

RECEPCIÓN Y CONTEXTO DE LA QUÍMICA NEUMÁTICA EN LA ESPAÑA ILUSTRADA

Juan Alberto Molina García

San Valeriano 10, 28039 Madrid
amdir2013@gmail.com

RESUMEN

La química neumática hizo progresos en España gracias a la contratación de científicos extranjeros, la formación de estudiantes allende los Pirineos, el establecimiento de instituciones científicas y la traducción de obras de vanguardia al castellano. Como en el resto de Europa, España se convirtió en escenario del triunfo de las tesis de Lavoisier sobre la teoría del *flogisto* y de las aplicaciones prácticas de la química neumática a los análisis del aire y de las aguas mineromedicinales, la aerostación y la seguridad en las minas. De hecho, la química neumática española tuvo un carácter fundamentalmente empírico y apenas dio lugar a resultados teóricos de calado.

PALABRAS CLAVE: *Flogisto*, gases, análisis químicos del aire y de las aguas mineromedicinales, aerostación, seguridad en las minas.

ABSTRACT

Pneumatic Chemistry made progress in Spain thanks to foreign scientists, students who studied abroad, the creation of scientific institutions and the translation of books into Spanish. As in other European countries, Spain became the setting for the triumph of Lavoisier's thesis on the *Phlogiston* theory and the practical application of Pneumatic Chemistry to the analysis of air and mineral and medicinal waters, aerostation and safety in mines. Basically, Spanish Pneumatic Chemistry was of an empirical nature and hardly provided theoretical results.

KEY WORDS: *Phlogiston*, gases, chemical analysis of air and mineral and medicinal waters, aerostation, safety in the mines.

Recibido: 16 de febrero, 2015 • Aceptado: 6 de abril, 2015

INTRODUCCIÓN

La ciencia española de principios del siglo XVIII experimentaba un considerable retraso respecto a la de los países europeos más avanzados, de modo que la dinastía borbónica tuvo que esforzarse en actualizar el nivel científico y técnico del país. El momento culminante de esta tarea se alcanzó cuando Carlos III ocupó el trono (1759-1788). Fue entonces cuando se incrementó la contratación de renombrados científicos extranjeros que ejercieron sus labores investigadoras y docentes en España. Además, los gobernantes

ilustrados pusieron todo su empeño en establecer instituciones oficiales, algunas de ellas relacionadas con el estudio y la práctica de la química¹, para el cultivo de las ciencias y las técnicas. También fue meritorio el papel desempeñado por los pensionados, que disfrutaron de formación académica en otros países europeos y posteriormente regresaron a España aportando un rico caudal de conocimientos (García Belmar y Bertomeu Sánchez, 2001).

Igualmente notable fue la tarea de traducción de obras científicas. En 1788, Pedro Gutiérrez Bueno (1745-1826) publicó en castellano los trabajos de

Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)², Claude-Louis Berthollet (1748-1822), Antoine-François de Fourcroy (1755-1809) y Louis-Bernard Guyton de Morveau (1737-1816) sobre la nueva nomenclatura química, un año después de la primera edición francesa. Por su parte, Juan Manuel Muñárriz (1761-1831) publicó el *Tratado elemental de química* de Lavoisier en 1794, cinco años después de la primera edición francesa.

Una mención especial merece la química neumática, asunto al que se dedicará plena atención en este artículo por no ser suficientemente conocido. No obstante, existen trabajos puntuales que se irán dando a conocer a lo largo de estas páginas y que, sin llegar a profundizar en aspectos como los marcos conceptuales predominantes y los escenarios que acogieron las tareas indagadoras y prácticas más usuales, complementan el panorama general de la química ilustrada española. Será inexcusable, por tanto, referirse a la persistencia o el rechazo de la teoría del *flogisto* y de la acidez en España, así como a las implicaciones prácticas en terrenos como: análisis de las aguas minero-medicinales, salubridad del aire atmosférico, aerostación y seguridad en el interior de las minas.

Antes de realizar este recorrido, es conveniente echar un vistazo al estado de conocimiento en los ámbitos geográficos que vieron nacer la química neumática. Después, se comprobará que en España, sin apenas desfase cronológico, circularon ideas y se encontraron aplicaciones utilitarias similares a las promovidas en el resto del continente europeo. Ahora bien, por causas que se analizarán más adelante, no proliferaron los resultados teóricos.

ASPECTOS GENERALES DE LA QUÍMICA NEUMÁTICA EN EUROPA

Durante el siglo XVIII, el conocimiento del aire común y de otros fluidos elásticos se vio fuertemente impregnado y condicionado por los presupuestos de la ciencia moderna. Especialmente significativo en este aspecto fue el papel cumplido por la química neumática, cuyos contenidos y procedimientos de estudio dependían del análisis de los gases en el laboratorio y de los aparatos empleados (Daumas, 1943). De este modo, la química experimentó hacia el último cuarto del siglo XVIII una fuerte transformación en la que cabe destacar a varios personajes influyentes: Joseph Black (1733-1804), Henry Cavendish (1731-1810), Antoine-Laurent de Lavoisier, Joseph Priestley (1733-1804), Carl Wilhelm Scheele (1742-1786), Joseph-Louis Proust (1754-1826)³, John Dalton (1766-1844)⁴ y otros.

Al comenzar la centuria, la química estaba dominada todavía por la idea aristotélica de los cuatro elementos y por su consecuencia inmediata de que las distintas clases de materia se podían transmutar entre sí. El fuego, elemento activo de la combustión, poseía una naturaleza que podía ser explicada mediante la teoría del *flogisto*⁵. Este era un elemen-

to de la materia que se desprendía al arder el cuerpo del que formaba parte. La teoría del *flogisto* relacionaba la combustión de los no metales con la calcinación de los metales y los unía en un mismo fenómeno; y explicaba el proceso inverso, al calentar la *cal* (generalmente, óxidos y carbonatos) con carbón vegetal (sustancia rica en *flogisto*). También era aplicable a fenómenos como la respiración, la fermentación y la formación de ácidos.

Pero pronto surgió un grave inconveniente: ¿cómo era posible que la *cal* metálica pesara más que el propio metal, aun cuando había un desprendimiento de *flogisto*? Al principio nadie se preocupó excesivamente por esta cuestión, ya que se consideraba que la masa, al contrario que la forma y el tamaño, no era una característica esencial de la materia. Pero más tarde se quiso dar explicaciones de aquel extraño fenómeno; una de las más llamativas fue la de Guyton de Morveau, quien adquirió formación como ingeniero de minas en Freiberg, al proponer que el *flogisto* tenía un peso negativo.

