

LA FUNCIÓN DE LAS INSCRIPCIONES EN LOS TEXTOS DE QUÍMICA. LA SORPRENDENTE EVOLUCIÓN DE LA TABLA PERIÓDICA

MERCÈ IZQUIERDO AYMERICH

Universidad Autónoma de Barcelona

Resumen

En esta ponencia se reflexiona sobre la función específica de las inscripciones (fórmulas, tablas, grabados...) que acompañan a los textos científicos, ya que a menudo emergen y se consolidan, gracias a ellas, nuevas entidades científicas. Nos parece interesante que, en algunos casos, continúen siendo utilizadas a pesar de ‘cambios de paradigma’ que alteran su significado inicial.

Esta reflexión se aplica a la Tabla Periódica de los Elementos, que Mendelejev utilizó para mostrar la Ley Periódica enunciada por él mismo en 1869 y que tiene ahora un significado muy diferente al que él le atribuyó, pero que conserva aún la función didáctica que tuvo en su origen.

1. Por una ‘Historia de la Actividad Científica’

La historiografía actual evita el anacronismo y la hagiografía y está atenta a mostrar la relación entre la emergencia de los programas de investigación y la cultura de las sociedades en las cuales aparecen y se consolidan. Los conocimientos científicos se nos muestran así como el resultado de un trabajo colectivo de intervención y de transformación del mundo que responde a intenciones y a valores muy amplios y no como una descripción del mundo, acumulativa y cada vez más exacta y precisa (Hacking, 1983).

Desde esta perspectiva, es conveniente centrar la atención en la ‘Actividad Científica’ en su conjunto y procurar relacionar lo más posible los diferentes contextos en los que ésta se produce. Según Echeverría (1995), estos contextos son cuatro: la innovación y descubrimiento, la justificación o evaluación, la aplicación y la enseñanza; y el tema que ahora nos ocupa se encuentra en la confluencia de todos ello, puesto que se refiere a los mecanismos que hacen posible que los experimentos y el conocimiento de los expertos que ‘descubren’ pasen a formar parte de los textos de ciencias y contribuyan a proporcionar una determinada imagen del mundo, apropiada para la intervención científica, que va formando parte de la cultura en sentido amplio.

Así, una dimensión importante de la actividad científica es la actividad lingüística especializada y la creación del lenguaje es una forma de intervención en el mundo para transformarlo (Austin, 1982) (Searle, 1986). La ciencia ha de comunicarse: a los colegas, a los discípulos; y, para ello, ha de inventar su propio lenguaje. El

lenguaje ordinario no es suficiente para comunicar el conocimiento científico emergente porque las ciencias se refieren a un tipo de intervención, de intereses y de manipulaciones que son específicas y que requieren un discurso también específico. Por ello los textos científicos van acompañados de inscripciones: tablas, fórmulas, esquemas, grabados ... que presentan los hechos del mundo que resultan de la intervención experimental en el formato adecuado para ser impreso y formar parte de un manual (Lemke, 1998, en Martin y Veel) (Golinsky, 1998).

Este lenguaje no es neutro y puede ser acertado o no; si lo es, contribuye poderosamente al desarrollo de las ciencias y en caso contrario, lo frena y dificulta. Algunos científicos, como Lavoisier, son recordados precisamente por su acierto en la renovación del lenguaje de la química al hacer de la substancia simple la palabra simple en el conjunto del nombre de la substancia; otros, como Kolbe, se opusieron a las fórmulas estructurales que impulsaba, entre otros, Kekulé. Así, la Historia de la Ciencia puede ser considerada desde la perspectiva de la comunicación: una historia de la comunicación científica en la que la invención de lenguaje es paralela a la invención de nuevas formas de intervenir y controlar los cambios en el mundo (Rocke, 1993) (Roberts, 1993).

El análisis del poder comunicativo de los textos (gracias al significado de sus inscripciones) y el interés por la función de los textos científicos en el conjunto de la Actividad Científica requiere reconstruir lo mejor posible la audiencia en la que se pensaba al escribirlos y nos conduce hacia los lectores de los libros para los que el texto se escribió; y éstas están formadas predominantemente por estudiantes de ciencias, en sentido amplio. Por esto la Historia de las Ciencias nos proporciona ideas a los profesores de química; al ahondar en ella nos encontramos reiteradamente con el 'Problema del profesor': transmitir el conocimiento práctico a la generación siguiente de la manera más eficaz posible. Los libros son un poderoso recurso para ello y a partir del estudio de su evolución histórica podemos identificar algunas regularidades que pueden aprovecharse para un mejor diseño de la intervención docente; no siempre son fáciles de leer y pueden ser mal interpretados y conducir a un aprendizaje diferente al que el autor se proponía (Guidoni, 1985).

Esta interacción entre el maestro y el discípulo, entre el libro y el lector, es la que impulsa la estructuración de las Disciplinas (que son para el Discípulo) y en nuestra investigación procuramos identificar las etapas de construcción de signos para la comunicación y su relación con la emergencia de las entidades científicas con las cuales unos y otros llegan a decir unas determinadas cosas del mundo en el cual saben intervenir según determinadas reglas metodológicas (Giere, 1988) (Pickering, 1989) (Izquierdo, 1997 a).

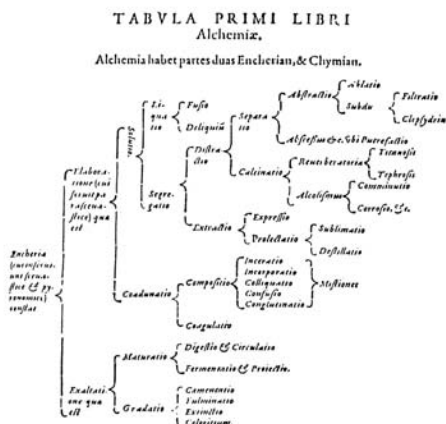
En el caso de la química, estas entidades y signos han formado parte, hasta ahora, de la Tradición de las Substancias; pero quizás ahora están adquiriendo un nuevo significado en el marco de una teoría atómica que es ya muy diferente a la

del siglo XIX y cuyos referentes son fenómenos provocados por nuevos instrumentos muy diferentes a las poyatas donde trabajaron los químicos hasta hace muy poco (Izquierdo, 2001).

