podía obter a partir do mineral quentándoo a 150 °C. Se o xeso, un mineral dos moitos existentes na *terra*, estaba composto doutros, poderíase considerar a *terra* un Elemento-Principio?

- (b) *Auga*. Nos seus estudos de campo, co seu mestre en química Rouelle, analizou e estudou en profundidade as augas dos vosgos sabendo que eran distintas na súa composición. Logo tampouco había unha única *auga*; había *augas*. Andando o tempo analizaría e descompoñería a *auga* dicindo que estaba composta de dous gases (hoxe son H₂ + O₂).



O tetraedro das transformacións.

- (c) *Aire*. No tempo de Lavoisier falábase de moitos aires (o aire defloxisticado, o floxisto, o aire mefítico, o aire nitroso, o aire fixo, ... etc.). Logo non podía existir un Elemento Principio que contivera outros. Axiña o propio Lavoisier ía comezar os seus estudos sobre o *Aire* e ía comprobar como estaba composto de osíxeno e nitróxeno e, a historia, aínda aportaría máis gases compoñentes (CO_2 , H_2O , CO , NO_x , O_3 , A_x , ... etc.)
- (d) *Fogo*. Endexamais Lavoisier se meteu co chamado Elemento-Principio *Fogo*; pero lendo os seus traballos un decátase que o entende máis como unha enerxía, como unha plasmación do seu *calórico*; pero máis nada.

En definitiva Lavoisier tiña claro que os chamados Elementos-Principio, soporte da *teoría do floxisto*, eran falsos; logo a teoría baseada en falsidades debía ser igualmente falsa; pero, endexamais o dixo en público. Nunca se enfrontou nin cos defensores da *Sublime Teoría*, nin cos seus mestres e amigos. Nunca. Quen fora quen de entender que entendera, abandonara as *Preconcepcións* e se incorporara á nova química.

Indiquemos algúns feitos da historia de Lavoisier que camiñaron nesa dirección.

Non se pode dicir que Lavoisier atacara de forma frontal a “*Sublime Teoría*”, incluso cando no ano 1777 publica as súas memorias “Da combustión en xeral”, e a súa primeira memoria condenatoria do *Floxisto*, as súas conclusións son dunha prudencia extrema. Comeza por subliñar a necesidade de ir máis aló dos feitos á hora de formular hipóteses, e presenta a súa propia teoría como:

“froito dunha metodoloxía indutiva, xeneralizadora e baseada nunha xeira de experimentos metodicamente dirixidos, con medicións precisas, moitas repeticións, variacións e verificacións”.

Está pois claro que, Lavoisier, non estaba disposto a rachar as amarras que, aínda, o vencellaban ás crezas do seu tempo.

A *Teoría da oxidación* de Lavoisier foi o torpedo que alcanzou na liña de flotación á *teoría do floxisto*, polo tanto fixémonos nalgunhas das investigación realizadas sobre este tema e, tiremos consecuencias.

Comezou os seus estudos sobre a combustión a comezos do ano 1772, como consecuencia da publicación, por Morveau, da súa memoria sobre o aumento de peso do chumbo e do estaño cando se calcinaban. Lavoisier, bo observador, ponderado nas súas apreciacións e metódico, axiña se decatou de certas incongruencias nas interpretacións dadas por Guyton dos fenómenos, utilizando a *teoría do floxisto*. No seu ben equipado laboratorio iniciou unha xeira de experimentos, ben planeados e executados con rigor que, co paso do tempo, íanlle permitir a formulación de hipóteses alternativas e mesmo unha nova teoría sobre a combustión frontalmente oposta á “*Sublime Teoría*”.

Ao longo do 1772, o chamado ano crucial de Lavoisier, executou unha xeira de experimentos sobre a combustión do fósforo e do xofre dentro de campás invertidas colocadas sobre auga ou sobre mercurio. O 1 de novembro de 1772 entrega un sobre lacrado, na Academia de Ciencias, contendo unha memoria con resultados, pero solicitando que non se abriera antes do 5 de maio do 1773. Cal era a intención de Lavoisier? Por que o seu secretismo? O seu comportamento ten moito que ver coa prudencia coa que se enfronta á *teoría do floxisto*, a súa investigación era sobre o papel que xogaba o aire na calcinación; decatárase que estaba diante de experimentos que podían facer cambalea a “*Sublime Teoría*” e quería contar coa paternidade, pero tamén gañar tempo para facer máis experimentos que corroborasen as conclusións da súa memoria.