Por otra parte, en tiempos de la formulación primitiva de la teoría del *flogisto* sólo se reconocía la existencia de una clase de gas: el aire atmosférico, que no se podía descomponer en elementos más simples y tenía la función de albergar el fluido sutil (Metzger, 1923). Con el descubrimiento experimental de algunos gases distintos del aire común, los químicos empezaron a indagar sobre la naturaleza de aquellos fluidos. El antecesor más inmediato al respecto fue Stephen Hales (1677-1761), que gracias a su cubeta hidroneumática consiguió separar varios gases. Aunque Hales no prestó suficiente atención a las diferencias entre estos fluidos, sus trabajos facilitaron los progresos posteriores.

En efecto, Black sostuvo que el gas desprendido por la acción de los ácidos sobre la *magnesia sólida* (carbonato de magnesio) era una entidad diferente del aire atmosférico a la que llamó *aire fijo* (dióxido de carbono); y comprobó experimentalmente que dicho gas se desprendía también en los procesos de combustión, respiración y fermentación. Cavendish tuvo la idea de sustituir la *magnesia sólida* por hierro para hacerlo reaccionar con *ácido vitriólico* (ácido sulfúrico), con lo que obtuvo un gas mucho más ligero que el aire común y daba lugar a una violenta explosión; de ahí la denominación de *aire inflamable* (hidrógeno), que Cavendish relacionó con el *flogisto*.

En 1772, Priestley publicó su lista de descubrimientos de nuevos gases en *Observations of Different Kinds of Air*. La clave de su éxito radicaba en su técnica experimental, en los modernos aparatos utilizados y en la sustitución del agua del eudiómetro por mercurio. Al calentar un precipitado de mercurio, sustancia rica en *flogisto*, obtuvo un gas con la propiedad de que la llama ardía en su seno con más brillo que en el aire común. Priestley llamó *aire desflogisticado* al nuevo gas, y más tarde Lavoisier le dio el nombre de oxígeno. Independientemente de las experiencias de Priestley y Lavoisier, Scheele también

investigó sobre el oxígeno entre 1770 y 1773.

El *aire desflogisticado* era más puro que el aire común y mejoraba las funciones vitales, de ahí que en un principio Lavoisier lo llamase *aire vital*. El francés comprobó que, al eliminar el *aire vital* del aire atmosférico, quedaba un residuo que denominó *gas mofeta* o *ázoe* y más tarde nitrógeno⁶. Además, si mezclaba cinco partes de éste con una de *aire vital*, obtenía algo muy parecido al aire común. Es posible que el nitrógeno también fuera descubierto de forma simultánea e independiente por Priestley, Scheele y Cavendish.

Por último, Lavoisier ofreció explicaciones sobre la formación de hidrógeno al atacar metales con ácidos, la facultad de sintetizar agua cuando se unía el hidrógeno al oxígeno y la formación de ácidos cuando determinados no metales y sustancias orgánicas reaccionaban con oxígeno (Gough, 1983; Le Grand, 1972; Perrin, 1986; Siegfried, 1972).

El sistema de Lavoisier se sustentaba en dos pilares. El primero, como aplicación del principio de conservación de la materia, consistía en un cuidadoso proceso de pesadas de las sustancias intervinientes antes y después de las reacciones químicas. El segundo reconocía al oxígeno un papel unificador en unos procesos que, en lugar de producirse un desprendimiento de materia (*flogisto*), ocurría todo lo contrario (oxidación o agregación de oxígeno, proceso en el que se experimentaba un aumento de peso del producto final). Su aceptación no fue inmediata ni unánime. Las revistas especializadas alemanas lo rechazaron y retrasaron la traducción del *Traité Élémentaire de Chimie* (1789) apelando al sentido patriótico. Tampoco la Academia de Ciencias de París se dejó convencer fácilmente hasta que Berthollet, Fourcroy y Guyton de Morveau lo dieron por válido. Por su parte, Black, Priestley, Cavendish y Scheele fueron firmes partidarios de la teoría del *flogisto* incluso cuando un buen número de químicos franceses ya se mostraban convencidos de la bondad del sistema de Lavoisier. En fin, hacia 1789, las editoriales y revistas más prestigiosas de Francia frenaron la difusión de las obras del sabio francés (Perrin, 1981).

Además de su cara teórica, la química neumática presentó un lado práctico que benefició a diversas áreas del conocimiento. Las primeras fueron la medicina y la farmacia. Debido a sus negativas consecuencias económicas, laborales y demográficas, la enfermedad y la muerte fueron problemas de primer orden para los estados mercantilistas europeos del siglo XVIII. Las políticas sanitarias de éstos atendían a la cuestión de qué medidas se deberían aplicar en cada uno de los campos de competencia de la administración para aumentar la riqueza y el poder del país y proporcionar bienestar a los ciudadanos. Con sus peculiaridades históricas, políticas, sociales y económicas, las naciones europeas dieron sus propias respuestas. Todas coincidieron en centrar sus prioridades en la mejora de las condiciones de salubridad de los núcleos urbanos, rurales y laborales, lo que

llevaba a preguntarse por la calidad de las respectivas condiciones ambientales (Sargent, 1982; Rosen, 1985).

Así, tras la constatación de que el aire era una mezcla de dos gases, los químicos y los médicos se interesaron por la composición cuantitativa de dichos elementos mediante el eudiómetro. Este instrumento tenía forma de probeta, y su parte inferior, abierta, se sumergía en agua o mercurio; su funcionamiento se basaba en la propiedad que tienen algunas sustancias de absorber el oxígeno del aire y en la posibilidad de pesar el residuo restante de gas viciado (nitrógeno). La diferencia de pesos entre la muestra de aire común y el mencionado residuo daba el del oxígeno (Badash, 1964). Sin embargo, las proporciones obtenidas de oxígeno en el aire atmosférico fueron muy dispares: entre 20% y 25% encontró Priestley; entre 24% y 30% Scheele; 20% Cavendish; 27% Lavoisier; etc.

También la tecnología se benefició de la química neumática, pues pronto se vio que era posible emplear gases más ligeros que el aire común para elevar globos aerostáticos. En este sentido, los experimentos de Black y Cavendish con vejigas de animales llenas de hidrógeno sirvieron de precedente a los posteriores trabajos de los hermanos Joseph-Michel (1740-1810) y Étienne-Jacques (1745-1799) Montgolfier, el físico experimental Jacques-Alexandre-César Charles (1746-1823), el químico Joseph-Louis Proust (1754-1826) y otros (Gillespie, 1983).

Lo mismo cabe decir de la minería, pues el auge del comercio y de la economía dineraria en Europa generaron una gran demanda de metales para la fabricación de joyas, armas y toda clase de productos industriales. Precisamente, fueron las enfermedades derivadas del trato con los metales, los gases desprendidos por éstos al tratarlos con fuego y ácidos y las condiciones de seguridad en el interior de las minas (explosiones, emanación de vapores, etc.) las primeras cuestiones que acapararon la mirada de médicos, ingenieros y gobernantes (Rosen, 1943).

