

## LAVOISIER I EL LLENGUATGE SIMBÒLIC

**Marta Simón (1); Mercè Izquierdo (2)**

(1) IFP Leonardo da Vinci

(2) Departament de Didàctica de les Ciències-Seminari d'Història de les Ciències. Universitat Autònoma de Barcelona

Paraules clau: *Revolució química, símbols químics, Lavoisier*

Lavoisier and the symbolic language

*Abstract: It is currently accepted that the most important contribution Lavoisier made to chemistry is to have founded the concept of element in the Conservation of Mass Principle. In this paper we present Lavoisier's memoir in which he uses this principle in own special way. His approach allowed him to modify the chemical symbols using them in a similar way to algebra. It is also interesting to see Lavoisier's indecision in reference to water, which is represented by a symbol, as an element, in spite of the fact that it was recognized as a compound in the text.*

Key words: *Chemical revolution, chemical symbols, Lavoisier*

Quines estratègies s'apliquen quan es produeix o es llegeix comprensivament un text?

Lavoisier vol reformar el llenguatge de la química per tal d'aconseguir que el text reproduïxi l'experiment. Però, en realitat, el llenguatge que proposa Lavoisier és "teòric" perquè es refereix als experiments en termes de la seva teoria dels elements i prioritza les dades quantitatives obtingudes amb instruments precisos, com són ara la balança o el calorímetre.

Però per tal d'aconseguir transmetre les idees per escrit, cal comptar amb una lectura comprensiva. Com és que un alumne es capaç de llegir i sentir manifestacions lingüístiques complexes com són ara els textos, d'entendre'ls, d'extreure'n informació i emmagatzemar-la en el cervell i tornar a reproduir-la segons la situació?

Cal que el lector reconegui la tipologia del text (el seu format, els seus aspectes retòrics), a la vegada que, la intenció de l'autor; cal que descodifiqui el sentit de les paraules, que compregui que les relacions entre proposicions i entre aquestes i els seus referents. Però Lavoisier s'interessa, en primer lloc, per respondre a la pregunta:

### Com denominar per reproduir ?

Lavoisier afirma, basant-se en Condillac, que "l'art de raonar es redueix a una llengua ben feta". Per això, el mateix Lavoisier reconeix que el treball que presenta a la comunitat científica és "un mètode d'anomenar, més que no pas una nomenclatura". En el "Discours Préliminaire " del *Traité élémentaire de Chimie* ens diu que l'intent de fer una llengua ben feta, de nomenar correctament, el porta a reformar completament la química. En la present comunicació analitzem l'ús que Lavoisier fa dels símbols, del llenguatge simbòlic, en una de les poques obres en les que hi apareixen i estudiem si els símbols responen als seus propòsits de donar a la química un nou llenguatge teòric, normatiu, fonamentat en una determinada interpretació dels fenòmens; sense comptar amb el flogist, i segons una orientació quantitativa.

El llenguatge simbòlic és convencional i requereix l'establiment d'equivalències entre el sentit de les paraules (en relació als referents experimentals) i els símbols. Només qui coneix aquesta equivalència pot desxifrar el text i interpretar-lo. Els símbols, tal com els utilitza Lavoisier, obliguen a acceptar la seva manera de veure les coses. El reconeixement que els àcids i l'aigua són compostos l'obliga a reconsiderar la dissolució dels metalls en àcids i accepta que està davant d'un procés "més complex que no es pensava". Diu, en la introducció a aquesta memòria que utilitza les fórmules "pour présenter aux yeux... le résultat de ce qui se passe dans les dissolutions métalliques...", que ha construït una espècie de fórmules "qu'on pourrait prendre d'abord pour des formules algébriques, mais qui n'ont point le même object... nous sommes encore bien loin de pouvoir porter dans la chimie la précision mathématique, et je prie... de ne considérer les formules que je vais donner que comme de simples annotations, dont l'object est de soulager les opérations de l'esprit..."

