

La química en la historia,
para su enseñanza.

Aproximación a los orígenes de la química moderna

Juan Quílez Pardo*

Summary

Most chemistry textbooks give the student no clues regarding the origin and development of modern chemistry. Furthermore, there is a widespread opinion supporting that chemistry grew solely out of alchemy. However, a more realistic viewpoint is to recognize that modern chemistry had four experimental sources: the activities of early artisans and technologists, alchemy, medicine and metallurgy. Moreover, the role of language of chemistry is a feature defining the beginning of modern chemistry. The aim of this paper is to summarize both the experimental developments that contributed materially to the support of chemistry and the birth of a system of nomenclature based on the conception of the composition of substances.

Resumen

Muchos de los textos de Química no realizan una aproximación a los orígenes de la química moderna. Además, existe la idea bastante extendida de que la química surgió únicamente como una continuación de la alquimia. Sin embargo, se puede establecer que la química moderna posee cuatro fuentes que le otorgan una base experimental: las artes prácticas, la alquimia, la medicina y la metalurgia. Además, el papel del lenguaje químico es uno de los rasgos que definen el nacimiento de la química moderna. El objetivo de este trabajo supone realizar una síntesis que contemple dos aspectos: a) los desarrollos experimentales que dieron soporte al inicio de la química moderna; b) el nacimiento de un sistema de nomenclatura basado en la concepción de la composición de las sustancias.

Introducción

La generación del conocimiento químico no se limita al saber estrictamente empírico que proporcionan algunos comportamientos particulares o al estableci-

miento de leyes experimentales. Uno de los principales objetivos de la química es desarrollar modelos teóricos explicativos (teorías) que nos permitan comprender las características y las transformaciones de la materia.

Dos de la primeras teorías que impulsaron el conocimiento químico fueron la teoría del *flogisto*, que unificaba los procesos de calcinación y combustión, y el concepto ambiguo de *afinidad química*, que intentaba dar cuenta de por qué unas sustancias se combinaban con otras. La teoría del flogisto permitió orientar la experimentación química a lo largo del siglo XVIII. Por su parte, el concepto de afinidad química, a pesar de ser un concepto vagamente definido y que gozó a través del tiempo de una amplia polisemia, también ayudó al desarrollo experimental de la química, fundamentalmente durante el siglo XVIII y buena parte del siglo XIX.

Las investigaciones fundamentales llevadas a cabo a mediados del siglo XVIII, entre otros, por Joseph Black (1728-1799), Henry Cavendish (1731-1810), Joseph Priestley (1733-1804) y Carl Scheele (1742-1786), que supusieron, esencialmente, el desarrollo de la química neumática, y la síntesis conceptual realizada por Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), configuraron de forma determinante el inicio de la química moderna.

Si bien la balanza no había sido ajena al farmacéutico o al metalúrgico, a finales del siglo XVIII las prácticas químicas empezaron a abandonar su carácter cualitativo debido al empleo sistemático de la balanza, con alto grado de precisión, así como de otros instrumentos como eudiómetros, gasómetros, globos de combustión y calorímetros de hielo. Esta circunstancia permitió la obtención de datos cuantitativos precisos. La tardía constitución de la química como ciencia tuvo mucho que ver con la dificultad de garantizar el mantenimiento de condiciones idénticas en los experimentos, que permitieran efectuar mediciones que posteriormente se pudieran contrastar. Por tanto, la química, como ciencia cuantitativa, se dotó de nuevos elementos de juicio que propiciaban la reproducibilidad de los diferentes experimentos para su contrastación o refutación.

Por otro lado, Lavoisier reconoció que los pro-

* Departamento de Física y Química. IES José Ballester
C/ Alemany, s/n. 46019 VALENCIA

Correo electrónico: j.quílez@teletel.es

Recibido: 15 de mayo de 2001; aceptado: 13 de agosto de 2001.

cesos de combustión, calcinación y respiración, no eran sino manifestaciones de un mismo proceso (oxidación) en los que siempre participaba una misma sustancia: el oxígeno. Se logró con ello una unidad conceptual para explicar la reacción química.

Finalmente, al amparo del nuevo marco teórico, Lavoisier, Louis-Bernard Guyton de Morveau (1737-1816), Claude Louis Berthollet (1748-1822) y Antoine Fourcroy (1755-1809) realizaron una propuesta de sistematización del lenguaje químico. La difusión y aceptación de su *Méthode de nomenclature chimique* (1787) permitió la normalización del lenguaje químico. Unos años más tarde, Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) propuso una notación para los símbolos químicos que se adoptó para representar adecuadamente las sustancias químicas y las reacciones en las que participan.

Antes de que la química alcanzase un *status* de disciplina científica, el abundante conocimiento empírico previo, acumulado a lo largo de los siglos, concerniente a las propiedades de las sustancias, al desarrollo de diferentes técnicas y operaciones químicas, así como al diseño y utilización de nuevos aparatos, proveniente de distintos campos y actividades sin aparente conexión, sentó las bases de lo que hoy conocemos como química moderna. Siguiendo las ideas del historiador de la química Hermann Kopp (1817-1892), podemos decir que las prácticas químicas fueron cambiando de objeto a lo largo del tiempo. Si bien estas actividades compartieron su interés por el estudio de la composición y descomposición de los cuerpos, a lo largo de la historia el análisis químico jugó un papel importante como un medio para alcanzar fines diferentes.