LA QUÍMICA NEUMÁTICA ESPAÑOLA: DEL FLOGISTO AL OXÍGENO

La ciencia española de la Ilustración se caracterizó por la vigencia de las ideas especulativas del pasado y la agregación de aportaciones modernas. Por eso, las indagaciones científicas dejaron de basarse en las tácticas discursivas de los sistemas filosóficos tradicionales, propias de los ambientes universitarios⁷; en su lugar, se dio paso a nuevas estrategias fundamentadas en el eclecticismo, que conjugaba lo antiguo con lo moderno, y la observación instrumental de los fenómenos.

El siglo empezó con niveles muy bajos en conocimientos químicos. Pero el germen del cambio surgió a raíz de las denuncias de Juan de Cabriada (1665-1714) en su *Carta filosófica médico-química* (1687), la fundación de instituciones como la Regia Sociedad

de Medicina y demás Ciencias de Sevilla en 1700 y la toma de conciencia de personajes como Félix Palacios Bayá (1677-1737), en cuya *Palestra Farmacéutica* (1706) dio cuenta de las novedades químicas provenientes del exterior. Pero la atención a los progresos de las ciencias se vio fuertemente incrementada gracias a la decidida labor difusora emprendida por el monje benedictino Benito Jerónimo Feijoo (1676-1764) a través de su *Teatro crítico universal* (1742-1760) y sus *Cartas eruditas y curiosas* (1742-1760) (Portela, 1999). En lo que concierne a la química neumática, fueron los pensionados y los profesores extranjeros asentados en España los principales encargados de introducirla en el país.

La teoría del *flogisto* era de sobra conocida en la España ilustrada. Durante el último tercio del siglo XVIII, y por motivos similares a los ocurridos en otros países europeos, fue defendida por un puñado de personajes influyentes que pretendían explicar la naturaleza de los gases sin salirse de los antiguos postulados. El primero de quien se tiene noticia al respecto es el botánico Casimiro Gómez Ortega (1741-1818), formado en Bolonia entre 1758 y 1762 y catedrático director del Real Jardín Botánico de Madrid entre 1771 y 1801. En su *Tratado de las aguas termales de Trillo* (1778), Gómez Ortega observó la formación de unas ampollas que provenían del fondo de las termas y se deshacían en la superficie del agua en forma de un gas que reconoció como *aire fijo*. Y dedujo que el *flogisto* formaba parte de la composición de aquellas aguas por su olor a azufre y la coloración que producía en la plata⁸.

Mayor profundidad y experiencia en el estudio de los gases alcanzó el presbítero canario José Viera y Clavijo (1731-1813), seguidor en París y Viena, respectivamente, de los cursos de química y botánica de Joseph-Aignan Sigaud de Lafond (1730-1810) y Jan Ingenhousz (1730-1799). Sigaud de Lafond ejercería una influencia decisiva en el pensamiento químico de Viera, pues abordó en sus clases un tema candente: las propiedades de los gases y los procedimientos experimentales para su obtención. Sigaud, como Black, Cavendish, Priestley y Scheele, era partidario de la teoría del *flogisto* y recurrió a ella para explicar a sus pupilos la naturaleza de los gases (Viera y Clavijo, 2002). Cuando Viera regresó a Madrid hizo demostraciones experimentales en casa de Joaquín de Silva y Sarmiento (1734-1802), marqués de Santa Cruz, siguiendo el ejemplo de Sigaud de la Fond.

La labor de Viera no fue investigadora, sino más bien divulgadora. Para apoyar esa actividad, el clérigo de Fuerteventura tuvo la idea de componer un poema didáctico titulado *Los aires fijos* (1780). La obra constaba de cinco cantos, cada uno de ellos dedicado a un gas diferente. En el primer canto, Viera describió el eudiómetro de Priestley y explicó las propiedades y los métodos de obtención del *aire fijo*, también conocido como *espíritu silvestre*. En el segundo, expuso la manera de obtener *aire inflamable* mediante la reacción de *aceite de vitriolo* con

limaduras de hierro e identificó el *flogisto* con el *aire inflamable*. En el tercero, describió el *aire nitroso*, *mofeta* o *ázoe* y los materiales y aparejos para obtenerlo. En el cuarto, mostró las propiedades del *aire desflogisticado* y disertó sobre el procedimiento ideado por Priestley para obtenerlo. En el quinto, escribió sobre los *aires vegetales* y explicó la función clorofílica y la fotosíntesis. En 1783, Viera añadió un sexto canto, dedicado a los globos aerostáticos.

Aunque Viera no aportara a la ciencia ningún descubrimiento nuevo, no se le puede tachar de falta de rigor. Su poema era estricto, sistemático y erudito; contenía datos rigurosamente ciertos hasta donde los medios de investigación de la época permitían. Sin embargo, su interés por mantenerse al día en química neumática pareció esfumarse con el paso del tiempo, y se contentó con lo que le transmitieron Sigaud de Lafond e Ingenhousz en su juventud. De hecho, Viera se remitió una y otra vez a aquéllos; y cuando, transcurridos algunos años, apareció el método de nomenclatura de Lavoisier y sus colaboradores, siguió utilizando las antiguas denominaciones, dando la impresión de que abandonó las cuestiones químicas de vanguardia. Ni siquiera en 1810, año en que se volvió a imprimir el poema, hizo correcciones al texto.

En general, la nueva nomenclatura química y el sistema de Lavoisier fueron aceptados con prontitud en España. Por eso, la lectura del *Ensayo sobre el gas y máquinas o Globos Aerostáticos* (1792) de Remigio Polindo puede ser decepcionante. El contenido de los primeros capítulos del manuscrito parece un retroceso al pasado. De hecho, se vuelven a encontrar cinco especies nombradas con las antiguas denominaciones (*aire fijo*, *aire inflamable*, *aire nitroso*, *aire desflogisticado* y *aires vegetales*). A ello hay que añadir la admiración de Polindo por Priestley, en quien se basó para completar la primera parte de la obra. Igual que Viera, Polindo aportó una última sección dedicada a los globos aerostáticos, aplicación inmediata de la química neumática. Viera y Polindo coincidían en casi todo, incluso en el plan estructural y narrativo de sus respectivas obras y en el hecho de que ninguno de los dos dispusiera de una teoría propia ni diese muestras de haber descubierto nada nuevo⁹. Pero, puesto que hay más de una década de separación entre la primera edición de la obra de Viera y el manuscrito de Polindo, cabría esperar que en éste se corrigieran todos aquellos elementos que ya habían quedado desfasados, cosa que no ocurre. Todo esto induce a pensar que, a no ser que hubiera demasiadas coincidencias, en realidad se estaría ante un solo autor que no pareció interesarse mucho por los nuevos avances de la química neumática y dio por definitivamente bueno lo que aprendió en sus años de formación¹⁰.