2. El origen didáctico de la química y la evolución de la tradición de las substancias, a través de las inscripciones de los textos

Owen Hannaway (1975) considera que la química moderna se consolidó como disciplina debido a la necesidad de dar a conocer a los jóvenes el trabajo de los ‘iatroquímicos’, que se había desarrollado, vinculado a la magia natural, durante el Renacimiento hasta llegar a constituir una alternativa interesante a las recetas de los boticarios tradicionales. Así, hace coincidir el nacimiento de la química con la edición del libro ‘Alchemia’ de Andreas Libavius (1597), que corresponde ya a una nueva época en la que se prioriza la intervención en la naturaleza para beneficio de las personas: para los negocios, para el desarrollo. Libavius escribe el libro porque considera que los conocimientos químicos son útiles, especialmente si se normativizan mediante un texto que puede ser contrastado, debatido y modificado si la práctica a la que se refiere lo hiciera necesario. El libro socializa un conocimiento que antes incumbía sólo al médico iatroquímico, a sus colegas y a sus pacientes. Los aspectos más esotéricos e individualistas de la tradición anterior han sido descartados y se comunica sólo una manera de actuar que conduce a la obtención y purificación de las substancias; las operaciones que se han de llevar a cabo para obtener las substancias químicas que se van a utilizar como medicamentos pasan a ser los ‘temas’ de cada uno de los capítulos.

Libavius define la Alquimia como ‘el arte de preparar magisterios y esencias puras a partir de las mezclas’, con dos partes bien diferenciadas: la enqueria y la química. Nos dice que la primera se refiere a las ‘operaciones de la química’ y que la química es ‘la parte de la Alquimia que se ocupa de la obtención de las especies químicas’. Estas ideas quedan perfectamente reflejadas en la ‘Tabula’ que muestran el contenido de las dos partes del libro. (Ver figura 1)



TABVLA LIBRI SECVNDI ALCHEMIÆ.

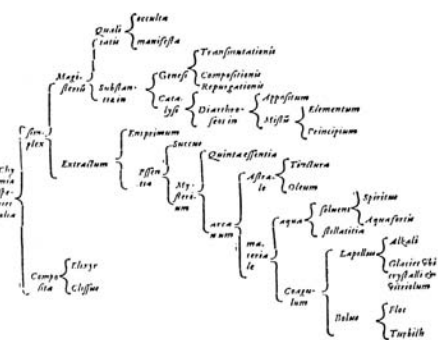


Fig. 1. 'Tabula' en las que se presentan de manera metódica las operaciones de la química (Encheria) y se clasifican las especies químicas (Libavius, Alchemia, 1597)

La disciplina que se está configurando para sus discípulos (los médicos y farmacéuticos) se va a ocupar de 'las especies químicas'. No se nos dice qué son estas especies, porque son precisamente lo que esta disciplina irá identificando como resultado de las Operaciones Químicas; irán apareciendo poco a poco en los libros, gracias a esquemas e inscripciones que permiten capturar el significado de lo que se obtiene mediante el arte químico y a poder establecer nuevas relaciones entre operaciones y productos. Voy a referirme en lo sucesivo a ellas mediante el nombre de 'sustancias' (Gyung Kim, 1992) ...).

Veamos, por ejemplo, el esquema mediante el cual Jean Béguin, autor de Elements de Chimie publicado poco tiempo después en París según la pauta del libro de Libavius, explica la obtención del 'manteca de antimonio' a partir de antimonio y de mercurio sublimado. (Ver figura 2)

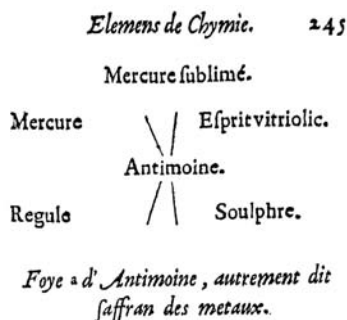


Fig. 2 La primera ecuación química

Béguin se inventó este esquema para mostrar que el producto que obtenía no podía continuar recibiendo el nombre tradicional: mercurio de vida, porque ‘no contenía mercurio’. Para ello muestra las dos sustancias iniciales desdobladas, cada una de ellas, en dos más ‘simples’, que se van a reordenar para dar la dos sustancias finales: cinabrio, que queda en la retorta y la manteca de antimonio, que se destila. El esquema muestra que el ‘régulo de antimonio’, el mercurio, el azufre, el espíritu de vitriolo estaban de alguna manera en las sustancias iniciales y que también han de estar en las finales; el mercurio, con el azufre, está en el cinabrio y el régulo de antimonio, con el espíritu de vitriolo, en la manteca. Béguin, gracias al esquema (¿no se puede hacer de ninguna otra manera!), empieza a dar entidad a algunas ‘sustancias simples’, que van a ser identificadas laboriosamente a lo largo de un siglo; pero la idea que maneja es la de ‘elemento químico’: algo que se ha de tener en cuenta para comprender la historia química de una sustancia: lo que se puede llegar a obtener, o no, a partir de ella (Paneth, 1962).

La tabla que se muestra en la figura 3, publicada en 1728, contribuye a consolidar esta manera de comprender el cambio de las sustancias como reordenación de algunas (las que aparecen en la tabla) que son más simples que las agrupaciones entre ellas. En ella Geoffroy, un químico francés que es miembro de la Académie des Sciences, ordena un conjunto de ‘sustancias’ (¿o elementos?) y lo hace de tal manera que la propia tabla se convierte en Ley. Veamos como lo hace: la primera fila está formada por las sustancias que encabezan las 14 columnas de la tabla; son sustancias que se unen con todas las de la columna para formar un compuesto de las dos, pero lo hacen con afinidad decreciente, de manera que ‘cualquier sustancia de una columna puede desplazar de un compuesto a otra que esté situada por debajo de ella’. A la vez, la tabla ‘muestra’ que las sustancias experimentan relaciones específicas unas por las otras, idea que se irá desarrollando en el marco de una teoría de la Afinidad Química’ (o de atracciones entre partículas, según un esquema newtoniano) sustentada por nuevas tablas, cada vez más completas.