Dado que na metodoloxía de Lavoisier a análise e a síntese son complementarias, aplicou este procedemento ás súas investigacións sobre a calcinación. Se fora capaz de obter un *cal-óxido*—

partindo do *aire* e un metal podería, e debería, rexenerar o *aire* cando descompuxera, hoxe diríamos *reducira*, o *cal*.

En outubro de 1773 procedeu a estudar a redución do minio (óxido de chumbo), empregando carbón vexetal, e comprobou que se producía un gas que, unha vez recollido, era máis pesado que o *aire* e non podía ser identificado con parte do *aire* absorbido. As investigacións de Lavoisier van constituíndo un todo unitario: balanza, *Teoría da Combustión*, estudo da composición do *aire*, descomposición da auga, refutación da *teoría do flogisto*, etc.; son aspectos parciais do seu quefacer na súa revolución da química.

Mais volvamos aos seus estudos sobre a calcinación. No ano 1774 publica, nas Memorias da Academia das Ciencias, os resultados sobre a calcinación do estaño. Quenta estaño metal dentro dun recipiente cheo de *aire* e hermeticamente pechado e comproba que:

1. Ao longo da operación o recipiente non varía de peso;
2. Fórmase o *cal* de estaño;
3. O peso do *cal* aumentou;
4. O peso de *aire* inicial diminuíu.

Logo de realizar escrupulosamente todas e cada unha destas pesadas concluíu que só unha parte do *aire* é capaz de combinarse co estaño, por elo o *cal* incrementa o seu peso, namentres diminúe o peso do *aire*; pero o conxunto segue a pesar o mesmo.

No ano 1777 Lavoisier publicou unha memoria titulada “*Sur la combustion en general*”. Nela, gardando aínda un certo respecto polas ideas de Sthal, propón xa unha hipótese capaz de dar conta conxuntamente tanto da *combustión* como da *calcinación*. Na hipótese indica que a *combustión* caracterízase por catro requisitos:

1. En toda *combustión* se produce liberación de materia como fogo ou como luz.
2. Os corpos non poden arder máis que nun pequeno número de aires, pero non pode haber *combustión* máis que nunha especie deles, no “*aire puro*” (O_2).



Lavoisier e a súa esposa (1788) por Jacques-Louis David.



Retrato de Antoine Laurent Lavoisier.

3. En toda *combustión* hai destrución ou descomposición do “*aire puro*”; o corpo que arde aumenta de peso exactamente na proporción da cantidade de “*aire*” que se destrúe ou descompón.
4. En toda *combustión* os corpos transfórmanse nun ácido pola adición, sobre auga, da sustancia que aumentou o seu peso; así o xofre transfórmanse no ácido vitrílico (sulfúrico), o fósforo no ácido fosfórico, ...

A modo de síntese sobre os traballos realizados sobre a *combustión* e a *calcinación*, no ano 1783, publicou unha memoria titulada “*Reflexions sur le phlogistique*”. Nela presenta argumentos moi sólidos contra do Floxisto e completa a súa *Teoría da Combustión* coa introdución e o desenvolvemento da teoría do “*calórico*” e o concepto do “*principio osíxeno*”.

Para Sthal o principio da combustión reside no corpo combustible que contén *floxisto*, para Lavoisier o verdadeiro principio combustible é o “*principio osíxeno*”. Dende este momento Lavoisier tiña fundamentos dabondo para demostrar a invalidez da *teoría do floxisto* e para substituíla pola *Teoría da Oxidación*. A oxidación sería dende entón a unión dun corpo co osíxeno e non a separación do floxisto. Mais Lavoisier rexeitou a confrontación e preferiu seguir facendo experimentos e que os científicos do seu tempo aceptaran convencidos a súa nova teoría.