El objeto de este trabajo supone analizar dos aspectos relacionados. En primer lugar, se pretende realizar un breve repaso de las contribuciones provenientes de los siguientes campos: las artes prácticas (alfarería, cerámica, fabricación del vidrio, etcétera), la alquimia, la medicina y la farmacia y la metalurgia (Ihde, 1964; Multhauf, 1966). En segundo lugar, se trata de establecer la necesidad de unificación de un lenguaje químico propio, sistemático y universal, que permitiese la comunicación entre científicos, sin que ello haya supuesto una ruptura de toda una tradición cultural que ha ido acuñando nuevos términos a lo largo de la historia (Crosland, 1988; García y Bertomeu, 1999).

Esta síntesis puede ayudar a introducir los aspectos relacionados en un curso de Química general, máxime cuando una aproximación a los orígenes de

la química moderna se suele encontrar ausente en muchos de los manuales de estos niveles o se trata de una forma quizás demasiado simplificada (Compain, 1990; Ihde, 1957). La bibliografía que se aporta permite completar y ampliar los aspectos que en un artículo de estas características no pueden estudiarse de una forma más extensa y profunda.

Las artes prácticas

En esta parte incluiremos una serie de técnicas químicas, entendidas como el conjunto de saberes prácticos que implicaban la transformación de unas sustancias en otras o aquellos procesos de separación y purificación de una determinada sustancia a partir de una mezcla más compleja. Como veremos, el conjunto de técnicas que podemos agrupar bajo este rótulo es muy diverso y, en ocasiones, proceden de sistemas técnicos completamente independientes, con escaso intercambio de conocimientos entre sí (Derry y Williams, 1986).

El hombre primitivo utilizó el fuego para calentarse, protegerse de los animales y preparar alimentos, especialmente carne. La posterior introducción de la cocción de alimentos fue probablemente el origen de numerosos procesos químicos. Además de la fabricación de las vasijas de cerámica, la costumbre de cocinar la comida y la posibilidad de conservar la carne y el pescado introdujeron una importante demanda de sal. Las fuentes naturales de esta sustancia fueron el agua de mar y las minas de sal gema.

Otras técnicas están relacionadas con la alfarería, la cerámica y la fabricación del vidrio. La fabricación de objetos de barro con fines diversos tiene un origen muy antiguo. En el tratamiento de la arcilla, un paso esencial es el proceso de cocción ya que el resultado final depende de la temperatura máxima alcanzada. La adopción de técnicas que permitiesen alcanzar temperaturas superiores a 750°C propiciaron la obtención de objetos más resistentes y menos porosos. Por su parte, el vidrio era fabricado mediante el calentamiento de una mezcla de sosa, cal y arena. En Egipto, el vidriado de cuentas de esteatita (talco) se conocía desde el cuarto milenio antes de nuestra era y la fabricación de objetos de vidrio sólido data aproximadamente del 2500 aC.

Probablemente el primer metal que se obtuvo mediante calentamiento de un mineral (malaquita, azurita y determinados sulfuros) fue el cobre. A la obtención de este metal siguió su aleación con estaño (obtenido previamente a partir del calentamiento de

casiterita con carbón), formando la aleación denominada bronce, cuya importancia ha dado lugar a establecer un periodo histórico con este nombre. La aleación de cinc y cobre, el latón, aunque era conocida anteriormente, sólo se generalizó en Europa a partir de la Edad Media.

El hierro, que también da su nombre a otro periodo histórico, tenía el inconveniente de que su obtención por reducción del correspondiente mineral y posterior separación requería temperaturas superiores a la necesaria para obtener el cobre. La dificultad que suponía alcanzar temperaturas altas que permitiesen que el hierro fundiese se solucionó, en un principio, con el diseño de hornos que posibilitaban el flujo constante de aire.

Los primeros metalúrgicos, a diferencia de los alquimistas, eran personas incultas, preocupadas fundamentalmente por el desarrollo de las artes prácticas relacionadas con el tratamiento de los metales y de sus minerales. Eran artesanos interesados en el desarrollo de unas técnicas, sin que ello supusiera la existencia de ningún marco filosófico o conceptual que guiase su trabajo. Sin embargo, podemos ver a continuación que puede encontrarse un punto de conexión entre la metalurgia y la alquimia.

Las antiguas civilizaciones conocían bien el oro, la plata, el hierro, el mercurio, el estaño, el cobre y el plomo. Con estos metales los orfebres elaboraban maravillosas piezas de joyería, que en muchas ocasiones trataban de imitar, mediante la preparación de aleaciones, sales y tintes, el color del oro y de la plata. Si bien estas técnicas pueden considerarse como simple empirismo, no debemos olvidar que estaban estrechamente ligadas a la magia, al ritual y al secretismo, lo cual les proporcionaba un cierto soporte teórico. En este sentido, podemos mencionar la asociación realizada entre el nombre de los metales y los planetas, y de éstos con los días de la semana. Además, la creencia de que los metales crecían a ritmo lento en el interior de la tierra propició que la actividad de los herreros y los primeros metalúrgicos fuese considerada como un proceso que podía acelerar el proceso de perfeccionamiento de los metales mediante su transmutación de unos en otros (Holmyard, 1990). En este aspecto es donde se halla el punto de contacto entre el artesano metalúrgico de las sociedades arcaicas y el alquimista (Eliade, 1990).

La obtención de materiales diversos (Shank, 2000), así como la utilización de pigmentos, de tintes para las prendas de vestir, de perfumes y otras técni-

cas como el ensayo de metales para determinar la composición de minerales y aleaciones, y la fabricación de explosivos, son nuevos ejemplos en los que las técnicas empleadas contribuyeron de forma notable al desarrollo de la química moderna.

La alquimia

Las actividades alquímicas estuvieron siempre relacionadas con los interrogantes espirituales del ser humano en busca del sentido del universo, de ahí que la alquimia adquiriera formas diferentes en diversas culturas (china, hindú, griega) y en momentos históricos. Por tanto, los objetivos de la alquimia trascendían a su ocupación en conseguir la transmutación de los metales en oro.