TABLE DES DIFFERENTS RAPPORTS
observés entre différentes substances

Mém de l'Acad 1718 Pl II pag 213

☉	☽	♂	♀	☉	☉	☉	SM	♂	♀	♁	♀	☾	♂	♁	☾
☉	♁	♂	♀	☉	☉	☉	☉	☉	☾	♀	♁	♁	♂	☾	☾
☉	♁	♀	☉	☉	☉	☉	☉	♂	☾	♀	PC	♀	♁	♁	☉
☾	♀	♁	☉	☉	☉	☉	☉	♂	♁						
SM	☾	♀	☾		♁		♁	♁	♀						
		♀	☾	♂	♁			☾	♁						
			♀					♁	♁						
			☾					♀							
	☉							☉							

~ Esprits acides . ☾ Terre absorbante . ☉ Cuivre . ♁ Soufre minéral .
 ☉ Acide du sel marin . SM Substances métalliques . ♁ Fer . ♁ Principe huileux ou Soufre-Principe
 ☉ Acide nitreux . ♁ Mercure . ♁ Plomb . ♁ Esprit de vinaigre .
 ☉ Acide vitriolique . ♁ Règle d'Antimoine . ♁ Etain . ☾ Eau .
 ☉ Sel alcali fixe . ☉ Or . ♁ Zinc . ☉ Sel .
 ☉ Sel alcali volatil . ☾ Argent . PC Pierre Communnaire . ☾ Esprit de vin et Esprits ardents

Fig. 3. La Tabla muestra más de lo que hay en ella: se refiere a todas las uniones posibles, dos a dos, entre las sustancias de cada columna y la que la encabeza

Esta percepción del cambio químico dio lugar a nuevos esquemas o ecuaciones químicas, como el que se muestra en fig 4, que representa la reacción entre la sustancia ‘formada’ por ácido vitriólico y álcali vegetal puro (nuestro sulfato de potasio) y la sustancia ‘formada’ por ácido marino y tierra pesada pura (nuestro cloruro de bario)



Fig. 4. La ecuación que muestra lo que persiste a pesar del cambio de las sustancias, según Bergman (1780)

Lavoisier, unos años más tarde, dio un nuevo paso en la Tradición de las Substancias al considerar que estas ‘substancias más simples’ que van apareciendo de manera recurrente en la Tablas de Afinidad o de ‘Atracciones Electivas’ eran los Elementos de la Química (ver fig. 5) y al inventar, con ellas, un nuevo lenguaje, según el cual las substancias simples reciben un nombre simple con los que se forman los nuevos nombres compuestos para las substancias compuestas; y, de acuerdo con el sentido común, todas las substancias simples ‘pesan’ e intervienen en los compuestos con una masa que propia, constante y por ello característica.

TABLEAU DES SUBSTANCES SIMPLES.

	Noms nouveaux.	Noms anciens correspondans.	
<i>Substances simples qui appartiennent aux trois règnes & qu'on peut regarder comme les élémens des corps.</i>	Lumière.....	Lumière. Chaleur. Principe de la chaleur.	
	Calorique.....	Fluide igné. Feu.	
	Oxygène.....	Matière du feu & de la chaleur. Air déphlogistiqué. Air empiréal.	
	Azote.....	Air vital.	Base de l'air vital.
			Gaz phlogistiqué
	Hydrogène.....	Mofete.	Base de la mofete.
			Gaz inflammable. Base du gaz inflammable.
	<i>Substances simples non métalliques oxidables & acidifiables.</i>	Soufre.....	Soufre.
		Phosphore.....	Phosphore.
		Carbone.....	Charbon pur.
Radical muriatique.		Inconnu.	
Radical fluorique..		Inconnu.	
Radical boracique..		Inconnu.	
Antimoine.....		Antimoine.	
Argent.....		Argent.	
Arsenic.....		Arsenic.	
Bismuth.....		Bismuth.	
<i>Substances simples métalliques oxidables & acidifiables.</i>	Cobolt.....	Cobolt.	
	Cuivre.....	Cuivre.	
	Etain.....	Etain.	
	Fer.....	Fer.	
	Manganèse.....	Manganèse.	
	Mercuré.....	Mercuré.	
	Molybdène.....	Molybdène.	
	Nickel.....	Nickel.	
	Or.....	Or.	
	Platine.....	Platine.	
<i>Substances simples salifiables terreuses.</i>	Plomb.....	Plomb.	
	Tungstène.....	Tungstène.	
	Zinc.....	Zinc.	
	Chaux.....	Terre calcaire, chaux.	
	Magnésie.....	Magnésie, base du sel d'Épsom.	
	Baryte.....	Barote, terre pesante.	
	Alumine.....	Argile, terre de l'alun, base de l'alun.	
Silice.....	Terre siliceuse, terre vitrifiable.		

Fig. 5. La Tabla de los Elementos, de A.L. Lavoisier

¿Qué son estas substancias simples y cómo están en los compuestos? El químico sabe utilizarlas y dice de ellas lo que los libros consiguen comunicar a sus lectores. Veremos a continuación cómo se van a transformar en ‘átomos’ y éstos, en símbo-

los: letras y fórmulas, inscripciones que se van transformando en los referentes de los libros de ciencias que van substituyendo, en los textos, a los auténticos referentes (los cambios químicos reales). El problema empieza a surgir cuando lo que estas inscripciones significan para el autor de los textos no coincide con lo que significan para los lectores, si estos son estudiantes (Izquierdo, 1997b).

3. Los átomos químicos. Las fórmulas y las ecuaciones

Desde su nacimiento, la ciencia experimental ha sido ‘ciencia escrita’ con una retórica propia: el fenómeno del que habla el autor ha de convencer al lector que no lo ha llevado a cabo y por ello ha de ser presentado convenientemente, para que pueda repetirlo. Pero, a la vez, los experimentos han tenido que ser interpretados para ser comprensibles y para ello ha sido necesario inventar un nuevo lenguaje, que se refiere a entidades que supuestamente están en la naturaleza. (Halliday y Martin, 1993). En química, estas entidades son, como hemos visto, las sustancias (simples y compuestas), los elementos, las afinidades... pero también los átomos, que van tomando sentido lentamente en el marco de la química de las sustancias.