Aínda que os seguidores de Lavoisier consideraron revolucionaria a *Teoría da Combustión*, analizada cos coñecementos que hoxe temos sobre a química do seu tempo non é tan revolucionaria. Lavoisier non suprime os “Elementos-Principios”, paires das propiedades no floxisto, porque os necesita para explicar o desprendemento de luz e calor na combustión, que son atribuídos ao desprendemento do “*calórico*” contido no aire.

A explicación que dá Lavoisier da combustión na súa teoría é, nembargante, oposta á que daba a *teoría do floxisto*: nesta, a combustión, libera o floxisto contido no corpo combustible; naquela trátase dunha combinación co aire, polo tanto a fonte de calor xa non se atopa no combustible (floxisto) senón no aire (calórico). Esta explicación supón a inversión do papel do calor: para Sthal, o calor, ao fixarse, provoca unha combinación ou condensación, para Lavoisier provoca unha expansión e mesmo unha desagregación.

O asalto final á *teoría do floxisto* realízaa Lavoisier no ano 1789 coa publicación do seu “*Traité Elementaire de Chimie*”. Nel deixa recollidas as súas ideas por escrito para que, paseniño, os seu lectores vaian impregnándose das súas ideas, nunca expostas como un ataque frontal ás da *teoría do floxisto* mais, como vimos de indicar, totalmente opostas.

Os lectores do seu libro de texto axiña se decataron do obsoleto que quedaban as ideas da *teoría do floxisto* e a inutilidade de seguir acreditando nos “Elementos-Principios”.

4. COMO REALIZOU ANTOINE LAVOISIER A REVOLUCIÓN QUÍMICA

Presentei algúns aspectos experimentais da obra de Lavoisier que o levaron a cuestionar a validez da *teoría do floxisto* e a elaborar a súa *Teoría da Combustión*, e tamén sinaléi como esta nova Teoría cumpre varios dos postulados das Revolucións da Ciencia de Kuhn (5): cambia o *paradigma*; provoca a *crise* dos Elementos-Principio e conduce a unha *ruptura* no mundo da Química. Mais con ser todo o anterior extraordinario, teño para min que non foi o fundamental da obra de Lavoisier.

Cando Lavoisier chega ao mundo da química esta disciplina era informe, seguía sendo unha alquimia evolucionada e pouco máis. Lavoisier decátase desa situación: a química estaba nas tebras e cumpría atopar un medio de comunicación. Remataba o século XVIII cando Antoine se decide a rachar a incomunicación existente na Química e, nun período de 10 anos, conseguirá transformala nunha ciencia moderna.

Na década na que se está fraguando a Revolución Francesa, Lavoisier, vai iniciar, e realizar, a Revolución Química. Como realizou Antoine esta Revolución? Coido que, Lavoisier, non foi consciente do que facía, aínda que como un visionario que era podía intuila. Fora como fora o resultado é que a realizou.

Noutros traballos (1,2) teño explicado polo miúdo como penso que Lavoisier puido realizar a Revolución utilizando tres vectores: *Linguaxe, Teoría e Praxe*. Vexamos resumidamente como operou.

1) Linguaxe. Cando Lavoisier chega á química había moitas formas de chamarlle aos elementos e aos compostos: cumpría unificar a *Linguaxe*, facer o que xa fixeran na historia as matemáticas e a física, pero Antoine non sabe como facelo.

Como é moi intelixente, e coñece moi ben aos que traballan na química da época, sabe que Guyton de Mourgveau é o único que sabe como facelo. Consigue convencelo de que traballe nun proxecto común e, xunto con Fourcroy e Berthollet, póñense mans á obra. O 2 de Maio do ano 1787 presentaron unha memoria na *Academie* titulada “Memoires sur le developpement des prncipes de le Nomenclature methodique” (8): o que dende entón é coñecido como “O Método de Nomenclatura Química”. Chantou as bases da *Linguaxe* química.

Esta Linguaxe levará a representar os elementos químicos por *símbolos* e aos compostos por *fórmulas*. As Reaccións químicas, integradas por fórmulas de reactivos que dan lugar á aparición de novos compostos, resumen estequiometricamente os procesos de obtención dos novos compostos ...