El poema de Viera debió de gozar de gran aceptación y prestigio entre quienes se interesaron por el estudio de los gases. A efectos prácticos, considerar

que los fluidos elásticos formaban parte de los materiales que se sometían a la combustión y se desprendían de éstos al arder, era tan productivo como pensar en una reacción en la que se conserva la masa y los reactivos se transforman en productos. Así, Francisco Cónsul Jove y Tineo (1754-1810), profesor de física experimental y socio de mérito de las sociedades económicas de Amigos del País de Santiago y Lugo, dedicó un capítulo de su *Ensayo sobre Hidráulica Rústica* (1788) al aire atmosférico, los gases entonces conocidos y la aplicación de la química neumática a la aerostación. Vino a coincidir en casi todo con Viera y Polindo y señaló que las diferentes especies de gases no eran sino fluidos que se podían extraer de la materia por diferentes procesos físicos y químicos.

Otro apasionado de los gases y la aerostación fue Pedro Alonso de Salanova y Guilarte (1743-?), astrónomo y colaborador del *Memorial Literario* de Madrid. En su obra *Estática del aire y náutica de la atmósfera, o disertación fisico-matemática sobre el origen, invención, historia, fábrica, disposición, utilidades y perjuicios de las máquinas o globos aerostáticos* (1792), Salanova hizo una clasificación de los gases atendiendo a un doble criterio: la consideración de que los gases estarían fijados a la materia, de la cual se desprenderían; y que los gases estarían formados por corpúsculos de gravedad específica determinada, los cuales se diseminarian por la atmósfera y la conformarían. Después, Salanova se interesó por las mismas especies de gases que Viera y Polindo: *aire fijo, aire inflamable, aire nitroso, aire desflogisticado y aires vegetales*.

Sin embargo, uno de los discípulos más destacados de Viera, Pedro Gutiérrez Bueno, terminaría por distanciarse del maestro. Gutiérrez Bueno inició su formación en los Reales Estudios de San Isidro de Madrid, donde consiguió el título de boticario en 1777. Posteriormente, asistió a los cursos de química impartidos por Viera y Clavijo en casa del marqués de Santa Cruz. De él heredó el interés por el estudio y la obtención de los gases. Llegó a ser profesor de química del Real Colegio de Cirujanos, de la Escuela de Farmacia y del Real Gabinete de Historia Natural, además de director del Real Laboratorio de la Escuela de Química de Madrid y preceptor del Príncipe de Asturias. Fue uno de los hombres de ciencia más influyentes en las esferas oficiales de Madrid durante la última década del siglo XVIII, si bien tuvo fama de colérico y poco disciplinado. Esto le valió la enemistad de un buen número de colegas, circunstancia que se vio agravada por la aparente falta de coherencia que mostró respecto a la teoría del *flogisto* (Carrasco Jarabo, 1964-1965).

En efecto, si bien se debe a él la traducción al castellano del método de nomenclatura química de Berthollet, Fourcroy, Guyton de Morveau y Lavoisier, siguió durante un buen tiempo utilizando como libro de texto los *Éléments de Chimie* (1777) del tercero, cuya redacción se había realizado bajo los supuestos

de la teoría del *flogisto* (Gago, 1984). Bajo ese mismo supuesto escribió su *Instrucción sobre el mejor método de analizar las aguas minerales y en lo posible imitarlas* (1782).

Pero Gutiérrez Bueno fue desprendiéndose poco a poco de las antiguas creencias que todavía imperaban en la etapa de la transición que le tocó vivir y aceptó definitivamente los conceptos reformados de Lavoisier. Así, en sus obras *Análisis de las aguas de Madrid* (1800), *Descripción de los baños de Arnedillo y análisis de sus aguas* (1801), *Práctica del curso de química dividido en lecciones para la enseñanza del Real Colegio de S. Carlos* (1803) y *Prontuario de química, farmacia y materia médica* (1815), admitió sin fisuras que el agua se compone de hidrógeno y oxígeno, describió estos gases junto a otros y mencionó diversas sustancias (ácido carbónico, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, etc.) según las denominaciones de la nueva nomenclatura química.

Mucho más resuelto se mostró el cordobés Juan Manuel de Aréjula y Pruzet (1755-1830), que estudió química en París con Fourcroy. En sus *Reflexiones sobre la nueva nomenclatura química* (1788) (Carrillo y Gago, 1979), Aréjula se mostraba contrario a la teoría del *flogisto*, pero también a la teoría de la acidez de Lavoisier y al empleo del término *oxígeno* (engendrador de ácidos). Basándose en la teoría de la combustión del propio Lavoisier, Aréjula propuso otra expresión: *arxicayo* (principio de combustión). Una vez establecido el nuevo concepto de combustión, quedaba abierta la puerta a una nueva clasificación de los gases conocidos hasta la época, según su capacidad de arder. En su *Memoria sobre una nueva y metódica clasificación de los fluidos elásticos permanentes y gaseosos* (1790), Aréjula los agrupó en tres clases. En la primera se encontraba el *arxicayo*, necesario para la respiración de los animales, la calcinación y la combustión; la segunda la formaban las sustancias gaseosas combustibles: *gas inflamable, gas inflamable fosforado, gas inflamable sulfurado, gas nitroso y gas mofeta atmosférica*; en la tercera clase estaban las sustancias gaseosas salinas: *gas amoniaco o alcalino, gas ácido carbónico, gas ácido sulfúrico, gas ácido fluórico, gas ácido muriático y gas ácido muriático arxicayado*.

Totalmente partidarios de las nuevas corrientes de la química neumática fueron unos personajes que tuvieron contacto asiduo con personas e instituciones relevantes, tanto españolas como extranjeras, del mundo de la ciencia.

En primer lugar, se encuentra el político liberal Valentín Tadeo de Foronda y González de Echevarri (1751-1821), fundador del Banco de San Carlos y miembro de la Real Sociedad Vascongada de Amigos del País, de la Real Academia de Ciencias Naturales y Artes de Barcelona, de la Real Academia de Ciencias y Artes de Burdeos y de la American Philosophical Society de Philadelphia. En sus *Lecciones ligeras de química* (1791), dejó patente su ánimo divulgador y su total fidelidad a las ideas de Lavoisier.

El médico gerundense Antonio Cibat (1771-1811) fue académico numerario de la Real Academia de Ciencias Naturales y Artes de Barcelona, ayudante de cirugía durante la Guerra del Rosellón (1793-1795), catedrático del Colegio de Cirugía de Barcelona y médico de cámara de José Bonaparte. En sus *Memorias físicas sobre el influjo del gas hidrógeno en la constitución del hombre; y sobre los efectos que en ella causa el oxígeno del aire atmosférico* (1795-1807), cuyo título es suficientemente elocuente, se mostró totalmente integrado en el sistema de Lavoisier.