En este apartado nos vamos a referir a la teoría atómica química, que es habitual atribuir a Dalton y que se ha convertido en la Teoría Química por excelencia. Sin embargo, lo que hizo Dalton no tiene nada que ver con lo que ahora se dice, en clase, que hizo. El problema que planteamos tiene que ver con las fórmulas y es importante, porque la abundancia de fórmulas en los textos actuales y su interpretación como átomos que se reorganizan ha hecho perder de vista las ‘reglas del juego’ propiamente químicas que les dan sentido. Al profundizar en esta idea vamos a conectar con el problema actual de la tabla periódica, sobre el cual se está empujando una investigación en nuestro departamento.

Los átomos ‘físicos’ no son tan útiles en química como lo son en física. Cuando se puso de moda la explicación mecanicista, ésta se utilizó para explicar fenómenos como el cambio de estado o las disoluciones; pero para explicar el cambio químico se recurrió a ideas similares a los mínimos naturales de Aristóteles, que respetaban la especificidad de los materiales tal como interesaba a los químicos. La explicación atómica se impuso porque permitía imaginar el proceso de transformación de los materiales según un mecanismo razonable; aportaba una retórica que se iba adaptando a los resultados experimentales y a las teorías que permitían su control (Meinel, 1988).

Dalton propuso su Teoría Atómica cuando ya circulaban las tablas de afinidad, convertidas en tablas de ‘elementos’. Propone imaginar tantos ‘tipos de átomos’, irreducibles unos a otros, como ‘elementos’ e inventa una manera de asignarles una masa: la ley de máxima simplicidad, a la que siguieron otras reglas heurísticas propuestas por los químicos (especialmente por Berzelius, que fue el auténtico artífice de la teoría atómica química) que buscaban una manera de comunicar los resultados cuantitativos de manera que pudiera compararse la cantidad de elemento en todas

las substancias que lo contenían. (Bernatowicz, 1970). Para ello era muy conveniente asignar una masa fija a cada elemento, fuera ésta considerada ‘atómica’ o, simplemente, equivalente y admitir que las combinaciones se realizan según proporciones fijas (Grapí y Izquierdo, 1997).

La tabla de la figura 6 representa un instrumento similar a las reglas de cálculo que Wollaston propuso guiándose por reglas estequiométricas, con los mismos resultados prácticos que obtuvo Dalton pero rechazando la hipótesis atómica por considerarla ingenua e imposible de demostrar, por estar excesivamente alejada de lo que los químicos podían hacer en el laboratorio (Wollaston, 1814).

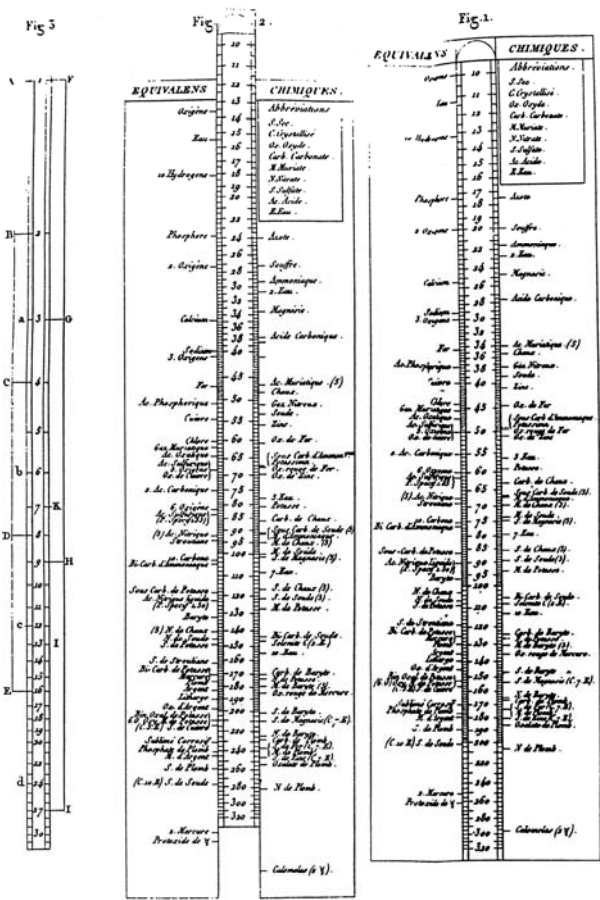
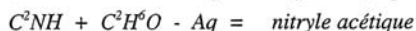
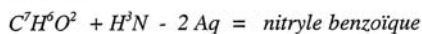


Fig. 6. La 'Echelle des equivalents' aparecida en Annales de chimie, 1814

La mayoría de los químicos desconfiaban de las especulaciones alrededor de los átomos, sin que por esto dejaran de interesarse por asignar una masa fija a los elementos que permitiera representar la composición de los compuestos mediante una fórmula que indicara la participación de sus elementos mediante múltiplos de esta masa elemental. Berzelius consiguió una tabla fiable de masas atómicas alrededor de 1820 con las cuales se podían formular las sustancias inorgánicas de manera convincente. Sin embargo, la tarea no era nada fácil y se complicó cuando empezaron a sintetizarse más y más sustancias orgánicas. Resultaba imposible conseguir que una fórmula representara a un solo compuesto y, a la vez, mostrara relaciones empíricas entre sustancias que permitieran clasificarlas; y que, de la misma manera, una ecuación representara a un proceso y permitiera clasificarlo. La situación llegó a ser tan desesperante que, hacia 1850, Liebig abandonó la investigación en química orgánica.

El problema era que no se conseguía identificar la unidad a partir de la cual representar (medir) la cantidad de sustancia compuesta que interviene en la ecuación. La solución vino de la mano de las nuevas generaciones de químicos, como A. Laurent (1853), que se ocuparon de ordenar el lenguaje de fórmulas que aparecía caótico (Rocke, 1984). La aportación, genial, de Laurent (que fue un mago del lenguaje además de ser un gran químico) consistió en fijar de manera convencional, sólo porque ordenaba el caos de fórmulas, lo que ahora llamaríamos ‘el volumen de un mol’ haciéndolo corresponder al que corresponde a la fórmula H₂O para el agua y en fijar la manera de escribir las ecuaciones químicas para, a partir de ellas, identificar familias de sustancias y clasificarlas (Blondel- Mégrelis, 1996).