Todo o devandito, explicitado por Berzalius e outros químicos na primeira metade do s. XIX é o desenvolvemento do método de nomenclatura. Hoxe 223 anos despois seguimos falando e escribindo así na química.

2) Teorías. Indicamos os problemas existentes, nas décadas finais do século XVIII, coa *teoría do floxisto*. Cumpría unha nova Teoría e, Lavosisier, dedicou a súa vida de investigador a desmontar a *Sublime Teoría* e crear a nova *Teoría da Combustión*.

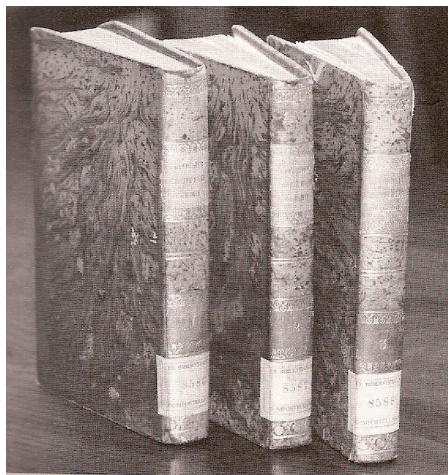
Esta nova teoría abreu as mentes dos investigadores en moi variadas direccións:

- Non existen verdades eternas na ciencia. As vellas preconcepcións (os Elementos-Principio) debían ser eliminadas e non se deberían instalar nunca máis outras novas.
- As teorías están para comprobar e demostrar feitos experimentais e cando non conseguen explicalos, cómpre reformularlas.
- A teoría da combustión non era a Teoría (con letras capitais) como se consideraba ao Floxisto ou Sublime Teoría; senón que era unha teoría (con letra minúscula) impulsora, e mesmo creadora, de novos coñecementos e novas teorías. Deste xeito foron aflorando as teorías: atómico-molecular, cinética, das disolucións, dos ácidos, dos oxidantes e dos redutores, ... etc.
- Unha nova teoría da luz para explicar feitos; pero sobre todo da luz para alumear na escuridade e poder atopar novos descubrimentos.

3) Praxe. Cumpría ligar a praxe da moderna Ciencia coas novas Teorías que ían aparecer: precisábase dun novo libro de química que non tivera nada que ver cos libros anteriores. Lavoisier era consciente de que, este libro, debería estar ligado á praxe, á experimentación e, ademais, debería nacer como obxecto directo da nova Teoría.

No ano 1789, na explosión do nacemento da Revolución francesa, Lavoisier publica o “Traité Elementaire de Chimie” (9) o libro Revolucionario da Nova Ciencia. Comecemos por dicir que non é un libro ao uso. Trátase dun libro modernísimo para a época. É un libro para facer química. Presentando e aplicando a *Teoría da Combustión*, vai ensinando como se practica a Química e ao tempo vai amosando como preparar os compostos coñecidos; pero o que é moito máis importante ensina a soñar coa preparación de novos compostos aínda descoñecidos.

Lavoisier entendeu que para que a Química, e as outras ciencias, avanzaran cumpría que os novos descubrimentos se coñeceran con gran rapidez. Necesitábanse Revistas de Química onde os resultados das investigacións se publicaran axiña e, ademais, non estiveran sometidas a controis ideolóxicos: nunha palabra, que os membros do comité de redacción da nova revista non foran defensores acérrimos da *teoría do floxisto*. Antoine Laurent Lavoisier estaba sentando as bases do que hoxe chamamos a metodoloxía da Química.



O exemplar do *Traité*, en tres volumes, conservado na biblioteca universitaria compostelá.