El barcelonés Juan Ameller y Mestre (1743-1824) fue catedrático de química y farmacia del Real Colegio de la Facultad Reunida (denominación temporal de la Real Escuela de Cirugía), miembro de la Real Academia de Ciencias Naturales y Artes de Barcelona y boticario honorario de cámara de Su Majestad. En la *Memoria sobre el verdadero modo de determinar los grados de salubridad de diferentes atmósferas por medio del eudiómetro del abate Fontana, y definición de este instrumento según dicho autor* (1792), Ameller expresó su rechazo a la teoría del flogisto, describió las propiedades y los métodos de obtención de diversos gases y disertó sobre el influjo de éstos en la salud humana.

El químico y botánico de Altafulla (Tarragona) Antonio Martí i Franqués (1750-1832) se interesó por muchos campos de las ciencias y las humanidades. Fue miembro fundador de la Asociación de Amigos del País de Tarragona, miembro de la Real Academia de Ciencias Naturales y Artes de Barcelona y de la Academia Médico Práctica de Barcelona, colaborador del *Memorial Literario* de Madrid y visitante de las universidades y academias de ciencias de París, Londres, Ámsterdam y Bruselas. Martí se declaró convencido partidario de la doctrina de Lavoisier (Moles, 1934) y dejó constancia de ello en su *Memoria sobre los varios métodos de medir la cantidad de aire vital de la atmósfera* (1795).

Por último, el químico Joseph-Louis Proust explicó en su *Discurso que en la abertura del Laboratorio de Química del Real Cuerpo de Artillería establecido en Segovia pronunció Don Luis Proust, profesor de Química del expresado Real Cuerpo* (1792) los procesos de oxidación del hierro y función clorofílica de las plantas como ejemplos de sendas transformaciones (reacciones) de las sustancias y de descomposición del agua: absorción de oxígeno por el hierro y liberación de hidrógeno a la atmósfera, por una parte; absorción de hidrógeno por los vegetales y liberación de oxígeno al aire, por otra. Además, en una extensa nota a pie de página de su memoria "Minas de plomo de Linares, en Andalucía, examinadas de orden del Excelentísimo Señor Conde de Lerena" (*Anales del Real Laboratorio de Química de Segovia*, 1793-1795), Proust manifestó de forma clara y explícita su rechazo a la teoría del flogisto; y aunque el primer tomo de la citada publicación estuviera plagado de términos antiguos, en el segundo ya era

notoria su completa adhesión al sistema de Lavoisier y su aceptación de la nueva nomenclatura química.

ANÁLISIS QUÍMICOS DEL AIRE COMÚN Y DE LAS AGUAS MINEROMEDICINALES

Una de las características más acusadas de la Ilustración española fue su permanente reivindicación de los saberes útiles y de aplicación inmediata. Se consideraba útil todo lo que no estuviese vinculado a la escolástica, posibilitara la toma de datos empíricos mediante instrumentos de observación y se identificara con la ciencia aplicada. La ciencia española ilustrada estuvo principalmente orientada hacia la resolución de tareas prácticas que impedían a sus cultivadores efectuar reflexiones teóricas de carácter estable. En particular, muchos pensionados que acudieron a formarse en el extranjero destacaron a su regreso por la práctica utilitaria de los saberes adquiridos y por la labor divulgativa ejercida, más no por tareas indagadoras propias. Una excepción notable la proporcionó Juan Manuel de Aréjula y Pruzet, con su crítica a la teoría de la acidez de Lavoisier.

Por otro lado, buena parte de los profesores extranjeros contratados en España se dedicaron a trasladar la ciencia europea a las aulas españolas y a cumplir misiones de orden práctico. Esto no fue obstáculo para que, de manera excepcional, Joseph-Louis Proust desarrollara en suelo español algunos trabajos especulativos de relieve. Recuérdese, en efecto, que la ley de las proporciones definidas apareció en su memoria "Análisis de la mina de cobre vidrioso rojo, o del óxido rojo nativo de cobre" (*Anales del Real Laboratorio de Química de Segovia*, 1793-1795) durante su etapa en la Academia de Artillería de Segovia.

Esta situación se vio reforzada por el hecho de que, al acabar el siglo XVIII, España no dispusiese de una Academia de Ciencias en su capital. Tuvieron que ser otras instituciones¹¹ las encargadas de organizar los proyectos relativos a la reforma de la política científica. Puesto que la Corona intervino en la jerarquización de esos estamentos, la ciencia española de la Ilustración se convirtió en una empresa colectiva protegida por el Estado. Fue capaz de producir resultados apreciables, pero renunció en gran medida a la reflexión teórica y al intercambio de ideas con el exterior (Lafuente, 1992).

Durante el siglo XVIII, la química avanzó como disciplina auxiliar de la medicina, la farmacia, la agricultura y las industrias minero-metalúrgica y textil. Concretamente, las actividades en química neumática tuvieron un carácter empírico y muchas de sus prácticas se inscribieron en el marco de otras más amplias y prioritarias. Por ejemplo, aunque el análisis químico del aire y del agua fuese de interés para médicos y farmacéuticos, el fin último de la gran mayoría de éstos no era el conocimiento teórico de los gases; de hecho, no descubrieron ninguno. Sus propósitos, más bien, se encaminaron hacia la erradi-

cación de la enfermedad y la elaboración de remedios adecuados.

En España, los borbones aplicaron medidas sanitarias muy parecidas a las que se pusieron en práctica en otros lugares del viejo continente (Capel, 1998-1999; Peset, 2002). Pero lo que aquí interesa destacar es que fue en el siglo XVIII cuando se aplicaron las modernas técnicas experimentales para realizar análisis químicos del aire atmosférico y de las aguas mineromedicinales. Y que los trabajos correspondientes se inscribieron en el marco de la medicina ambientalista de la época, cuyo antecedente más remoto se encuentra en Hipócrates. Y es que el tratado *Sobre los aires, aguas y lugares* (siglo V a. de C.), del médico griego, ponía el acento en las condiciones ambientales y sociales que influían en la salud humana; y permaneció vigente en el pensamiento médico ilustrado.

Ese fue el espíritu que presidió las obras dedicadas al estudio de las aguas termales y mineromedicinales presentadas en el apartado anterior. Gómez Ortega, Jove y Tineo, Gutiérrez Bueno y Cibat empeñaban sus disertaciones con una descripción física del territorio, una exposición de las condiciones atmosféricas del lugar y un recuento pormenorizado de todos los minerales, animales y vegetales que podían dejar su rastro en las aguas y aires analizados. Destaca en todas ellas la aceptación de los modernos procedimientos experimentales y el uso de diferentes reactivos y aparatos de medición para efectuar exámenes precisos. Aquellos autores reconocieron el hidrógeno y el oxígeno como los dos gases constitutivos del agua y coincidieron en que los lugares húmedos y pantanosos eran malsanos debido a las emanaciones de *gas de los pantanos* (metano), que confundieron con el hidrógeno. También admitieron que el agua podía contener *ácido carbónico* (dióxido de carbono) e impurezas de origen mineral, animal o vegetal que, por la acción del calor, pasaban a la atmósfera en forma de vapores que afectaban al organismo humano. En opinión de Jove Tineo, Viera, Polindo y Salanova, esos vapores y efluvios se confinarían a cierta altura, según el peso específico de los corpúsculos que los integraban.