Un seul et même corps peut s'obtenir par plusieurs procédés différents. Si donc nous voulions comparer les propriétés et le mode de préparation de deux corps, et si nous prenions, au hasard, une de leurs équations, nous ne parviendrions à faire aucun rapprochement entre celles-ci et les propriétés de ces deux corps. Ainsi les nitryles benzoïque et acétique s'obtiennent de la manière suivante:



Et malgré les analogies qui lient ces deux nitryles, nous n'en saisissons aucune dans leur mode de préparation. Mais il n'en sera plus de même si, à l'équation du nitryle acétique nous substituons celle-ci:

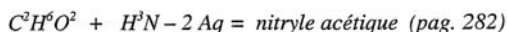


Fig. 7. Extracto del libro ‘La méthode de Chimie’, de A. Laurent

Con ello se va imponiendo la lógica del lenguaje gráfico a la lógica del laboratorio. Gerhardt, Williamson, Hoffman, Kekulé...constituyen la generación ‘joven’ que formulan de manera convencional los compuestos según cuatro patrones o tipos: HCl, H₂O, NH₃ y CH₄; Kolbe, no mucho mayor que ellos, se opone a que aparezcan agrupaciones de átomos que no existen realmente. Tal como sugieren las figuras, el átomo central puede unirse a otros grupos que ‘valen tanto’ como los hidrógenos que sustituían. Con ello ‘se ve’ la valencia, en la inscripción, aunque no se sepa qué es; y, efectivamente, aparece esta nueva entidad, que va a resultar indispensable al clasificar los elementos.

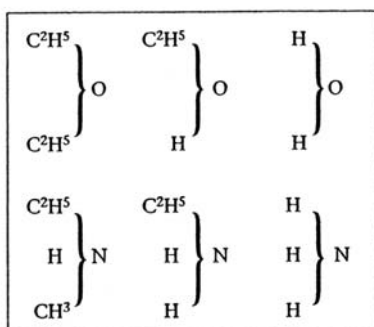


Fig. 8. Algunos tipos y las fórmulas que se derivan de ellos, según García Belmar et al,1999

Como es fácil ver, la concatenación del carbono, cuando los Hidrógenos del metano eran substituidos por otros radicales de hidrocarburos, permitió dibujar las fórmulas como cadenas de átomos que incluso se imaginaban en tres dimensiones (para escándalo de Kolbe)

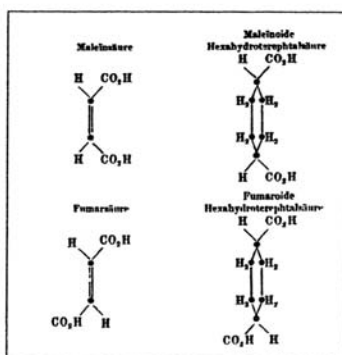


Fig. 9. Las fórmulas orgánicas como cadenas de átomos de carbono con substituyentes, según García Belmar et al, 1999

Con todo ello tan bien dibujado sobre el papel ¿quién podía dudar ya de que los símbolos eran átomos? Sin embargo, no todos los químicos los aceptaban aún. Pero los físicos aportaban pruebas convincentes de la existencia de moléculas en los gases y la aparición de la especialidad ‘química física’ introducía nuevos criterios para operar con, este concepto y permitía incluso especular con el número real de átomos en el ‘átomo-gramo’ o de moléculas en la ‘molécula-gramo’. Se define así el mol y emerge explícitamente, con las fórmulas ya establecidas, el concepto de ‘cantidad de substancia’ que había ido guiando la investigación química desde el origen de la tradición de las substancias. Sin embargo, no se sabía nada sobre el átomo real; todo lo que se sabía de los átomos de los elementos era lo que las inscripciones de los textos decían de ellos (Pellón, 1998).

4. La Tabla Periódica y la Ley Periódica.

Es costumbre aceptar que en 1860, a partir del Primer Congreso Internacional de Química en Karlsruhe, se dispuso de una tabla única de masas atómicas. Continuaba la polémica sobre el significado de términos como átomo, molécula y equivalente, pero las fórmulas se imponían y, hasta cierto punto, hablaban por ellas mismas. Y no por casualidad, poco tiempo después de haber unificado las fórmulas en los textos al disponer de una sola lista de masas atómicas, aparecieron propuestas diferentes, de Lothar Meyer una y de Mendelejev la otra, que mostraban regularidades que aparecían al ordenar los ‘elementos’ en orden creciente de las masas atómicas. Vamos a concentrarnos ahora en la segunda, que proporciona el título para esta ponencia.

Hemos afirmado antes que el siglo XIX empezó aceptando que había tanto elementos como substancias simples y tantos ‘átomos- paquetes- de- masa’ como elementos, pero no hemos comentado que esta situación resultaba poco elegante y que muchos químicos se encontraban incómodos en ella. Prout, por ejemplo, estaba convencido de que los átomos de los elementos eran ‘reducibles’ a átomos de hidrógeno y que por ello sus masas eran múltiplos de la masa del hidrógeno. Muchos químicos participaron de esta creencia a lo largo del siglo e intentaron encontrar regularidades en la masa de los átomos que permitieran mostrar que unos pocos átomos simples se condensaban y daban lugar a otros, formando familias o grupos de elementos con propiedades similares. Sin embargo, a medida que se perfeccionaban los métodos para calcular las masas atómicas se iba viendo que las hipótesis reduccionistas no funcionaban.

El número de elementos fue aumentando y también la incomodidad de manejarlos y el deseo de clasificarlos u ordenarlos de alguna manera. No es posible explicar aquí detalladamente la tarea de clasificación de los elementos que emprendieron muchos químicos y que culminó Mendelejev. Se ha escrito mucho sobre ello y muy bien (ver Bensaude-Vincent, 1995). Lo que nos interesa, ahora, es reflexionar sobre la relación entre el formato ‘Tabla’ y la Ley Periódica, tal como la pensó Mandelejev y tal como se comprende actualmente.