En aquestes paraules de Lavoisier són paleses dues coses: que utilitza els símbols per ajudar a pensar, i que relaciona les seves fórmules amb les algebraiques. Certament ens diu que no ho són, però deixa entendre que, amb el temps les fórmules químiques haurien d'arribar a semblar-se a les algebraiques.

Podem distingir, en general, dos tipus de símbols:

- a) els associats forta i universalment a allò que simbolitzen,
- b) els de manera individual, subjektiva i variable a allò que simbolitzen.

Els símbols químics són de la segona mena. Els alquimistes i els químics ja els feien servir des de fa molt temps. Simbolitzaven tant els processos químics i els materials com les relacions entre els canvis químics i l'evolució espiritual dels iniciats que fa dels canvis químics una metàfora de l'evolució espiritual.

Els químics del segle XVII utilitzaren molts dels símbols dels alquimistes (cercles i triangles) però procuraren que els símbols representessin les propietats de les espècies químiques. Lavoisier va fer gairebé el mateix. Tendia, però, a representar, alhora que els elements, llurs propietats qualitatives, llur massa. En la seva memòria sobre la dissolució dels metalls en els àcids, hom pot resseguir l'evolució dels símbols i els intents de Lavoisier per tal de donar-los significat quantitatiu.

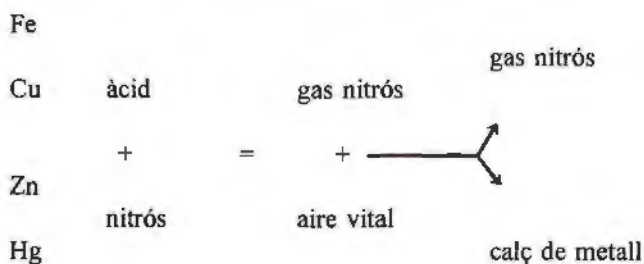
Anàlisi dels símbols en "Considérations générales sur la dissolution des métaux dans les acides".

En la memòria "Considérations générales sur la dissolution des métaux dans les acides", presentada a l'Acadèmia de Ciències l'any 1782, Lavoisier explica com es produeixen les dissolucions dels metalls en els àcids. El text per ampliar les aplicacions de la teoria de l'oxigen i fa veure, amb l'ajuda dels símbols, que les relacions de massa en el canvi químic hom les pot explicar en termes de l'oxigen.

En aquell moment ja ha aconseguit explicar la calcinació dels metalls per via seca, considerant que es combinen amb el principi OXIGEN que es trobava a l'aire combinat amb el calòric. Ara amplia la seva teoria a fi i efecte que li permeti interpretar allò que li passa al metall quan es "dissol" amb un àcid, considerant que s'oxida per via humida. Pretén demostrar científicament que considerant que hi ha una correspondència àcid-OXIGEN, el metall es calcina en medi aquós a expenses de l'àcid de la mateixa manera, que per via seca, ho fa a expenses de l'aire.

No ens cal sinó seguir l'estructura del text, rigurosament organitzat, per seguir el fil de l'experimentació i, paral·lelament, el canvi que es va produint en el seu llenguatge simbòlic. Veiem com va donant als símbols un significat quantitatiu i fa realitat el seu desig d'acostar el llenguatge de la química al de l'àlgebra. Per això els símbols de Lavoisier es van diferenciant dels de Bergman. El mateix interès pels aspectes quantitius de la química és donarà lloc, més endavant, a la "estequiometria química" i, en conseqüència, a "l'atomisme químic" del segle XIX.

Lavoisier explica la dissolució dels metalls en l'àcid nítrós utilitzant com a exemple quatre metalls diferents: ferro, coure, zinc i mercuri. Estima que, en tots els casos, els productes de la reacció són la calç dels metalls i gas nítrós.



Aquesta és, esquemàticament, la reacció que Lavoisier proposa estudiar.

Després de detallar les condicions de reacció, comprova que l'àcid nítrós perd una part de "principi oxigen". Si es demostra que el que hi ha de menys a l'àcid, està de més al metall, que augmenta de pes, amb una quantitat igual a l'àcid nítrós que es perd, podem comprovar que el metall es calcina a expenses de l'àcid.