El instrumento esencial para comprobar la pureza del aire atmosférico era el eudiómetro. Viera y Polindo se refirieron al ideado por Priestley, cuyo fundamento consistía en un recipiente en el que se introducía un baño de agua y dos medidas iguales de aire común y *mofeta*; al agitar la mezcla, el aire común se volvía más puro, señal de que la *mofeta* había sido absorbida por el agua. Ambos aceptaron las proporciones de *aire desflogisticado* y *aire nitroso* en la atmósfera que encontró el inglés. Del mismo parecer fue Gutiérrez Bueno; sólo que, tras alejarse de las enseñanzas de Viera, realizó unos análisis del aire atmosférico que no estuvieron exentos de errores.

En cambio, Ameller prefirió el eudiómetro del abate Fontana, con el que llegó a la misma composi-

ción porcentual que obtuvo Priestley. También enunció las propiedades ya conocidas del oxígeno y el nitrógeno y demostró estar al tanto de los trabajos de Aréjula.

El eudiómetro del abate italiano Felice Fontana (1730-1805) volvió a aparecer en los análisis del aire tomado por el aeronauta Vincenzo Lunardi (1759-1806) el 3 de mayo de 1793, en el punto máximo de su elevación en el cielo madrileño. Las muestras se entregaron al Real Hospital de Madrid y arrojaron un porcentaje de 27% de oxígeno y 73% de nitrógeno, que coincidía con las experiencias de Lavoisier, Cibat y Ameller. Repetido el ensayo con el aire de la calle de Alcalá, se obtuvo un resultado similar. De donde se concluyó que el enrarecido aire de las alturas tenía la misma proporción de componentes químicos que el del nivel del suelo (Molina García, 2005).

Por último, Antonio Martí i Franqués se dedicó por su cuenta al estudio del francés, inglés, alemán, italiano, latín y griego, lo que le permitió leer de primera mano los tratados y memorias de un buen puñado de autores de la época. En su obra citada criticó los procedimientos de Priestley, Fontana e Ingenhousz para establecer la composición del aire atmosférico. Se decantó por las pruebas del *sulfuro saturado de mofeta* (sulfato de amonio) como reactivo absorbente del *aire vital* y encontró una proporción constante de 21% de oxígeno y 79% de *mofeta* (nitrógeno) en la atmósfera, valores muy próximos a los actualmente aceptados. Concluyó que el aire no estaba sometido a variaciones en su composición y que las proporciones anteriores se mantenían constantes. Y en esa relación de cantidades no influían la humedad ambiental, el estado eléctrico de la atmósfera y las variaciones de temperatura y presión.

Todos los autores mencionados sostuvieron que el gas más apto para la respiración era el oxígeno. Por lo tanto, era menester poner las condiciones necesarias para que nunca faltara en el ambiente, especialmente en los lugares cerrados¹².

QUÍMICA NEUMÁTICA Y AEROSTACIÓN

Desde el momento de su recepción en España, los globos aerostáticos gozaron de un merecido reconocimiento en ámbitos sociales, artísticos y científicos (Gomá Orduña, 1946).

Las primeras noticias al respecto se encuentran en escritos cuya finalidad era divulgar y elogiar los hechos acaecidos en Francia desde 1783, año de la primera demostración pública a cargo de los hermanos Montgolfier. En relación con este asunto, es obligado citar los conocidos textos de Viera y Polindo, así como el *Canto, que en elogio de la brillante invención del globo aerostático y famosos viajes aéreos, ejecutados por los célebres viajeros franceses en los días 21 de noviembre y primero de diciembre de 1783* (1784), de Joaquín José Queipo de Llano y Valdés (1728-1805) y un artículo anónimo publicado el 26 de agosto de 1783 en la *Gaceta de Madrid*.

Una vez asimilado el primer impacto, la aerostación se centró en el debate sobre la idoneidad de los globos de hidrógeno frente a los de aire caliente. La mayor parte de los experimentos realizados en Castilla, Valencia y Cataluña estaban destinados a probar aquellos gases como propulsores de los globos y estudiar su eficacia¹³ y rentabilidad económica¹⁴. En ese debate se vieron involucrados Viera —considerado el primer español que construyó un globo lleno de hidrógeno—, Polindo y el ingeniero canario Agustín de Betancourt y Molina (1758-1824), que elevó un globo de aire caliente en los jardines del Retiro de Madrid¹⁵. Los tres fueron hombres de excelente preparación académica; pero sus innumerables obligaciones les impidieron repetir las experiencias y profundizar en las posibles consecuencias teóricas y prácticas.

Más tarde, se vio la utilidad de los vuelos aerostáticos en el estudio de la composición química del aire, las propiedades eléctricas y gravimétricas de dicho fluido, la temperatura y la presión atmosféricas a diferentes alturas, la cartografía, la aerodinámica, la hidrostática, etc.; incluso se especuló sobre las aplicaciones militares. Es en este contexto donde nuevamente aparecen las obras de Jove Tineo, Polindo, Salanova y Viera. Esta lista ha de completarse con los vuelos del italiano Lunardi, referidos en el apartado anterior y divulgados entre agosto de 1792 y febrero de 1793 en el *Diario de Madrid*, y la experiencia que tuvo lugar el 11 de noviembre de 1792 en Segovia, relatada por Pedro de Abarca y Bolea (conde de Aranda, 1719-1798) con el título *Ensayo de un Globo Aerostático* (15 de noviembre de 1792). La experiencia en cuestión tenía como objeto demostrar las capacidades militares de los globos cautivos, se efectuó en presencia de Carlos IV y fue supervisada por Joseph-Louis Proust. Gracias al éxito obtenido, el aristócrata y político oscense propuso institucionalizar el uso de los globos cautivos en el Ejército, lo que no fue puesto en vigor hasta bien entrado el siglo XX.

QUÍMICA NEUMÁTICA Y SEGURIDAD EN LAS MINAS

A comienzos del siglo XVIII, la actividad minera española se encontraba en un estado muy débil. Sin embargo, en la segunda mitad de la centuria aumentó la intervención del Estado en la explotación minera; esto condujo a un notable aumento de la producción de mercurio (Almadén), cobre (Riotinto), plomo (Linares) y otros metales y a la necesidad de incrementar la mano de obra (Sánchez Gómez *et al.*, 2002). El progreso de la minería estuvo vinculado desde entonces al experimentado en la química (en particular, la neumática) y al auge del mercantilismo en los estados capitalistas europeos.