5. A METODOLOXÍA DA QUÍMICA INVENTADA POR LAVOISIER

A Revolución de Lavoisier foi unha Revolución da Linguaxe; pero tamén unha Revolución metodolóxica. Foi el quen introduciu o uso sistemático do método experimental en todas e cada unha das súas investigacións:

- A utilización da balanza, de xeito rutinario, para pesar con precisión o que acontecía en cada unha das etapas con que conta unha reacción química. Non só pesaba reactivos e produtos sólidos –isto facían case que todos os investigadores da época– senón tamén os líquidos e, de modo particular e moi novedoso, os gases.
- Para elo inventou, deseñou e construíu –axudado por Marie Anne– unha morea de instrumentación de vidro e metal que lle ía permitir medir as sustancias a utilizar ou preparar nas súas investigacións. Nas XIII pranchas publicadas como apéndice no seu libro (9) pódense ver: balóns, retortas, matracas, montaxes de vidro, areómetros, barómetros especiais, gascómetros, ... etc.
- A utilización da Lei de conservación da masa como “*lei motiv*” das súas investigacións. Lavoisier non inventou esta lei pero foi el quen transformou esa idea xeral de causalidade na “Guía” principal do seu traballo.
- A invención da *Ecuación Química*. 30 anos antes de que Berzelius inventara a notación química e, por ende, o que chamamos hoxe *ecuacións químicas*, xa Lavoisier tiña a idea clara do que eran. Cando un lee hoxe o libro de Antoine ten o convencemento de que intuía o que era unha Reacción. Na pág. 195 da súa obra traducida ao galego (9) podedes ler:

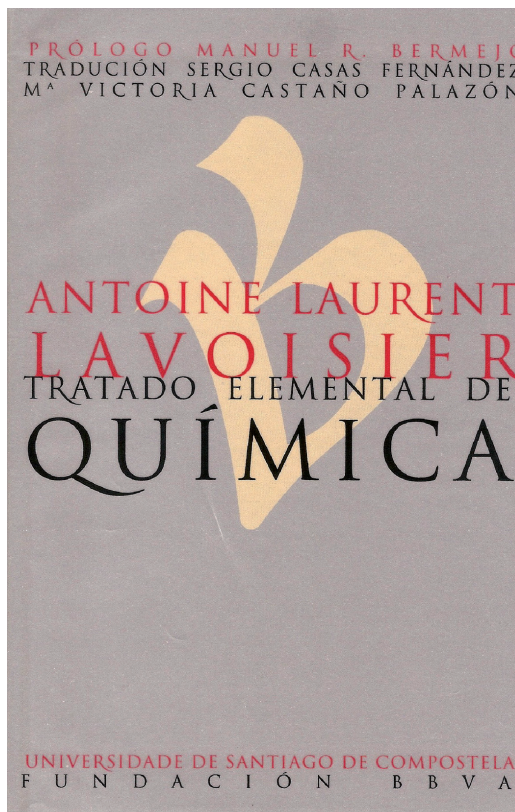
... Así, xa que o mosto de uva produce gas ácido carbónico e alcohol, podóse afirmar que o *mosto de uva = ácido carbónico + alcohol*.

- O uso das “*Follas balance*” como modo de seguir as súas investigacións. Certo que estas follas eran empregadas por outros investigadores; pero foi Antoine quen as popularizou e transformou no que chamamos, hoxe, o “*caderno de laboratorio*”. Cando se leen as notas dos cadernos de laboratorio de Lavoisier pódese percibir como estaba intuindo o desenvolvemento das reaccións químicas e como, elas, estaban sometidas a unha orde –hoxe dicimos estequiometría– que regula unhas determinadas relacións entre os reactivos e os produtos formados. Nas súas “*follas balance*” pódese ver a explicación clara e precisa das etapas polas que transcorren as reaccións. Canto terá que ver nesta claridade e precisión a contribución de Marie Anne?

- O uso sistemático do método experimental, a énfase posta nas determinacións cuantitativas, a claridade e precisión expositiva nos seus cadernos de laboratorio, a intuición na invención das ecuacións químicas, ... etc. foron o que dinamizou a Revolución Metodolóxica realizada por Antoine. En palabra de Henry Guerlac, “A chave que Lavoisier utilizou para realizar a súa revolución foi a aplicación sistemática do seu *reactivo especial*, a balanza”.

Ata a chegada de Lavoisier, a Química –a investigación química– era unha acumulación de coñecementos:

- Preparábanse compostos, cada vez en maior cantidade.
- O investigador que os obtiña dáballes un nome, impreciso, que tan só el sabía a que obedecía (aire defloxicado) e, tal vez, o entendían os seus amigos.
- Estudaba as súas propiedades e comunicábasas na súa Academia ou, con sorte, se publicaba nunha Revista dous ou tres anos despois de obtelo.
- Como se ve un auténtico caos; non había método algún. Antoine ven ser quen puxo orden nese caos. Quen inventou, difundiu e chegou a impor a metodoloxía do traballo na química.