Lavoisier fa diverses experiències amb diferents concentracions i diferents àcids i, tal com li és habitual, porta el control de les substàncies per les relacions de massa. Comprova, per exemple, que amb l'àcid vitriólic la quantitat d'àcid és la mateixa abans i després d'escalfar i, per tant considera que el principi oxigen l'ha proporcionat, en aquest cas, l'aigua. La conclusió a la que arriba després de fer aquestes experiències es que la

calcinació dels metalls per via humida es complicada degut a que tant els àcids com l'aigua són substàncies compostes.

És en aquest punt que Lavoisier es planteja dissenyar una espècie de fórmules algebraïques que permetin explicar més clarament el procés que ha investigat. Utilitza alguns dels símbols de Bergman, però també n'introdueix de nous.

Veiem, en la taula, la comparació entre els símbols de Lavoisier i els de Bergman. Per exemple, Lavoisier utilitza un símbol nou per a l'oxigen, on no apareix el del flogist (ni tampoc l'aire inflamable obtingut en la descomposició de l'aigua, com veurem) i els símbols de l'aire nitrós i de l'àcid nitrós només insinuen una relació entre ambdues substàncies; en canvi, per a Bergman, l'aire nitrós és àcid nitrós unit al flogist.

#### Comparació de símbols

SUBSTÀNCIA	LAVOISIER	BERGMAN
Substància metàl·lica.	<i>S. M.</i>	
FERRO	♂	♂
AIGUA	▽	▽
ÀCID	⌒	⊕
OXIGEN	⊕	
AIRE NITRÓS	Δ <sup>+</sup>	• ⊕ ⌒
ÀCID NITRÓS	⊕ <sup>+</sup>	• ⊕

#### Estequiometria de la reacció entre els metalls i els àcids.

Veurem ara com representa el procés amb ajuda de les fórmules i com es refereix a l'estequiometria de la reacció.



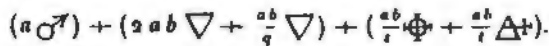
El símbol per l'àcid nitrós en la dissolució del ferro ha canviat: es destaca clarament que va acompanyat d'aigua. Com que la conservació de la massa és el fil conductor de la seva reforma, modifica de nou el símbol de l'àcid nitrós perquè així podrà explicar amb ells tant les modificacions que es produiran com els aspectes estequiomètrics del procés.

(àcid nitrós compost)



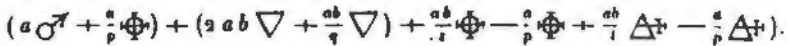
Suposa que  $a$  és el pes de ferro. Necessitem  $ab$  d'àcid, si  $b$  és la quantitat necessària per dissoldre la unitat de massa de ferro. Com que l'àcid nitrós és un compost d'aigua, d'oxigen i d'aire nitrós, suposa que els  $ab$  estan formats per les masses d'aquests altres tres compostos (vegeu quantitats i fórmules a l'annex).

Les proporcions estequiomètriques abans de la reacció són:

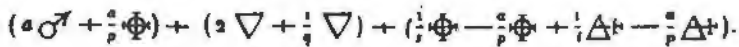


Hi afegeix doble quantitat d'aigua per tal que la barreja no sigui tumultuosa.

Si  $a$  és la quantitat de metall,  $a/p$  és la quantitat d'oxigen que es combina. Com que es comprova experimentalment que es desprèn de la dissolució una quantitat d'àcid nitrós aproximadament igual en pes a la d'oxigen, les proporcions estequiomètriques després de la reacció queden representades per:

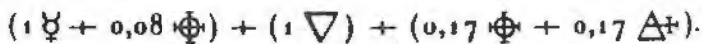


Comença a donar valors numèrics. Per simplificar, considera  $ab=1$  lliura.



Dóna valors numèrics a cada variable, a partir de les dades experimentals que obté al laboratori i que estan anotades amb precisió en el text, fins a poder establir coeficients estequiomètrics. Evidentment, aquests coeficients dependran del metall i de l'àcid utilitzats.