Junto al personal libre, en las minas trabajaban forzados y condenados en las zonas más peligrosas y peor ventiladas. Una de tareas que se les asignó, a cambio de redimir sus penas, fue la de hacer de avanzadilla a través de las galerías en busca de posi-

bles concentraciones de gases nocivos y peligrosos. Tenían que bajar a la explotación una hora antes de que lo hiciese cada turno; y recorrían las galerías protegidos por un capote de cuero mojado en agua que recordaba el atuendo de los penitentes de Semana Santa, una lámpara y un bastón con una mecha en su extremo. Una vez detectado el gas por el olor, el penitente encendía la mecha y arrojaba el bastón hacia el fluido, al tiempo que se tiraba al suelo para que la llamada no le dañase.

Más allá de estas experiencias con repercusiones socioeconómicas y a veces dramáticas, Viera, Polindo y Salanova señalaron que el *gas de las minas* (grisú) era propio de las minas de carbón fósil, abundantes en lo que hoy se denomina metano e hidrógeno. Era muy volátil, se acumulaba en los techos de las galerías y estallaba con facilidad. De ahí que resaltaran la importancia de abrir conductos subterráneos conectados con el exterior, que facilitarían la ventilación y disminuirían los riesgos de intoxicaciones y deflagraciones. Además, atribuyeron tanto poder explosivo al *gas de las minas* que asociaron esa propiedad a la actividad sísmica y volcánica¹⁶.

Tanto Ameller como Martí i Franqués compartieron esa necesidad de airear los lugares cerrados o mal ventilados, como las minas, las cárceles, los teatros, etc. Y esa, también, fue una preocupación constante de los responsables de las minas americanas (Puche Riart, 1994).

La cuestión de la seguridad en las minas fue interpretada en el siglo XVIII de acuerdo con el ideal mercantilista. Los accidentes y las intoxicaciones provocaban abandonos temporales de los trabajos, con el consiguiente perjuicio económico y la merma de la producción minera. Muchos de estos inconvenientes se podrían haber solventado con una buena ventilación en las instalaciones.

CONCLUSIONES

En una primera fase, la química neumática española se caracterizó por la vigencia de las ideas especulativas del pasado y la agregación de aportaciones modernas. Así, por motivos similares a los ocurridos en el resto de Europa, la teoría del *flogisto* fue defendida por unos cuantos personajes que pretendían explicar la naturaleza de los gases sin salirse de los antiguos postulados. No obstante, el nuevo sistema de Lavoisier terminó por imponerse casi sin retraso con respecto a Francia.

Por otra parte, la química española del siglo XVIII reivindicó permanentemente los saberes útiles y de aplicación inmediata. De ahí que estuviese principalmente orientada hacia la resolución de tareas prácticas, y rara vez hacia la reflexión teórica y al intercambio de ideas con el exterior.

Esto explica el carácter fundamentalmente empírico de la química neumática y que muchas de sus actividades se inscribieran en el marco de otras disciplinas más amplias y prioritarias. La medicina

ambientalista, por ejemplo, con su expansión al terreno de los análisis del aire y de las aguas minero-medicinales, fue la primera beneficiada. También lo fue la tecnología aerostática, que tuvo una favorable acogida en el país y, tras debatir sobre la idoneidad del hidrógeno para llenar globos, encontró aplicaciones al estudio del aire a diferentes alturas. Lo mismo cabe decir de los progresos de la minería, siempre vinculados a la seguridad en el interior de las minas y a la rentabilidad económica de la producción. Esta orientación práctica de la química neumática española guardó plena similitud con la de las demás potencias europeas.

NOTAS

- ¹ Academia de Artillería de Segovia, Real Escuela de Minerología, Real Junta de Comercio de Barcelona, Real Laboratorio de Química de Madrid, Real Seminario Patriótico de Vergara, Real Sociedad de Amigos del País de Segovia, Real Sociedad Vascongada de Amigos del País, Seminario de Nobles de Madrid, etc.
- ² El sabio francés estudió en el Collège Mazarino; en esta misma institución se formaron como pensionados los hermanos Juan José (1754-1796) y Fausto (1755-1833) de Elhúyar, descubridores del volframio durante su etapa como profesores de química del Real Seminario Patriótico de Vergara. Véase Puche Riart (2001).
- ³ Que en 1804 enunciara la ley de las proporciones definidas.
- ⁴ Como se sabe, éste es conocido por la teoría atómica de la materia y la ley de las proporciones múltiples (1808), en tanto que sus estudios sobre gases se relacionaron, principalmente, con las propiedades físicas de dichos fluidos (ley de las presiones parciales) y con largas series de observaciones meteorológicas. (Brock, 1998).
- ⁵ Expuesta por Georg Ernst Stahl (1660-1734). El término griego *flogisto*, atendiendo a su acción general, significaba "inflamable".
- ⁶ En la época se empleaba la misma denominación para designar el nitrógeno, aunque más tarde se usó el término *gas mofeta* para referirse tanto al ácido carbónico (CO₂) como al carburo de hidrógeno o metano (CH₄).
- ⁷ De hecho, las actividades científicas de carácter novedoso tuvieron lugar fuera de la Universidad. Véase Álvarez de Morales (1988).
- ⁸ Según Stahl, el *flogisto* era uno de los principios constitutivos del azufre y proporcionaba color y olor a las sustancias. Véase Oldroyd (1973).
- ⁹ Tan sólo una diferencia: la obra de Viera está escrita en verso y la de Polindo en prosa.
- ¹⁰ De hecho, Viera, que ya utilizó el pseudónimo de Diego Díaz Monasterio en *Los aires fijos*, muy bien pudo haber sido el autor del manuscrito citado de Polindo. Véase al respecto Aguilar Piñal (1981-1991).
- ¹¹ Véase la nota 1.
- ¹² En la época se utilizaba un sistema de iluminación que consumía el oxígeno de los espacios cerrados con gran rapidez.
- ¹³ Los globos rellenos de hidrógeno ascendían más que los de aire caliente debido a la ligereza de aquel gas.
- ¹⁴ El procedimiento de obtención de hidrógeno era mucho más costoso que el simple calentamiento de aire en una hoguera. Pero los globos de aire caliente debían cargar con el combustible en la barquilla, con el consiguiente peligro y aumento de peso.
- ¹⁵ Antes de que Viera publicara *Los aires fijos*, ya reinstalado en España, hizo demostraciones experimentales con gases en la casa del marqués de Santa Cruz. Es muy posible que a

esas demostraciones asistiera Betancourt. Si Viera estaba en España en 1783, justo cuando empezaron las primeras pruebas aerostáticas en París, no pudo ser testigo presencial de ellas, pero consiguió obtener una valiosa información gracias al intercambio epistolar con el botánico Antonio José Cavanilles (1745-1804), que residía entonces en la capital francesa. Así, Viera reunió datos suficientes para añadir el sexto canto a *Los aires fijos*, hacerse eco de los tres vuelos efectuados en Madrid a mediados de diciembre de 1783 y atribuirse la autoría de uno de ellos; se cree que alguno de los otros dos fue obra de Betancourt. Véase Utrilla Navarro (1996).