Tradución ao galego do *Traité*.

Esa metodoloxía segue a ser hoxe a forma que lles ensinamos, nos, aos nosos alumnos, de como construír o coñecemento na Química. Vexamos como, aínda hoxe, o noso coñecemento é debedor da metodoloxía que, no seu tempo, impuxo Lavoisier:

- Un investigador prepara un novo composto seguindo unha *Praxe* experimental e baseándose nun dado coñecemento *Teórico* que ten xa adquirido. O novo composto pertence a unha clase de compostos xa coñecidos (haluros, óxidos, sulfuros, sales, complexos, óxidos mixtos, ... etc.), ou descoñecidos; ao que dará un nome comprensible para todos cantos practicamos esta Ciencia. A *Linguaxe*, o nome do composto dinos de que se trata, por exemplo trisoxalato aluminico potásico.
- Xa temos preparado un novo composto cuxo nome é comprensible para todos e temos unha *Praxe* precisa que nos di, non só como se prepara, senón tamén nos ofrece a receita de cómo, cada un de nos, poderá preparalo, ese e moitos outros novos desa mesma clase.
- O seu estudo experimental, o seu comportamento químico, será esencial para un mellor coñecemento. Cómpre tamén publicalo, axiña, para que chegue a todos os curruchos do mundo. Así todos o coñeceremos, o coñecemento multiplícase exponencialmente, e estamos en condicións de preparar e estudar moitos outros.

Cómpre facer notar que a nosa metodoloxía, hoxe, é moito máis completa que esta que vos veño de ofrecer. A metodoloxía practicada, nese novo composto, é tan só debedora das ideas de Lavoisier. Noutras Revolucións da Química fomos aprendendo moito máis e ensanchando as vías do noso coñecemento.

6. HOUBO MÁIS REVOLUCIÓNS NA QUÍMICA?

Para que serviu todo cando levo escrito?

Mais dunha vez indiquei que a historia da Química debémola utilizar como o espello retrovisor do coche: para podermos avanzar cómpre saber que temos detrás; mirando o noso pasado estamos en condicións de ver con claridade no noso futuro, construír o novo coñecemento.

Coñecer a historia da química, saber como Lavoisier fixo a súa Revolución, ensínanos a comprender cal é a metodoloxía a seguir. Un dos piares que utilizou Antoine na súa revolución foi a “Linguaxe”. El, e os seus colegas, estableceron a Linguaxe como forma de comunicación, como vehículo de transmisión do coñecemento. Hoxe, todos nós seguimos a empregar a mesma Linguaxe: a Linguaxe dos símbolos, das fórmulas e das ecuacións químicas. Esta revolución non só dou pé á química moderna, senón que explosionou no século XIX con múltiples descubrimentos e a aparición das novas fillas da química: inorgánica, orgánica, analítica, cinética, termodinámica, técnica, física,... etc.

Houbo mais Revolucións ata hoxe? Para min houbo, na química, unha segunda Revolución. Esta non ligada a ningún persoeiro concreto, senón froito do construto colectivo. Foi a Revolución das Técnicas Experimentais.

Considéroa unha Revolución porque, seguindo a Kuhn, cambiamos de paradigma. Necesitabamos falar coa materia para lle preguntar como estaba constituída, para podela transformar, e aprendemos unha nova Linguaxe: a das Técnicas Experimentais de Diagnose Estructural. Vexamos como se cumpriron as premisas de Kuhn:



Lavoisier no seu laboratorio.

- 1) **Cambiar de paradigma.** Cumpría unha nova Linguaxe capaz de permitirnos entender-nos coa materia.
- 2) **Provocar unha crise.** Aparece un caudal de Instrumentación (Difracción, espectros, ... etc.) que nos permite recoñecer a constitución da materia (átomos, moléculas, novos compostos, ... etc.). Aprendemos a recoñecer como é a estrutura da materia e inventamos Teorías de enlace que nos permiten comprender como e por qué se forman esas estruturas.
- 3) **Provoca unha ruptura.** A química deixa de ser unha ciencia de descubrir por descubrir e, os químicos, decátanse, de que a Química debe converterse na Ciencia do *por qué* e do *para qué*.