Arriba, d'aquesta manera, a l'expressió general més simple per la dissolució del mercuri perquè, en aquest cas, ajustant la temperatura, aconseguirà utilitzar les mateixes quantitats d'àcid i de metall.



Lavoisier ens diu, finalment, que esperava haver deixat entreveure la possibilitat d'aplicar l'exactitud del càlcul a la química; reconeix que li falten dades de l'aire inflamable i del principi d'oxigen que entren en la composició de l'aigua. En arribar a aquest punt Lavoisier repeteix els experiments en fred. Preveu la introducció d'una geometria més rebuscada, la termodinàmica, que justifiqui allò que passa a l'hora d'escalfar, la manera com s'alteren les forces que operen entre les substàncies.

### Com parla Lavoisier de l'aigua.

És interessant comprovar que Lavoisier considera l'aigua a com un compost de principi oxigen i d'aire inflamable, però la fórmula no està desglossada segons les fórmules d'aquests dos components.

És important recordar que, en aquesta etapa Lavoisier està a punt de completar la seva teoria dels elements, en la qual li sembla que podrà prescindir del flogist. En efecte, en cap moment no esmenta aquest principi, que la química de l'època suposava present en els metalls. En la dissolució amb l'àcid nítric, el flogist es combinava amb l'àcid i formava l'àcid nítrós. Per quina raó Lavoisier no declara, encara, el seu rebuig del flogist? És possible que, com que encara no coneixia la síntesi de l'aigua a partir d'aire inflamable i oxigen, no estigués del tot segur que el flogist no fos necessari per explicar la relació entre l'oxigen i l'aigua.

D'altra banda, Lavoisier tampoc no parla de l'aire inflamable en relació a la reacció entre el ferro i l'àcid vitríolic: només diu que, en aquest cas, l'oxigen el proporciona l'aigua, però no pas que quedarà aire inflamable en llibertat. Està tement que aquest aire sigui, finalment, el flogist?

### Conclusions:

Ens ha semblat interessant presentar una memòria no massa coneguda de Lavoisier, una de les poques en les quals utilitza símbols. Els aspectes que volem posar en relleu i que presentem com a conclusions són els següents:

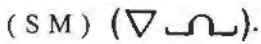
1.- Lavoisier se'ns presenta com un contable: diu què té abans del canvi, què té després i controla que no hi hagin hagut pèrdues de massa. La imatge que dona és més la d'un gestor que la d'un químic. Els símbols, completats amb coeficients l'ajuden a realitzar la tasca.

2.- Hem vist els canvis que introdueix Lavoisier en els símbols emprats per Bergman: no utilitza el flogist. En canvi, mostra que l'àcid nítric conté oxigen, i que aquest oxigen "calcina" el metall. Hem enfatitzat, però en l'intent de representar els aspectes quantitius de la reacció combinant coeficients i símbols i fent, per tant, que el conjunt de símbols funcioni gairebé com una equació algebraica. Poc temps després, Dalton trobarà una manera d'expressar les relacions quantitatives de les reaccions: cada símbol representarà una quantitat definida de massa, un "àtom".

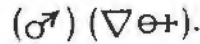
3.- Ens ha semblat important destacar que Lavoisier encara que no està del tot segur pel que fa a la composició de l'aigua, perquè encara no l'ha sintetitzat (no ha reconegut el producte de la combustió de l'aire inflamable i per tant és raonable que dubti si aquest gas és el flogist que intenta desterrar de la química). Però sap ja que l'aigua és un compost, perquè diversos químics han mostrat que reacciona amb el ferro calent i l'oxida, formant aire inflamable. En tota la memòria admet que l'aigua és un compost, però la representa amb un sol símbol, com si fos un element. Això no obstant, malgrat la seva incertesa. pel que fa a la composició de l'aigua, en cap moment no esmenta el flogist.

4.- És remarcable també que Lavoisier s'interessi pels efectes de la calor sobre el canvi químic i es refereixi a la necessitat de completar el balanç global mesurant la calor i, d'aquesta manera, intenta comprendre com i perquè modifica la reacció.

Annex. Estequiometria de la reacció.



Dissolució metàl·lica.