El origen de la alquimia en Occidente se encuentra en Alejandría (Holmyard, 1990), dado su carácter de encrucijada comercial y cultural. Allí se dieron cita las tradiciones griegas, egipcias y orientales (chinas e hindúes). El máximo representante de la cultura helenística que ha llegado a nosotros es Zósimo (siglo IV), quien afirmaba poseer lo que llegaría a ser el elixir, o la piedra filosofal, la 'tintura' capaz de fabricar oro a partir de la rectificación (curación) de los metales 'viles' o 'enfermos'. Además, describió toda una serie de saberes prácticos en forma de procedimientos (destilación, sublimación, disolución, filtración, calcinación, etcétera).

Aunque son precisamente estos procesos y técnicas los que han fundamentado parte de la base de la química moderna, conviene insistir en que unas sólidas bases teóricas, fundamentadas en las teorías griegas de la materia y del cambio, controlaban y dirigían ese desarrollo empírico.

Unos de los primeros textos traducidos del griego al árabe fueron los textos alquímicos. En el siglo VIII comenzaron los trabajos de los alquimistas árabes. Esta alquimia perfeccionó las artes de la destilación y de la extracción, de la fabricación del jabón, de las aleaciones metálicas (las famosas espadas de Toledo), y de la medicina farmacéutica y desarrolló técnicas para el tratamiento del vidrio, la fabricación de papel, tintas coloreadas, etcétera. También progresaron en el conocimiento de técnicas acerca de la obtención y comportamiento de sustancias: álcalis (hidróxido de potasio y de calcio), ácidos (acético), alcohol, etcétera.

Uno de los máximos representantes de la alquimia árabe fue Jabir ibn Hayyan (ca. 721-815) quien defendió las ideas aristotélicas de los cuatro elementos (aire, fuego, tierra y agua y sus correspondientes

cualidades: caliente, húmedo, seco y frío), e introdujo una concepción nueva sobre la composición y la formación de los metales en la tierra, que generalmente es conocida como teoría del azufre-mercurio. Los metales se formarían por la unión de estas dos sustancias hipotéticas: el azufre proporcionaría las 'naturalezas' caliente y seca, y el mercurio lo asociaba con la frialdad y la humedad. Si la unión de estas dos sustancias en estado puro (las dos sustancias naturales denominadas con el mismo nombre constituían las aproximaciones más cercanas disponibles) se producía en el equilibrio natural más completo, el producto producido era el más perfecto de los metales. Por tanto, según esta teoría, los defectos de pureza o de proporción daban lugar al resto de los metales. Estos defectos podían ser corregidos mediante el oportuno tratamiento de elixires.

Otras importantes tradiciones alquímicas árabes son las que giran en torno a autores posteriores como son Al-Razi (ca. 825-925) y Avicena (980-1036/7).

El mundo cristiano, ante la curiosidad de apropiarse del conocimiento del enemigo, empezó a traducir al latín (s. XII) el corpus alquímico árabe aunque dejando sin traducción algunos términos de los que desconocía su significado preciso (ej. alcohol, álcali, etc.). A partir del siglo XIV los alquimistas medievales aprendieron a preparar ácidos fuertes (ácidos nítrico, clorhídrico y sulfúrico) y desarrollaron técnicas de autenticación del oro (agua regia). Algunas figuras destacadas procedentes del mundo cristiano son Alberto Magno (ca. 1193-1280), su discípulo Tomás de Aquino, Arnau de Vilanova, Ramón Llull y Joan de Rupescissa.

La mala imagen que la alquimia ha podido tener se debe, entre otros factores, a la gran cantidad de charlatanes y tramposos que la nutrieron. Sin embargo, la falta de un progreso significativo de la alquimia durante los siglos en los que floreció no se debió tanto a los fraudes cometidos sino al marco teórico que la sustentaba. Hasta que no se abandonó la concepción aristotélica de la materia no pudo desarrollarse la química moderna (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997). Su concepción de los cuatro elementos estaba ligada a experiencias sensoriales cotidianas (referidas a las interpretaciones de ciertas propiedades cualitativas: los sólidos, los líquidos, el viento, el fuego y los objetos calientes, fríos, húmedos y secos) y daba soporte a la teoría de la perfección de los metales, un objetivo constantemente buscado pero nunca conseguido. Además, el lenguaje de la alquimia estaba asociado a aspectos de carácter místico,

que propiciaban, tanto la utilización de la alegoría y la analogía como medios de expresión, como el desarrollo de un vocabulario arcano y secreto, ideado para impedir la entrada de intrusos y ocultar información a los no iniciados (Crosland, 1988).

Con todo, los siglos de búsqueda de la piedra filosofal no resultaron completamente baldíos. Como ya se ha señalado, los alquimistas desarrollaron un conocimiento empírico acerca de las sustancias y de los procedimientos necesarios para su obtención (que incluyen toda una serie de aparatos y de utensilios necesarios) que resultó esencial en la construcción posterior de la química moderna.

En el siglo XVI la alquimia ya había producido sus principales contribuciones e iniciaba una etapa de decaimiento. Por su parte, a partir de esta época la medicina y la metalurgia realizaron una contribución muy intensa a lo que posteriormente sería la química moderna.

La medicina

Los orígenes de la química moderna relacionados con la medicina se conocen con el nombre de *iatroquímica*. El máximo representante de esta tradición iatroquímica es Paracelso (1493-1541) (Pagel, 1973; Holmyard, 1990). Este médico y sus seguidores son los que otorgaron a la química un papel importante en la preparación de medicinas. La obtención de remedios curativos constituyó para Paracelso la finalidad de la alquimia, ya que asistir a un hombre enfermo era para él mucho más importante que dedicarse a fabricar oro y plata. Con ello introdujo un cambio importante en el enfoque de la alquimia, al apartarse de las metas clásicas de la misma. Esta nueva orientación influyó de modo considerable sobre el desarrollo posterior de la química.