Pasamos dunha Ciencia acumulativa de coñecementos para transformala nunha Ciencia con Teorías: Enlace, ácido-base, redox, electrolitos das disolucións, dos materiais condutores, ... etc. Nace a correlación enlace/estrutura/reactividade e aparece máis claro o obxectivo da Química: Ciencia do por qué e do para qué.

A difracción, as espectroscopias, as condutimetrías, ... etc. permitíronnos saber como estaba constituída a materia, o que nos levou a elaborar teorías de enlace que nos permitiron facer propostas estruturais dos compostos coñecidos e mesmo dos aínda non coñecidos. O coñecemento, ou postulación teórica, das estruturas dos compostos levounos a indagar sobre a súa reactividade e a posibilidade de transformalos en novos compostos cos máis variados usos.

7. A NOVA REVOLUCIÓN QUÍMICA

Falar coa materia: novamente a Linguaxe. Hoxe estamos en condicións de falar con todo tipo de materiais, mais ... abonda con elo? Onde estamos hoxe?. Cen anos despois desta segunda Revolución atopámonos nunha ampla encrucillada. Sabemos moito da materia, estamos en condición de preparar infinitos compostos, atopamos novos materiais interesantes, alongamos a vida da poboación con novos medicamentos; pero ... non temos, aínda, unha Teoría de enlace (temos moitas teorías); non temos unha Teoría unificada de campos; non temos unha Teoría atómica; non temos ... Porque non temos todo o indicado, e moito máis, cómpre un salto cualitativo: cómpre unha nova Revolución.

A modo de explicación do que quero dicir reflexionemos sobre algúns dos campos de traballo da química moderna:

- 1º O mundo da enerxía. Sabemos producir enerxía, pero dun modo ineficiente: queimando fósiles, aproveitando o vento, a auga, o sol, ... etc. Todo dun modo moi ineficiente. Para cando a fusión nuclear? No estado actual da ciencia dentro de 50 anos. Cando aprenderemos a replicar a fotosíntese? Ou a realizar a fusión en frío?.
- 2º A supercondutividade. Coñecemos este fenómeno dende hai 200 anos e seguimos perdendo enerxía, por efecto Joule, no transporte eléctrico e consumindo condutores metálicos (Cu, Ag) que xa non temos. Sabemos que hai materiais supercondutores (YBaCuO_{7-x}) a -100°C . Namentres non coñezamos como se produce a superconducción, a traveso da estrutura da cuprita, non resolveremos este problema. Falta unha Teoría de enlace que nos permita comprender, para logo resolver, este e moitos outros problemas da supercondutividade.
- 3º A Química dos produtos farmacéuticos, das enfermidades, do cancro. Como e por qué se produce a enfermidade? Hoxe resolvemos a enfermidade preparando miles de me-

dicamentos e testándoos fronte a enfermos. Para cando a comprensión do problema? O modelo chave (medicamento)-pechadura (enfermidade) serve? Compre coñecer as razóns da enfermidade: deterioro de enlaces / estrutura dos tecidos, órganos, ADN / ARN,... etc.

- 4º A Química Fina. Na actualidade as reaccións químicas, que conducen á formación de novos compostos con interese industrial ou tecnolóxico, son altamente ineficientes: baixos rendementos, tempos de obtención moi elevados, uso de disolventes caros, necesidade de temperaturas elevadas, ... etc. Carecemos de catalizadores heteroxéneos específicos; porque descoñecemos a teoría das reaccións químicas.

Podería poñer moitos máis exemplos, mais abonda. Pretendía expoñer que sabemos moito; pero cómpre un salto cualitativo. Necesitamos unha nova Revolución. Quen fará a nova Revolución? Quen serán os novos revolucionarios? Como será a nova Revolución?.