Mendelejev se enfrentó al problema de la diversidad de elementos desde la didáctica. ¿Cómo introducir a sus alumnos de química general las principales ideas sobre los cambios químicos? ¿Cómo hacerlo, si eran combinaciones de elementos y habían cada vez más elementos? Su propuesta, publicada en 1869 y revisada en otras publicaciones posteriores, consistió en organizar la química alrededor de la reactividad de los ‘elementos’, ya que estaba inmerso en la Tradición de las Substancias. Para llevar a cabo esta tarea tuvo que considerar el conjunto de todas las sustancias que ‘contenían’ una misma sustancia simple, incluyendo a la propia sustancia simple... Emerge con ello, explícitamente, la entidad elemento químico, que Lavoisier había identificado ‘grosso modo’ con la sustancia simple: el elemento es ‘aquello’ que comparte la sustancia simple con todos sus compuestos; y su principal propiedad es la valencia, que tiene un significado claro en las inscripciones (las fórmulas desarrolladas) de los textos pero que es difícil de explicar.

Con esta nueva idea de ‘Elemento’ y a partir de la lista de masas atómicas según orden creciente, descubrió la Ley Periódica. Tal como él mismo explica, se dio cuenta de que las propiedades químicas se repetían periódicamente y colocó juntos a los elementos de propiedades similares, formando grupos. Los dos grupos extremos, entre los que se encontraban todos los demás, fueron los alcalinos y los halógenos, y el prototipo de cambio, la formación de cloruro de sodio.

Li = 7 Na = 23 K = 39 Rb = 84,5 Cs = 133
 F = 19 Cl = 35,5 Br = 80 Te = 127

A partir de esta primera propuesta, expuesta en un capítulo de su libro ‘Principios de Química’, los capítulos siguientes se van desarrollando de manera sistemática, yendo desde estos dos grupos extremos hacia los de en medio

Ca = 40 Sr = 87,6 Ba = 137
 Li = 7 Na = 23 K = 39 Rb = 84,5 Cs = 133
 F = 19 Cl = 35,5 Br = 80 Te = 127

Mendelejev creía firmemente en la Ley de periodicidad de los elementos y procuró representarla mediante una tabla, según la tradición de Geoffroy y de Lavoisier; ensayó diferentes formatos que iban siendo superados por nuevos descubrimientos que parecía haberse conjurado para acabar con la Ley y con cualquiera de las tablas que intentaban expresarla.

Groups:		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Typical elements:		H							
Periods Series		Li	Be	B	C	N	O	F	
1.	1.	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	
	2.	K	Ca	-	Ti	V	Cr	Mn	Fe Co Ni Cu
2.	3.	(Cu)	Zn	-	-	As	Se	Br	
	4.	Rb	Sr	Y?	Zr	Nb	Mo	-	Ru Rh Pd Ag
3.	5.	(Au)	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	
	6.	Cs	Ba	-	Ce	-	-	-	- - - -
4.	7.	-	-	-	-	-	-	-	
	8.	-	-	-	-	Ta	W	-	Os Ir Pt Au
5.	9.	(Au)	Hg	Tl	Pb	Bi	-	-	
	10.	-	-	-	Th	-	U	-	

FIG. 17. Mendeleev 1870.

Fig. 10. Una de las primeras tablas propuestas por Mendelejev

Los gases nobles, el número creciente de ‘elementos de transición’, la radioactividad...no cabían en la Tabla original. Pero, con todo, la tabla se fue imponiendo con un formato parecido al inicial y empezó a formar parte de los libros de química general y así es aún ahora. Lo curioso del caso es que la tabla se ha impuesto a pesar de que se fundamenta en algo que Mendelejev nunca aceptó: la estructuración interna de los átomos que permite reducirlos unos a otros...al menos, sobre el papel.

Mendelejev murió en 1907, cuando empezaba a emerger el modelo de un ‘átomo químico’ formado por partículas como el átomo ‘físico’ de los experimentos con las radiaciones. Pero para que ambos átomos coincidieran fue necesario transformar el concepto tradicional de energía y nació así la mecánica cuántica. A pesar de que este nuevo átomo químico ya no era el átomo de la Tabla Periódica, los químicos no renunciaban a la inmensa ventaja de disponer de un panorama global de las reacciones químicas expuesto de manera aparentemente sencilla. Tampoco podían ignorar los descubrimientos que permitían, por primera vez en la historia de la química, manipular misma aquella entidad huidiza (el elemento) que formaba parte de las explicaciones de los cambios químicos. La Tabla pasó a ser el ‘Sistema Periódico de los Elementos’ y se diseñaron centenares de formatos diferentes para mostrarlo; Mazurs, 1974, identifica más de 700. Y la Ley subyacente al Sistema de los Elementos se deduce de la estructura atómica: los períodos tienen que ver con ‘capas de electrones’, los grupos con ‘electrones en la última capa’ que determinaban ‘la valencia’...

PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

Key																																			
1 IA																		18 VIIIA																	
1 H 1.008																		2 He 4.003																	
3 Li 6.941		4 IIA Be 9.012														13 IIIA B 10.81		14 IVA C 12.01		15 VA N 14.01		16 VIA O 16.00		17 VIIA F 19.00		18 Ne 20.18									
11 Na 23.00		12 Mg 24.30		3 IIIB			4 IVB		5 VB		6 VIB		7 VIIB		8 VIII 9 VIII B		10		11 IB		12 IIB		13 IIIA Al 26.98		14 IVA Si 28.09		15 VA P 30.97		16 VIA S 32.07		17 VIIA Cl 35.45		18 Ar 39.95		
19 K 39.10		20 Ca 40.08		21 Sc 44.96		22 Ti 47.88		23 V 50.94		24 Cr 52.00		25 Mn 54.94		26 Fe 55.85		27 Co 58.93		28 Ni 58.69		29 Cu 63.55		30 Zn 65.38		31 Ga 69.72		32 Ge 72.59		33 As 74.92		34 Se 78.96		35 Br 79.90		36 Kr 83.80	
37 Rb 85.47		38 Sr 87.62		39 Y 88.91		40 Zr 91.22		41 Nb 92.91		42 Mo 95.94		43 Tc (98)		44 Ru 101.1		45 Rh 102.9		46 Pd 106.4		47 Ag 107.9		48 Cd 112.4		49 In 114.8		50 Sn 118.7		51 Sb 121.8		52 Te 127.6		53 I 126.9		54 Xe 131.3	
55 Cs 132.9		56 Ba 137.3		71 Lu 175.0		72 Hf 178.5		73 Ta 180.9		74 W 183.8		75 Re 186.2		76 Os 190.2		77 Ir 192.2		78 Pt 195.1		79 Au 197.0		80 Hg 200.6		81 Tl 204.4		82 Pb 207.2		83 Bi 209.0		84 Po (209)		85 At (210)		86 Rn (222)	
87 Fr (223)		88 Ra (226.0)		103 Lr (260)		104 Rf (261)		105 Db (262)		106 Sg (263)		107 Bh (262)		108 Hs (265)		109 Mt (266)																			