- ¹⁶ Esta explicación, de larga raigambre en Europa, combinaba el catastrofismo con la neumática. Véase Capel (1980).

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Piñal, F. 1981-1991. *Bibliografía de autores españoles del siglo XVIII*. CSIC-Instituto Miguel de Cervantes, Madrid, IV, 436.
- Álvarez de Morales, A. 1988. *La Ilustración y la reforma de la Universidad en la España del siglo XVIII*. Instituto Nacional de Administración Pública, Madrid, 321 pp.
- Badash, L. 1964. Joseph Priestley's Apparatus for Pneumatic Chemistry. *Journal of the History of Medicine*, 19, 139-155.
- Brock, W. H. 1998. *Historia de la química*. Alianza, Madrid, 619 pp.
- Capel, H. 1980. Organicismo, fuego interior y terremotos en la ciencia española del siglo XVIII. *Geo-Crítica*, Universidad de Barcelona, 24/09/2014, <http://www.ub.edu/geocrit/geo27-28.htm#opinion>.
- Capel, H. 1998-1999. Medicina y clima en la España del siglo XVIII. *Revista de Geografía*, XXXII-XXXIII, 79-105.
- Carrasco Jarabo, P. 1964-1965. Vida y obra de Pedro Gutiérrez Bueno. *Boletín de la Sociedad Española de Historia de la Farmacia*, 60, 154-169; 61, 10-24; 62, 71-86; 63, 101-118; 64, 153-177.
- Carrillo, J. L. y Gago Bohórquez, R. 1979. *La introducción de la nueva nomenclatura química y el rechazo de la teoría de la acidez de Lavoisier en España*. Universidad de Málaga, Málaga, 92 pp., edición facsímil de las *Reflexiones sobre la nueva nomenclatura química* (1788) de Juan Manuel de Aréjula.
- Daumas, M. 1953. *Les instruments scientifiques aux XVII^e et XVIII^e siècles*. PUF, París, 426 pp.
- Gago Bohórquez, R. 1984. La enseñanza de la Química en Madrid a finales del siglo XVIII. *Dynamis*, 4, 289-290.
- García Belmar, A. y Bertomeu Sánchez, J. R. 2001. Viajes a Francia para el estudio de la química, 1770 y 1833. *Asclepio*, LIII, 95-139.
- Gillespie, G. 1983. *The Montgolfier Brothers and the Invention of Aviation, 1783-1784*. University Press, Princeton, 232 pp.
- Gomá Orduña, J. 1946. *Historia de la aeronáutica española*. Prensa Española, Madrid, 799 pp.
- Gough, J. 1983. Lavoisier's Memoirs on the Nature of Water and Their Place in the Chemical Revolution. *Ambix*, 30, 89-106.
- Holmes F. y Levere T. H. (Eds.) 2000, *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*. MIT Press, Cambridge, 415 pp.
- Lafuente, A. 1992. Institucionalización metropolitana de la ciencia española en el siglo XVIII. En: Lafuente, A. y Sala Catalá, J. (Eds.), *Ciencia colonial en América*, Alianza Universidad, Madrid, 91-118.

- Le Grand H. 1972. Lavoisier's Oxygen Theory of Acidity. *Annals of Science*, 24, 1-18.
- Metzger, H. 1923. *Les doctrines chimiques en France du debut du XVII^e á la fin du XVIII^e siècle*. Alcan, Paris, 496 pp.
- Moles Ormella, E. 1934. *El momento científico español, 1775-1825*. Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, 15.
- Molina García, J. A. 2005. El uso de instrumentos científicos en los primeros vuelos aerostáticos tripulados. *Éndoxa: Series Filosóficas*, 19, 191-223.
- Oldroyd, D. R. 1973. An examination of Stahl's Philosophical Principles of Universal Chemistry. *Ambix*, 20, 36-52.
- Perrin, C. 1981. The Triumph of the Antiphlogistians. En: Perrin, C. *The Analytic Spirit. Essays in the History of Science in Honor of Henry Guerlac*. Cornell University Press, Ithaca, Londres, 40-64.
- Perrin, C. 1986. Lavoisier's Thoughts on Calcination and Combustion, 1772-1773. *Isis*, 77 (4), 647-666.
- Peset, J.L. 2002. La enfermedad y los médicos. En: Peset, J.L. (Dir.), *Historia de la Ciencia y la Técnica en la Corona de Castilla, siglo XVIII*. Junta de Castilla y León-Caja Duero, Salamanca, IV, 215-238.
- Portela, E. 1999. *La química ilustrada*. Akal, Madrid, 45-47.
- Puche Riart, O. 1994. Influencia de la legislación minera, del laboreo, así como del desarrollo técnico y económico en el estado y producción de las minas de Guancavelica, durante sus primeros tiempos. En: Castillo Martos, M. (Ed.), *Minería y Metalurgia: Intercambio tecnológico y cultural entre América y Europa durante el periodo colonial español*. Muñoz Moya Montraveta, Sevilla-Bogotá, 437-482.
- Puche Riart, O. 2001. Los hermanos Elhúyar, descubridores del Wolframio. *Fundetel*, 5, 72-84.
- Rosen, G. 1943. *History of Miners' Diseases: A medical and Social Interpretation*. Shuman's, Nueva York, 490 pp.
- Rosen, G. 1985. *De la Policía Médica a la Medicina Social*. Siglo XXI, México, 379 pp.
- Sánchez Gómez, J., Mira Delli Zotti, G. y Pérez Merino, J. 2002. Las minas y la acuñación en el siglo XVIII. En: Peset, J.L. (Dir.), *Historia de la Ciencia y la Técnica en la Corona de Castilla, siglo XVIII*. Junta de Castilla y León-Caja Duero, Salamanca, IV, 653-766.
- Sargent, F. 1982. *Hippocratic Heritage: A History of Ideas about Weather and Human Health*. Pergamon Press, Nueva York, 581 pp.
- Siegfried R. 1972. Lavoisier's View of the Gaseous State and its Early Application to Pneumatic Chemistry. *Isis*, 63 59-78.
- Utrilla Navarro, L. 1996. El primer globo español. En: VV. AA., *Betancourt. Los inicios de la ingeniería moderna en Europa*. CEOPU-CEDEX, Madrid, 373 pp.
- Vallés i Rovira, I. 1996. *La magia del vol*. Altafulla, Barcelona, 107 pp.
- Viera y Clavijo, J. 2002. *Opúsculos científicos*. Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, La Orotava (Tenerife), 114 pp.