Dissolució de ferro.

Com que l'àcid nítrós és compost, queda:  $(\sigma) (\nabla \Phi \Delta \dagger).$

Introdueix el càlcul estequiomètric.

Si  $a = (\sigma)$        $ab = \Theta \dagger$

$$\nabla = \frac{ab}{q}$$

AIGUA

$$\Phi = \frac{ab}{s}$$

OXIGEN

$$\Delta \dagger = \frac{ab}{t}$$

AIRE NITRÓS

Proporcions estequiomètriques abans de la dissolució.

$$(a\sigma) + (2ab\nabla + \frac{ab}{q}\nabla) + (\frac{ab}{r}\Phi + \frac{ab}{t}\Delta \dagger).$$

Hi afegeix doble quantitat d'aigua perquè la barreja no sigui tumultuosa.

Proporcions estequiomètriques després de la dissolució.

$$(a\sigma + \frac{a}{p}\Phi) + (2ab\nabla + \frac{ab}{q}\nabla) (\frac{ab}{r}\Phi - \frac{a}{p}\Phi + \frac{ab}{t}\Delta \dagger).$$

Si  $a$  és la quantitat de metall, podem dir que  $a/b$  és la quantitat d'oxigen que es combina.

Es desprèn de la combinació una quantitat d'aire nítrós aproximadament igual en pes a la d'oxigen.

$$(a\sigma + \frac{a}{p}\Phi) + (2\nabla + \frac{ab}{q}\nabla) + (\frac{ab}{r}\Phi - \frac{a}{p}\Phi + \frac{ab}{t}\Delta \dagger - \frac{a}{p}\Delta \dagger).$$

Ara comença ja a donar valors numèrics:

Si  $ab = 1$

$$(a\sigma + \frac{a}{p}\Phi) + (2\nabla + \frac{1}{q}\nabla) + (\frac{1}{r}\Phi - \frac{a}{p}\Phi + \frac{1}{t}\Delta \dagger - \frac{a}{p}\Delta \dagger).$$

Dedueix cada variable fins a poder establir coeficients estequiomètrics.

$$(0,2 \text{ O} \uparrow + 0,058 \text{ H} \oplus) + (2,5 \text{ V} \nabla) + (0,192 \text{ H} \oplus + 0,192 \text{ A} \uparrow)$$

Arriba a l'expressió general.

$$(1 \text{ O} \uparrow + 0,08 \text{ H} \oplus) + (1 \text{ V} \nabla) + (0,25 \text{ H} \oplus + 0,25 \text{ A} \uparrow - 0,08 \text{ H} \oplus + 0,08 \text{ A} \uparrow),$$

En arribar a aquest punt Lavoisier repeteix les experiències, en fred.

En escalfar, preveu la introducció, a la química, d'una geometria més rebuscada ... la termodinàmica.

#### Bibliografia.

DAGOGNET F. (1969), *Tableaux et langages de la Chimie*. Ed. Seuil.

GAGO R. (1979) *La introducción de la nueva nomenclatura*".

GOLINSKI J.V. *Languatge, discourse and science*.

LAVOISIER A. L. *Tractat elemental de química*. Publicacions de la Societat de Química de Catalunya.

LAVOISIER A.L. "Réflexions sur la phlogistique". *Mémoires de Lavoisier*. Paris, Imprimerie Impériale de Paris.

LAVOISIER A. L. *Mémoires de Lavoisier*. "Considérations générales sur la dissolution des métaux dans les acides". Imprimerie Impériale de Paris.

LÓPEZ CANCIO J.A. "La evolución de la representación simbólica de los conocimientos químicos". E.T.S. de Ing. Industriales U.P. de Las Palmas. Historia de las ciencias y enseñanza.

MORVEAU, BERTHOLLET, FOURCROY, LAVOISIER. *Méthode de nomenclature chimique*. Ed Seuil.

PARÉS R. (1985), *Cartes sobre la història de la Ciència*. Promociones publicaciones universitarias.

VAN DIJK TEUN A. (1978), *La ciencia del texto*. Paidós Comunicació.