Approved by the I.U.P.A.C. Council in Geneva, August 30, 1997

Lanthanide series													
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
138.9	140.1	140.9	144.2	(145)	150.4	152.0	157.2	158.9	162.5	164.9	167.3	168.9	173.0

Actinide series													
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No
227.0	232.0	231.0	238.0	237.0	(244)	(243)	(247)	(247)	(251)	(252)	(257)	(258)	(259)

Copyright © September • 1997 Educational Innovations, Inc.

Fig. 11. La tabla periódica actual, en su formato más frecuente

Se puede poner una fecha para la emergencia de esta nueva Tabla Periódica: 1947, año en el que se publica el libro de Química General de Pauling que interpreta la Tabla Periódica según el llamado ‘Principio de Aufbau’. Aunque los químicos continuamos hablando de la Tabla de Mendelejev, nuestra Tabla- Sistema actual es muy diferente a la Tabla- Ley del siglo XIX.

5. Nuestra investigación actual

La pregunta que ahora nos formulamos es qué tienen en común ambas tablas (la de Mendelejev y la que ahora aparece en los textos de química), si la tabla actual estaba ya contenida, por así decirlo, en la original o bien fue el formato de ‘grupos’ y ‘períodos’ el que proporcionó la plantilla según el cual se organizó la estructura electrónica y se definieron sus parámetros característicos.

Con ello nos estamos preguntando sobre el significado actual de la Tabla, tal como se deriva del uso que de ella se hace en las clases de química: ¿continúa hablando de las sustancias reales o se limita a dar a conocer la estructura interna de los átomos? Lo que parece indudable es que la Tabla periódica continua manteniendo intacto su valor didáctico; se continua enseñando química con ella, aunque la química ya no sea la misma. Pero ¿son conscientes los profesores de estos matices?

¿Dan más importancia a uno de los dos aspectos o se preocupan de que ambos se encuentren bien relacionados?

Los primeros resultados obtenidos se refieren a las dos principales aportaciones de Mendelejev: la definición de ‘elemento’ y el uso de la tabla como instrumento didáctico (Linares, 2002).

La primera, la distinción entre ‘sustancia simple’ y ‘elemento’ aún no es evidente para los alumnos actuales, que quedan atrapados por el lenguaje: utilizan ambos términos como sinónimos. Tampoco lo es la distinción entre elemento y átomo, puesto que se identifica el elemento a un ‘átomo físico’.

Los contenidos que quería enseñar Mendelejev (el cambio químico en su conjunto) continúan siendo válidos en la actualidad y por ello la Tabla continua siendo utilizada por algunos profesores como heurístico que les acompaña en la introducción del comportamiento químico de las sustancias, respetando la posible evolución de significados que deberá producirse a lo largo de la enseñanza (Ben-Zvi et al., 1998). Pero otros la utilizan para introducir la moderna teoría atómica, sin más. No es fácil hacer totalmente compatibles ambas posturas y podemos suponer que se está produciendo un cambio de paradigma que priorizará a una de ellas sobre la otra. Pero la Tabla – Sistema probablemente se va a mantener, porque es extraordinariamente útil disponer de un panorama global de la química en una hoja de papel.

6. Algunas reflexiones finales

En esta ponencia se ha intentado identificar algunas de las aportaciones de las inscripciones al significado de los textos de química. Hemos visto que, con ellas, se hacen visibles regularidades muy abstractas y difíciles de mostrar de cualquier otra manera a los lectores. Sin embargo, su aparente sencillez puede esconder al propio lector- aprendiz la complejidad que pretendían ayudar a comprender; cuando esto ocurre, el lector atribuye a la inscripción un significado diferente al que le corresponde puesto que ella misma pasa a ser el referente del texto, desplazando al fenómeno del cual éste estaba hablando.

Se puede comprender que ocurra esta substitución, porque las entidades convertidas en inscripciones químicas se presentan al estudiante como objetos que le parecen más reales y más fáciles de aprender que los fenómenos a los que éstos se refieren. Es decir, parece como si las inscripciones adquirieran vida propia y, una vez aparecen en los textos, se independizaran de su autor y escaparan a su control, pasando a ser lo que las nuevas audiencias deciden hacer con ellas. La enseñanza ha de dedicar una atención especial al lenguaje para ayudar a superar estas dificultades. (Vigotsky, 1985) (Jorba et al, 1998) (Sutton, 1996)

Con ello surge la pregunta crucial: ¿es legítima la transformación del significado de las inscripciones? ¿Puede llevarse a cabo sin más, como consecuencia de la inte-

racción del lector con el texto? Si fuera así, se estaría atribuyendo a la inscripción una dinámica que debería ser estudiada a fondo desde su ámbito propio, la semiótica, que aporta fundamento teórico a una investigación que se ha de continuar desarrollando desde diferentes disciplinas (Eco, 1999). Esta pregunta puede buscar respuestas operativas en el propio ámbito de la enseñanza, pero también en el de la historia de la química (dando lugar a un proyecto de investigación sobre la evolución de los libros de química modernos y sobre las clases de química actuales, en relación a la articulación de los contenidos alrededor de la Tabla Periódica, como es nuestro caso); en todo caso, todo ello conduce a una reconceptualización del significado del lenguaje en el proceso de construcción del conocimiento científico (Wittgenstein, 1997).