Paracelso conminó a los médicos a que aprendieran química; anunció remedios milagrosos como la sal de mercurio con la que trató con éxito la sífilis y diagnosticó el origen externo de ciertas enfermedades, como la 'enfermedad de los mineros', la silicosis. El descubrimiento de las propiedades terapéuticas de los preparados mercuriales, antimónicos, ferruginosos y de las aguas minerales, así como el establecimiento del papel fundamental de la dosis en la administración de medicamentos, hacen que Paracelso pueda ser considerado como el fundador de la auténtica farmacia en toda su verdadera dimensión (Rodríguez, 1995).

La tradición originada por Paracelso impulsó a muchos médicos a interesarse por las relaciones

entre la química y la medicina. Su objetivo era explicar los procesos que tenían lugar en los organismos vivos y, puesto que las disoluciones jugaban un papel importante en el mecanismo de los mismos, centraron sus estudios en aquellos procesos que se producen en disolución. Todo este impulso contribuyó al desarrollo del análisis químico cualitativo y a un progresivo, aunque lento, conocimiento del mundo orgánico.

Además, debemos mencionar al médico Jean-Baptiste van Helmont (1577-1640), seguidor de Paracelso, quien se interesó por el estudio y la caracterización de los gases. Uno de los aspectos más relevantes de sus observaciones es que éstas eran de carácter cuantitativo y que todos sus experimentos se realizaban bajo un estricto control. Esta práctica experimental sería el origen de nuevos problemas y de nuevas técnicas: el equipamiento de los laboratorios empezó a enriquecerse con ‘campanas’ destinadas a recoger e identificar los gases formados en las reacciones químicas.

Otro aspecto que conviene destacar de los seguidores de Paracelso es la publicación de manuales con objetivos esencialmente didácticos. El interés despertado por saber cómo reconocer y preparar sustancias determinadas con propiedades reproducibles y la necesidad de transmitir estos conocimientos propició la redacción de manuales de química. Esta tradición la inició Andreas Libavio (1540-1616) con la publicación en 1597 del libro que se considera el primer manual de química: *Alchemia*. Libavio argumentaba que la química se podía enseñar en las aulas, a condición de que se estructurase de forma metódica. Al libro de Libavio le siguieron otros como *Tyrocinium Chymicum (Química para principiantes)* de Jean Beguin, escrito en 1610. Otros profesores de química, como Christopher Glaser (1628-1672), Nicolas Lémery (1645-1715) y Guillaume-François Rouelle (1703-1770) escribieron sus propios manuales para la formación de médicos y de boticarios. Esta elaboración de una disciplina pedagógica implicaba la clasificación de las técnicas y experimentos de laboratorio, así como la utilización de un lenguaje estándar para las sustancias químicas. Este esfuerzo colectivo de sistematizar y comprobar todo un cúmulo de contribuciones experimentales individuales, a veces poco fiables, con el objetivo de ser enseñadas, contribuyó de forma notable al desarrollo de la química como disciplina y, en definitiva, a la creación de la química moderna (Hannaway, 1975).

La metalurgia

Los egipcios (3500 aC) eran capaces de obtener cobre y plomo mediante la aplicación del fuego a una mezcla del mineral correspondiente y carbón. Hacia el año 1500 aC, los hititas descubrieron que mediante calentamiento de una mezcla de hierro y carbón se producía una nueva sustancia más resistente que el propio hierro. Ello propició la construcción de diferentes herramientas y de armas.

Ya se ha señalado que los primeros herreros y las personas cuyo trabajo estaba relacionado con el tratamiento de los metales eran personas iletradas. Por tanto, la transmisión de sus conocimientos no se realizaba a través de documentos escritos. En consecuencia, las influencias de la metalurgia sobre la química sólo se manifestaron de forma importante a partir del siglo XVI. En esta época, en territorios que ahora corresponden a Alemania e Italia, las operaciones relacionadas con la minería y la fundición alcanzaron una gran importancia. Ello originó la publicación de los primeros manuales acerca del tratamiento de los minerales y de los metales. En el siglo XVI, por primera vez en la historia, los metalúrgicos prácticos empezaron a anotar los detalles técnicos de su oficio a fin de instruir a los demás. En el inicio de esta tradición, los autores más destacados son Beringuccio, Agricola y Ercker (Kranzberg y Pursell, 1981).

Vanoccio Beringuccio (1480-1538) es famoso por su libro *De la pirotechnia* (1540), en el que, aparte de describir ciertas operaciones metalúrgicas (ensayo, refinado, aleación y fundición), se registran los detalles técnicos de la química aplicada en el campo de la metalurgia. Por su parte, el médico Georg Bauer ‘Agricola’ (1494-1555) pasó parte de su vida entre mineros. Sus conocimientos de geología, minería y metalurgia los plasmó en el libro *De re metallica* (1556) que llegó a causar un gran impacto en su época. Finalmente, debemos destacar la publicación por parte de Lazarus Ercker (1530-1593) de su libro *Beschreibung allerfürnemsten Mineralischen Ertzt und Berckwerchsaten* Tratado de menas minerales, minería y operaciones de refinación (1574). Este libro se centró en el estudio de las técnicas de ensayo, reflejándose en las mismas un conocimiento empírico de las sustancias químicas y de sus reacciones, que es a la vez sofisticado y exacto.