Algunhas destas preguntas teñen doada resposta: os nosos alumnos. As nenas e nenos que están nas nosas aulas serán os que fagan a Revolución da nova química. Por elo compre preparalos axeitadamente. É imprescindible que aprendan como é a metodoloxía da química. Temos que utilizar a Historia da Química para contarlles como chegamos a onde estamos hoxe, como se fixeron as Revolucións anteriores. Como os problemas acumulados e as preguntas plantexadas provocaron a necesidade dos saltos cualitativos que conducen ás Revolucións científicas. Por todo isto insisto na utilización da Historia da Química, na aula, como unha ferramenta didáctica que nos sirva para ensinar como debemos utilizar a metodoloxía da química como forma para construír o coñecemento.

Sobre como será a nova revolución aventúrome a facer unha proposta:

SERÁ UNHA REVOLUCIÓN DA LINGUAXE

Na 1ª Revolución, a Linguaxe, serviu para comunicarse os científicos entre eles. Na 2ª Revolución, a Linguaxe, nos permitiunos falar-comunicarnos coa materia. A linguaxe na 3ª Revolución hanos permitir a comunicación doada dos coñecementos adquiridos. A nova Linguaxe da química permitiranos comprender doadamente o “**como**” da nosa disciplina de modo que os mestres, podamos rapidamente ensinarlles o “**para que**” aos nosos alumnos.

Unha integradora teoría do enlace permitirá comunicar doadamente como se produce o enlace na materia o que levará a comprender rapidamente a súa estrutura e conducirá a explorar a súa reactividade. A reactividade dos compostos representa o “**para que**”. Para que me serven os novos compostos derivados da reacción deseñada. Estaremos en condicións de deseñar posibles reaccións, cos reactivos axeitados, que conduzan á formación dos novos e desexados produtos: medicamentos, biomateriais, supercondutores, transistores, transdutores, abonos artificiais, transportadores de todo tipo de enerxía, produtores de enerxías limpas, transportadores e almacenadores de electróns ...etc.

A Química do futuro será a Ciencia dos sonhos: o deseño e a realización práctica das reaccións que conduzan a preparar os produtos desexados.

BIBLIOGRAFÍA

1. M. R. Bermejo, “A Química. Ciencia dun Revolucionario?”. XXIII Congreso de **ENCIGA**, páx. 107 (2010).
2. a) M. R. Bermejo, “Lavoisier un revolucionario na Revolución Francesa”. Boletín das Ciencias (**ENCIGA**), nº 19, páx. 53 (1994) e bibliografía citada; b) M. R. Bermejo, “Lavoisier unha Revolución científica”. I e II OMEGA, nº 4 e 5 (1994).
3. a) M. R. Bermejo *et al.*, “Mulleres con Ciencia na Historia”. XIX Congreso de **ENCIGA**, páx. 121 (2006) e bibliografía citada; b) M. R. Bermejo *et al.*, “As mulleres e o Sistema Periódico”. XX Congreso de **ENCIGA**, páx. 33 (2007); c) M. R. Bermejo *et al.*, “Marie Anne Pierrette Paulze: Ilustrada ou científica”. XXI Congreso de **ENCIGA**, páx. 81 (2008) e bibliografía citada.
4. M. R. Bermejo Patiño, “Lavoisier en Galego”. XXII Congreso de **ENCIGA**, páx. 97 (2009) e bibliografía citada.
5. T. S. Kuhn, “The Structure of Scientific Revolution”. Pergamon Press (1962).
6. a) M. R. Bermejo *et al.*, “Mendeleev e e o xénero”. Boletín das Ciencias (**ENCIGA**), nº 67, páx. 161 (2010); M. R. Bermejo *et al.*, “O Sistema periódico en cifras”, Boletín das Ciencias (**ENCIGA**), nº 67, páx. 99 (2010).
7. M. R. Bermejo, “A Teoría do Floxisto”. Revista galega do Ensino, nº 13, páx. 117 (1996).
8. Guyton de Morveau *et al.*, “Méthode de nomenclature chimique proposée par MM. De Morveau, Lavoisier, Berthollet et de Fourcroy”. París. Cuchet, 1787.
9. A. L. Lavoisier, “Traité élémentaire de chimie présenté dans un ordre nouveau et d’après les découvertes modernes”. París. Cuchet, 1789.