Nos parece que es posible combinar ideas procedentes de los tres ámbitos: el profesional docente, que proporciona problemas de comprensión de los conocimientos y de difusión de los mismos; el científico, que selecciona temas de los que se ha de hablar; y el histórico, que ofrece un panorama de situaciones que fueron problemáticas y que en su momento generaron soluciones de un gran interés. Es muy interesante ver como problemas que en su momento fueron didácticos dieron lugar a las ‘entidades’ que forman parte del imaginario de los químicos, de su / nuestra particular manera de ver el mundo. Y es preocupante ver como se degradan algunos conocimientos: la Tabla que fue, para Mendelejev, una Ley General que organiza a la Química en su conjunto, acaba siendo para los estudiantes de ahora algo que está en el libro y que se refiere a unos ‘números’ (¡cuánticos!) que se han de aprender.

De todo ello surgen nuevas preguntas. La Ley ha cambiado y la Tabla se mantiene, con un formato bastante parecido al inicial. ¿Por qué? La voluntad de conservar la Tabla ¿tuvo algún papel en el desarrollo de la estructura electrónica de los átomos, que curiosamente es absoluta y totalmente compatible con ella?

¿Qué tienen de especial las Tablas y otras inscripciones en los textos de ciencias, que hace que se conserven las ‘formas’ a pesar de los cambios en el significado?

Bibliografía consultada

- AUSTIN, J.I. (1982) *Cómo hacer cosas con las palabras*. Barcelona, Paidós.
- BEN_ZVI, N. *et al.* (1998) “Uses and limitations of scientific models: the Periodic Table as an inductive tool”. *International Journal of Science Education*, 20 (3) 351- 360
- BENSAUDE-VINCENT, B. (1995) “Mendelejev: Historia de un descubrimiento”. En *Historia de las Ciencias*, ed. M. Serres, pp. 503- 525. Madrid, Cátedra.
- BERNATOWICZ, A. (1970) “Dalton’s rule of simplicity”. *JCE*, (8), 577-9
- BLONDEL- MEGRELIS, M. (1996) *Dire les choses. Auguste Laurent et la méthode chimique*. Paris, Vrin
- GOLINSKI, J. (1998) *Making Natural Knowledge. Constructivism and the History of Science*. Cambridge, University Press.

- ECHEVERRIA, J. (1995) *Filosofía de la Ciencia*. Madrid, Akal
- ECO, H. (1999) *Kant i l'ornitorrinc*. Barcelona, Destino (1997)
- GARCIA BELMAR, A., BERTOMEU, J.R. (1999) *Nombrar la materia*. Barcelona, Ediciones del Serbal
- GIERE, R. (1988) *Explaining Science. A Cognitive Approach*. Chicago, University of Chicago Press.
- GUIDONI, P. (1985) "On natural thinking". *European Journal of Science Education*, 7 (2), 133-140
- GRAPI, P., IZQUIERDO, M. (1997) "Berthollet's conception of chemical change in context". *Ambix*, 44 (3), 113- 130, 1997.
- GYUNG KIM, Mi (1992) "Layers of chemical language. I. Constitution of bodies v. structure of matter". *His. Sci.* xxx, pp. 69-96
- HACKING, I. (1983) *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*. Cambridge, Cambridge University Press.
- HALLIDAY, M.A.K., MARTIN, J.R. (1993) *Writing Science: Literacy and discursive power*. London, Falmer Press.
- HANNAWAY, O. (1975) *The Chemist and the Word*. Baltimore and London, J. Hopkins University Press.
- IZQUIERDO, M. (2001) "El naixement de la Química Moderna". *Societat Catalana de Química*, 2, pp. 43- 48
- IZQUIERDO, M. (1997 a) "La narración del mundo en los textos de ciencias". En Mari A. Lires y Marisé P. Mariño (Eds), *O ensino da Química*,. (pp.143-170). Vigo, Servicio de Publicaciones Universidade de Vigo
- IZQUIERDO, M. (1997 b) "El somni de Lavoisier". *Actes de les III Trobades d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, pp. 365- 376. SCHCT, IEC, Barcelona
- JORBA, J., GOMEZ, I., PRAT, A., ed. (1998) *Parlar i escriure per aprendre*. ICE-UAB (Traducido al castellano, 1999)
- LAURENT, A. (1853) *Méthode de Chimie*. Paris.
- LEMKE, J. L. (2000) "Multiplying meaning. Visual and verbal semiotic in scientific text". En Martin, J.R, Veel, R., eds., *Reading Science*, pp. 87-114. Routledge
- LINARES, R. (2002) Analogías sobre TP. Tesina. UAB.
- MAZURS, E.O., 1974 (1957) *Graphic representations of the periodic System during one Hundred Years*. The University of Alabama Press.
- MEINEL, C. (1988) "Early seventeenth- century atomism. Theory, epistemology and the insufficiency of experiment". *Isis*, 79, 68-103.
- PANETH, F.A. (1962) "The epistemological status of the chemical concept of element (I i II)". *British Journal for the philosophy of Science* 49, 1-14; 50, 144-160
- PELLON, I., *Tesis Doctoral*. Universidad del País Vasco
- PICKERING, A. (1989) "Living in the material world". A: D. Gooding et al. (ed.) *The uses of Experiment*, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 275-297

- ROBERTS, L. (1993) "Setting the Table: the disciplinary development of eighteenth-century Chemistry as read through the changing structure of the tables". En Peter Dear (Ed.), *The Literary Structure of Scientific Argument*. Philadelphia, University of Pennsylvania Press.
- ROCKE, A. (1984) *Chemical Atomism in the Nineteenth Century: From Dalton to Cannizzaro*. Columbus. Ohio State University Press.
- ROCKE, A. (1993) *The quiet revolution*. Princeton, The University of Princeton Press
- SEARLE, J. R. (1986) "¿Qué es un acto de habla?". En L. Valdés Villanueva (Ed.), *La búsqueda del significado*, pp. 431-448. Madrid, Tecnos/Universidad de Murcia.
- SUTTON, C.R. (1996) "Beliefs about science and beliefs about language". *Int. J. Sci. Educ.*, 18 (1), pp. 1-18
- WOLLASTON, W.H. (1814) "On a synoptic scale of chemical equivalents". *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 104, 1-22
- VYGOTSKY, L.S. (1985) *Pensamiento y lenguaje*. Buenos Aires, La Pléyade (1934)
- WITTGENSTEIN, L. (1997) *Investigacions filosòfiques*. Barcelona, Edicions 62 (1953)