A partir del siglo XVI el interés por las artes en el tratamiento de los minerales tomó un renovado interés, que se extendió hasta el siglo XIX. Podemos citar a los suecos Töbern Bergman (1735-1784), Carl

Wilhelm Scheele (1742-1786) y Berzelius y a los españoles Barba, Río, Ulloa y los hermanos Elhúyar. Así, Alonso de Barba en su *Arte de los Metales* (1640) coronó lo apuntado previamente por Beringuccio al destacar el punto de vista cuantitativo y señalar que debían verificarse los procesos a pequeña escala para determinar los procesos a escala industrial. Por su parte, Fausto de Elhúyar (1755-1833) descubrió en el año 1782, en colaboración con su hermano Juan José (1754-1796), el elemento químico wolframio. En 1792 se encargó en México del Real Cuerpo de Minería y Andrés Manuel del Río (1765-1849), quien también trabajó en esta institución, descubrió un nuevo elemento, al que denominó eritronio, hoy conocido como vanadio.

Siglo XVII

El impulso alcanzado durante el siglo XVI por la medicina y la metalurgia propició el progresivo abandono de las prácticas puramente alquimistas. Éstas perdieron su carácter secreto y se liberaron de los principios místicos y esotéricos que las inspiraban. En este sentido, el papel de la imprenta en la crisis de la tradición alquimista fue crucial. Hasta entonces la principal vía de transmisión se realizó mediante unos manuscritos (firmados con el nombre genérico de Jabir, en una de sus tradiciones), sin fecha y que suponían la copia y la traducción de todo un conjunto de comentarios y procedimientos tanto nuevos como antiguos. La imprenta obligó al autor a darse a conocer (ya no se trataba de seguir ciegamente las doctrinas de los clásicos; la autoridad de un autor se empezó a medir por la posibilidad de contrastar los experimentos que describía) e hizo accesibles los textos a un público cada vez más extenso (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997).

En el siglo XVII se produjo un incremento notable en la producción de sustancias con fines curativos. El desarrollo experimental de distintas operaciones farmacéuticas que implicaban la síntesis y el análisis de diferentes sales (obtenidas a partir de la reacción de ácidos minerales con metales y con bases) se produjo dentro de un contexto comercial en auge, que cristalizaría dentro del marco institucional del *Jardín de las Plantas* de la Academia de Ciencias de París. A pesar de que este creciente conocimiento empírico (que complementaba el proveniente de la metalurgia) no estuvo guiado por un marco teórico definido, fue uno de los factores determinantes en el surgimiento posterior de las primeras ideas acerca de los compuestos químicos (Klein,

1995). La tradición iniciada en 1718 por E.F. Geoffroy (1672-1731) con la integración de estos conocimientos mediante la confección de la primera tabla de afinidades propició, a su vez, el desarrollo subsiguiente realizado por Lavoisier (Duncan, 1970).

Los iatroquímicos, como ya se ha señalado, contribuyeron a establecer la respetabilidad de la química y se aseguraron de que fuese una parte importante de los estudios de medicina y de farmacia. La publicación de los primeros manuales de enseñanza de la química consolidó en este siglo el trabajo iniciado por Libavio. El libro de Beguin fue incorporando en sus sucesivas ediciones toda una colección de recetas farmacéuticas, en cuya preparación se aprecia el progreso de los conocimientos químicos.

Otro de los libros publicados como curso de enseñanza de la química para farmacéuticos fue el *Traité de Chymie* (1663) de Christopher Glasser. En el año 1675 N. Lemery publicó su *Curs de Chymie*, que rápidamente se tradujo al latín, alemán, inglés, español e italiano. La primera versión española de la obra de Lemery es de 1703 y estuvo a cargo de Félix Palacios, quien poco después publicó su *Palestra farmacéutica* (1706), siguiendo un esquema similar (López, Navarro y Portela, 1989).

En el *Curs de Chymie* la química aparece como una ciencia ya desligada de las referencias anteriores alquimistas a cualidades ocultas y en el mismo se presenta el saber empírico de la química del siglo XVII (Powers, 1998). La comprobación experimental de todos los procesos descritos otorgó al autor una gran credibilidad. Las clases y conferencias de Lemery, realizadas con apoyo experimental, alcanzaron un gran éxito. Para Lemery, la distinción entre la alquimia y la química no surgía como una diferencia del estudio de fenómenos distintos, que ambas compartían, sino de los objetivos que se proponían y de cómo se presentaban los resultados obtenidos al público (Brock, 1998). Esta demarcación se institucionalizó en la *Academia de Ciencias* de Francia a principios del siglo XVIII. En lo sucesivo, sólo los químicos se encontrarían legitimados para realizar y validar sus investigaciones al amparo del campo de estudio de la química. Con todo, conviene advertir que sobre esta demarcación ya existían antecedentes en el siglo XVI.

Uno de los introductores del vocablo 'chymia' como alternativa a la palabra alquimia fue Agricola. A partir del siglo XVII, este término alternativo fue progresivamente empleado para referirse a los saberes teóricos y prácticos procedentes de la medicina,

la farmacia y diversas técnicas, para diferenciarlos de los conocimientos alquímicos, que quedaron restringidos a las prácticas religiosas esotéricas.

Otro de los autores impulsores de la experimentación en la química fue Robert Boyle (1627-1691). Este autor mostró una gran consistencia en el planteamiento de los experimentos de laboratorio, controlando todas las variables implicadas. En su libro *The Sceptical Chymist* (1661) presenta una imagen del químico escéptico, que pide demostraciones. Boyle otorga una gran importancia a la metodología científica y a la forma de comunicar una investigación a otros científicos (López, Navarro y Portela, 1989). Este aspecto queda puesto de manifiesto de forma patente mediante las siguientes palabras en las que este científico sustituye el valor de la *autoridad* por el de la *credibilidad del científico*. Dice Boyle:

‘Sería deseable que cuando aquellos que no están familiarizados con las operaciones químicas comienzan a citar experimentos químicos que no le son propios, abandonaran este tipo indefinido de testimonio: los químicos dicen esto o los químicos afirmaban aquello; harían mejor si alegaran para cada experimento el nombre del autor o autores sobre cuyo crédito se basan. De esta forma quedarían a salvo de la sospecha de falsedad (a la que la otra práctica les expone) y dejarían que el lector juzgara qué le conviene creer de cuanto se le dice, al tiempo que no emplearían sus propios nombres importantes para patrocinar dudosas relaciones; y también harían justicia a los inventores o expositores de los experimentos verdaderos, así como a los intrusos que presentan los falsos. Por el contrario, con esa forma genérica de citar a los químicos, el escritor sincero no obtiene la alabanza que merece y el impostor escapa a la desgracia personal a la que es acreedor.’

Otra contribución importante de Boyle la constituyeron sus investigaciones acerca del aire, gracias a la invención de la máquina neumática (Partington, 1961). Con este aparato comenzó a estudiar la naturaleza de la combustión y de la respiración.

Además, en el siglo XVII las operaciones químicas (evaporación, rarefacción, condensación, disolución) se convirtieron en los hechos empíricos que daban cuenta de la existencia de los átomos, ya que podían explicarse admitiendo la materia discontinua. Las explicaciones de estos hechos, así como la propia naturaleza del cambio químico, propiciaron un lugar adecuado de confrontación con las concepciones aristotélicas de la materia. Tanto Pierre Gas-

sendi (1592-1655) en Francia como Boyle en Inglaterra plantearon interpretaciones mecanicistas y corpusculares de la materia (Partington, 1961).

Por otro lado, la revolución científica en la física contribuyó a cambiar la imagen de la ciencia como saber absoluto, definitivo y, por tanto, estático. Las interpretaciones de la realidad pasaron a ser puramente provisionales, vigentes únicamente mientras el progreso científico no desbordase su capacidad y permitiese su sustitución por otras diferentes de mayor poder predictivo.

El crecimiento exponencial del conocimiento científico mostró rápidamente lo inadecuado que resultaba el libro como único instrumento de información científica. La aparición de las primeras revistas científicas, auspiciadas muchas de ellas por grupos de investigadores organizados en torno a sociedades científicas, vino a remediar la deficiencia mencionada.

Al igual que había ocurrido con la física, en la química el conocimiento empírico había sido elevado al rango de conocimiento científico; se pasó de valorar lo abstracto a apreciar lo concreto (las denominadas artes prácticas o útiles). A finales del siglo XVII la química se había convertido en una actividad ‘racional’ (liberado de cualquier referencia al ‘ocultismo’) que se enseñaba y que crecía al abrigo de instituciones donde se desarrollaba la idea de la ciencia como empresa colectiva, llevada a cabo entre colegas que se reconocían entre sí como tales, dignos de confianza y por tanto capaces de juzgarse unos a otros.

Sin embargo, a principios del siglo XVIII, toda esta actividad social y práctica de la química todavía no tenía un principio unificador, globalizador, que intentase dar cuenta de toda una maraña construida de ‘hechos’, procedimientos e interpretaciones (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997).

Un lenguaje preciso para la química: publicación del *Méthode de nomenclature chimique*

Los modos de nombrar las sustancias, al igual que cualquier otro aspecto de la química y de la ciencia en general, deben entenderse dentro del contexto histórico en el que surgieron. La revolución científica asociada a la síntesis conceptual realizada por Lavoisier implicaba la constitución de un nuevo lenguaje químico que fuese preciso, sistemático y normalizado. Esta solidaridad entre teoría y lenguaje fue una idea básica en los escritos de Lavoisier: la necesaria ruptura radical con la tradición debía tener lugar en

el lenguaje (Gutiérrez, 1998). La publicación en 1787 del *Méthode de nomenclature chimique* supuso el inicio del abandono definitivo de la nomenclatura química antigua (Crosland, 1988). Pero esta publicación no supuso el simple ofrecimiento de una nomenclatura o de un nuevo método de denominación, sino que revolucionó completamente la concepción de la química al establecer un cambio de nombres en función de nuevos presupuestos científicos. Es decir, se hizo imposible llevar a cabo una revolución en los conceptos sin que mediara en ella el instrumento del lenguaje.

Las distintas etapas por las que previamente había pasado el conocimiento químico generaron una serie de nombres de sustancias químicas cuya propiedad más destacada era su carácter asistemático. El carácter arbitrario de estos nombres propiciaba la confusión y dificultaba la comunicación.

Antes de llegar a establecer criterios de nomenclatura basados en la composición de las sustancias, la identidad de una de éstas (y, por tanto, su nombre), se establecía atendiendo a concepciones diferentes de lo que significaba identificar una sustancia; es decir, del criterio utilizado para determinar qué es lo mismo y qué es diferente.

Estos criterios podían ser sus propiedades físicas (color, brillo, consistencia, textura, olor, sabor, etc.), su método de obtención, las propiedades médicas o su comportamiento químico en presencia de otras sustancias. Todo ello, junto al empleo de nombres de planetas, de las personas asociadas a una sustancia en particular y de los lugares en los que se descubrieron, favoreció una diversidad de equívocos por su ambigüedad (Montagut, 2000).

Podemos ilustrar, mediante ejemplos, algunos nombres que dan buena prueba de los criterios subjetivos empleados y de la vaguedad asociada a los mismos: color (*vitriolo verde*, *vitriolo azul*), sabor (*azúcar de saturno*), propiedad medicinal (*sal febrífuga de Sylvius*, *sal catártica amarga*), nombre del descubridor (*sal de Glauber*), procedencia geográfica (*sal de Inglaterra*), figura externa (*flores de zinc*), consistencia (*mantequilla de antimonio*, *leche de cal*), olor (*gas hediondo*), método de obtención (*cinabrio de antimonio*), etcétera. Resulta patente que, en cualquier caso, la composición apenas carecía de importancia, puesto que, según las teorías vigentes, todos los cuerpos estaban formados por un mismo número reducido de principios elementales, no siendo éste un carácter diferenciador importante (García y Bertomeu, 1999).

Este lenguaje era el que tenían que utilizar en sus

comunicaciones las personas que cultivaban la investigación química. En consecuencia, estos nombres debían ser memorizados por los estudiantes si querían comprender los textos en los que aprendían las propiedades y los métodos de obtención de las diferentes sustancias. La posibilidad de encontrar, en distintos manuales de química, una misma sustancia con nombres totalmente diferentes dificultaba todavía más la correcta asimilación de estos textos.

Por tanto, no es de extrañar que el problema de la reforma de la nomenclatura química se convirtiese en centro de atención de los químicos de finales del siglo XVIII, ya que de su resolución dependía el propio desarrollo de la química.

Lavoisier expresó que el trabajo que presentaban a la comunidad científica ‘era un método de nombrar, más bien que una nomenclatura’, por lo que, independientemente de los trabajos que se hiciesen con posterioridad, sólo sería susceptible de reformas parciales que pudieran modificar o cambiar alguno de los vocablos pero no los principios metodológicos que los cimentaban, y donde encontrarían ‘lugar y nombre las sustancias nuevas que se pudieran descubrir’.

Las *sustancias simples* debían ser las primeras en recibir un nombre. Estas se nombrarían por la propiedad que mejor las caracterizase con el fin de ‘aliviar la memoria de los principiantes, quienes retienen con dificultad una nueva voz siempre que esté vacía de contenido y acostumarlos, con tiempo, a no admitir voz alguna sin acompañarle alguna idea’. Guyton de Morveau propuso que ‘las sustancias simples debían, preferiblemente, tener un nombre simple’ y que ‘la denominación de un compuesto químico sólo podía ser clara y exacta en tanto que hiciera referencia a sus partes constituyentes’.

El punto de partida de la nueva nomenclatura lo constituyó la lista de sustancias simples elaborada por Lavoisier a partir de la conocida definición que proponía ‘considerar como simples todas las sustancias que no se habían podido descomponer’. La distinción entre sustancias simples y compuestas permitió establecer nombres claramente diferentes para ambos tipos de sustancias.

Los autores del *Méthode* apenas prestaron atención a los nombres de las sustancias simples, que, en general, continuaron siendo los que habían sido empleados hasta ese momento. Todo lo contrario ocurrió con los términos empleados para designar las sustancias compuestas. Éstas fueron designadas mediante nombres binarios, en los que se utilizaban las

raíces de los nombres de los elementos para indicar su composición química. De este modo, una sustancia que hasta entonces había sido designada con nombres como *tártaro vitriolado*, *arcano duplicado* o *sal policresta de Glaser*, pasó a denominarse *sulfato de potasa*, término que hace referencia a las sustancias que se encuentran en su composición.

Podemos encontrar nuevos ejemplos en el actual sulfato de magnesio (seis términos distintos empleados en el siglo XVIII) o el sulfato de sodio (cuatro términos diferentes). Este método permitía no sólo la eliminación de los múltiples sinónimos empleados para una misma sustancia sino también establecer un criterio único, la composición química, para nombrar las sustancias compuestas.

Otro problema que debieron solucionar los autores de este *Méthode* fueron los términos para designar sustancias compuestas con idénticos constituyentes, pero presentes en diferente proporción. De las distintas reglas formuladas para nombrar compuestos nos han llegado muchos de los nombres actuales. Por ejemplo, los sufijos *-ico* y *-oso* hacen referencia a la distinta proporción del oxígeno en ácidos de un mismo elemento (ej. ácido sulfúrico y ácido sulfuroso), que cambian a *-ato* e *-ito* en las sales resultantes de la reacción de estos ácidos con bases (ej. sulfato de sodio y sulfito de sodio). Ello no ha impedido que términos como *aqua fortis* sigan utilizándose para referirse al ácido nítrico, si bien esa denominación poseía, en un principio, un carácter polisémico ya que hacía también referencia al espíritu del vino (alcohol) o la sosa cáustica en disolución.

Con el fin de que la nueva nomenclatura fuera de carácter internacional, se recomendaba que la traducción a las distintas lenguas se hiciera tomando como base los nombres latinos nuevos y no los franceses derivados de ellos, formados de acuerdo con las peculiaridades del idioma galo.

Como ya se ha apuntado, este esfuerzo de sistematización y de precisión no ha impedido que lleguen hasta nuestros días algunos nombres que, como en cualquier otro lenguaje, son el producto de un proceso de creación histórica (García y Bertomeu, 1998). En la nomenclatura que utilizamos actualmente podemos hallar las huellas de culturas y generaciones precedentes, que revelan además los esfuerzos por racionalizar y sistematizar en su intento de acabar con la arbitrariedad y la confusión. De esta forma, en el análisis de la terminología química podemos ver cristalizadas las diversas teorías formuladas a lo largo del tiempo, así como las influen-

cias de diversas concepciones metafísicas que incidieron en cada momento en el pensamiento y en las actividades de las personas relacionadas con el estudio de las sustancias y las reacciones químicas.

La tradición alquímica nos ha dejado una ingente cantidad de nombres de sustancias y de procesos. Por ejemplo, al término *mercurio* se le añaden otros términos nuevos (*uranio*, *neptunio*, *plutonio*, *telurio* o *selenio*) asociados todos ellos al criterio de designar sustancias relacionadas con diversos cuerpos astronómicos. Así, cuando hablamos de la enfermedad denominada *saturnismo*, estamos indicando una intoxicación producida por plomo o *saturno* en el lenguaje alquimista. Por otro lado, el término *purificación*, que en el lenguaje químico actual hace referencia a la separación de mezclas en sus diferentes componentes (sustancias puras), tiene una clara ascendencia teológica.

El nombre oxígeno fue acuñado por Lavoisier, desplazando al nombre anterior: *aire desflogisticado* (este nombre desapareció junto con la teoría del flogisto, que lo sustentaba). Lavoisier consideraba al oxígeno como el causante de las propiedades ácidas de las sustancias, por lo que lo denominó *principe acidifiant* y, más tarde, *principe oxygene*, a partir de las raíces de origen griego. Pero rápidamente se comprobó que no todos los ácidos contenían oxígeno. Por ejemplo, Humphry Davy (1778-1829) demostró que el *ácido muriático* (ácido clorhídrico en la actualidad) no contenía oxígeno. Las ideas de Lavoisier se abandonaron pero la palabra oxígeno se ha mantenido hasta nuestros días, a pesar de la propuesta de términos alternativos más acordes con sus propiedades, como la realizada por Manuel de Aréjula (1755-1830), que consistía en denominar a esta sustancia simple *arxicayo* (o principio de la combustión) (Gago y Carrillo, 1979).

Algunos términos derivados como *óxido* también se han conservado, aunque ello no significa que todos los óxidos posean propiedades ácidas. Como contraste, otro de los nombres que surgieron de la reforma de 1787 fue *ázoe* (compuesto del prefijo *a-*, que indica carencia, y *zoe*, vida) para designar al gas que resultaba de eliminar todo el oxígeno de una muestra de aire y que era incapaz de mantener la vida de los animales. En castellano, el término fue abandonado en favor del nombre actual, nitrógeno, pero la raíz *az(o)* se sigue empleando para designar muchos compuestos nitrogenados. ■

Agradecimientos

El autor quiere expresar su más sincero agradecimiento a los profesores Antonio García y José Ramón Bertomeu por su valiosas orientaciones a la hora de iniciar este trabajo, y por las sugerencias y comentarios realizados tras la lectura del primer borrador. ▀

Bibliografía

- Bensaude-Vincent B. y Stengers, I.. *Historia de la Química*. Addison-Wesley: Madrid. 1997.
- Brock, W.H.. *Historia de la Química*. Alianza: Madrid. 1998.
- Compain, J.C. 1990. Histoire des sciences physiques: des révolutions oubliées, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 725, pp. 747-768.
- Crosland, M.P. *Estudios históricos en el lenguaje de la química*. UNAM: México. 1988.
- Derry, T.K. y Williams, T.I. *Historia de la tecnología*. Vol I. Siglo XXI: México. 1985.
- Duncan, A.M. 1970. The functions of affinity tables and Lavoisier's list of elements, en *Ambix*, 37(1), pp.26-42.
- Eliade, M. *Herreros y alquimistas*. Alianza: Madrid. 1990.
- Gago, R. y Carrillo, J.L. *La introducción de la nueva nomenclatura química y el rechazo de la teoría de la acidez de Lavoisier en España*. Universidad de Málaga: Málaga. 1979.
- García, A. y Bertomeu, J.R. 1998. Lenguaje, ciencia e historia: una introducción histórica a la terminología química, *Alambique*, 17, pp. 20-36.
- García, A. y Bertomeu, J.R. *Nombrar la materia. Una introducción histórica a la terminología química*. Ediciones del Serbal: Barcelona. 1999.
- Gutiérrez, B. *La ciencia empieza en la palabra. Análisis e historia del lenguaje científico*, Península: Barcelona. 1998.
- Hannaway, O. *The Chemist and the Word; the Didactic Origins of Chemistry*. John Hopkins University Press: Londres. 1975.
- Holmyard, E.J. *Alchemy*. Dover: Nueva York. 1990.
- Ihde, A.J. 1956. The pillars of modern chemistry, *Journal of Chemical Education*, 33(3), pp. 107-110.
- Ihde, A.J. *The Development of Modern Chemistry*. Harper and Row: Londres. 1964.
- Klein, U. 1995. E.F. Geoffroy's table of different 'rappports' observed between different chemical substances-A reinterpretation, en *Ambix*, 42 (2), pp. 79-100.
- Kranzberg, M.y Pursell, C.W. *Historia de la tecnología*. Gustavo Gili: Barcelona. 1981.
- López, J.M., Navarro, V. y Portela, E. *La revolución científica*. Historia 16: Madrid. 1989.
- Montagut, P. 2000. Perdone, do you speak chemistry? *Educación Química*, 11(4), pp. 412-417.
- Multhauf, R.P. *The Origins of Chemistry*. Oldbourne Book Company: Londres. 1966.
- Pagel, W. Paracelso y los paracelsistas. En Laín-Entralgo, P. (Ed.) *Historia universal de la medicina*. Vol. IV, pp. 107-118. 1973.
- Partington, J.R. *A history of chemistry*. Vol 2. MacMillan: Londres. 1961.
- Powers, J.C. 1998. Ars sine arte: Nicholas Lemery and the end of alchemy in eighteenth-century france, *Ambix*, 45(3), pp. 163-189.
- Rodríguez, J.A. 1995. Paracelso, piedra angular en la historia de la química, *Actas del V Simposio Historia e Ensino das Ciências*, pp. 15-21. Universidad de Vigo.
- Shank, N.E. 2000. The influence of solidification techniques on the history of material culture, en *Journal of Chemical Education*, 77 (9), p. 1133-1137.