

TEMAS 64

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

Lavoisier

La revolución química



InvestigacionyCiencia.es

6,50 EUROS

2º TRIMESTRE 2011



9 778411 355668

00064

TEMAS 64

2º trimestre 2011

Lavoisier

La revolución química

Por Marco Beretta





4 Presentación: Lavoisier y España

1750-1764

6 Años de formación

1764-1770

14 Tierra y agua

1772-1773

26 La revolución está en el aire

1774-1777

34 La teoría del oxígeno

1774-1776

38 El científico al servicio del Estado

1777-1782

42 El papel del oxígeno

1783-1786

46 El redescubrimiento del agua

1787-1788

51 Un nuevo lenguaje para la química

1780-1788

58 Ciencia y reformas

1778-1784

65 Química, magnetismo y electricidad

1789-1790

72 La revolución química

1789-1792

80 La ciencia revolucionaria

1789-1794

85 Lavoisier y la Revolución

94 Notas biográficas

95 Lecturas recomendadas

Lavoisier y España

NADIE LE NIEGA LA PRIMOGENITURA DE LA QUÍMICA moderna a Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794). Avanzó el programa renovador, el *Méthode de nomenclature chimique* (1787), con L. B. Guyton de Morveau, C.-L. Berthollet (*a la izquierda de Lavoisier, en la imagen*) y A. Fourcroy, colaboradores suyos en el Arsenal, que articulaba las nuevas teorías y sistematizaba y unificaba la clasificación y denominación de las sustancias químicas. El proyecto adquirió cuerpo y coherencia interna en el *Traité élémentaire de chimique*, publicado por Lavoisier el mes de febrero de 1789, coronación de quince años de trabajos y ensayos. Se la reconoce obra fundacional de la química moderna y se la numera entre los clásicos de todos los tiempos, en el mismo rango que el *De revolutionibus* de Copérnico, de 1543, el *Dialogo* de Galileo, de 1632, o los *Principia* de Newton, de 1687.

El *Traité* ofrece una presentación radicalmente nueva de la química, con incorporación de la nomenclatura sistemática que acaba de crear. Nos aclara en el «discurso preliminar» que, en un comienzo, pensaba limitarse a desarrollar la memoria leída en abril de 1784, ante la Academia de las Ciencias, sobre su propuesta de nomenclatura. A medida que iba redactando el libro se percató de que era preciso ahondar en la reflexión, que en ese estadio ya no era posible aislar la nomenclatura de la ciencia, ni la ciencia de la nomenclatura. La nueva ciencia no solo requiere un lenguaje genuino, sino también nuevos conceptos, nuevas clasificaciones de los compuestos, nuevas operaciones, nuevas tablas de datos numéricos. Pese al título, el tratado no es elemental.

Espíritu ávido de conocimiento, en su juventud compartió la formación jurídica, que le habría de aportar el sustento, con el interés por la botánica, la mineralogía y la medicina. Trabajó amistad con Jean-Étienne Guettard, minero y académico, quien le orientó hacia la química. Amó las matemáticas, las ciencias exactas y los experimentos bien hechos; cribó las teorías y las sometió al crisol del ensayo de laboratorio. Rompió con las ideas heredadas de la Antigüedad (los cuatro elementos y las cuatro cualidades) y el lastre alquimista.

La combustión, referencia de numerosas operaciones, fascinó siempre a los químicos. De todas las teorías sobre la combustión ninguna alcanzó el éxito de la promovida, a comienzos del siglo XVIII, por Georg-Ernst Stahl. Conocida por teoría del flogisto, sostenía que era este un principio inflamable que pasaba de una sustancia a otra en el curso de las reacciones químicas. Todos los cuerpos constaban de una combinación de residuo y flogisto: la combustión provocaba la huida del flogisto. La teoría de Stahl resultó convincente para muchos. Andando el tiempo, Scheele, Cavendish y Priestley, contemporáneos de Lavoisier, fueron descubriendo gases en la atmósfera. Llamaban aire deflogistizado al gas oxígeno y aire flogistizado al nitrógeno. Más de veinte años dedicó Lavoisier al estudio de dos

de los elementos de Aristóteles: el agua y el aire. Demostró que el agua, lejos de constituir un elemento, era combinación de oxígeno e hidrógeno, dos elementos. Demolió la teoría del flogisto con su teoría del oxígeno sobre la combustión y levantó sobre sus escombros una teoría nueva, aclaró la noción de elemento y propuso ecuaciones químicas que presentarían un genuino equilibrio cuantitativo de masas. Ideó un sistema de escritura y de nomenclatura que en buena parte ha subsistido. Impulsó, en fin, la «revolución química». En pocos años, el sistema francés de nomenclatura química se universalizó, con mayor penetración incluso que el sistema métrico. La reforma de la nomenclatura química se incardinaba en una dinámica histórica más amplia de reforma léxica y conceptual, que en la historia natural, por ejemplo, arranca con Linneo.

España no quedó al margen de la nueva química. Gracias al impulso ilustrado de Carlos III se creó una red de instituciones, academias, laboratorios, jardines y escuelas de agricultura y veterinaria. Los alumnos más brillantes fueron enviados al extranjero y fueron contratados científicos y técnicos habilitados para levantar el país. La química tuvo un primer asentamiento en el Seminario de Vergara, en 1783. Allí encontramos a Joseph-Louis Proust (1754-1826) y François Chavaneau (1754-1842). Allí también los hermanos Elhúyar, Juan José (1754-1796) y Fausto (1755-1833), descubrieron el tungsteno o wolframio, con un procedimiento que se publicó en 1783.

Por su importancia en las pólvoras, se creó una cátedra de química en la Escuela de Artillería de Segovia, donde Proust fue contratado en 1785. En Segovia, Juan Manuel Munárriz tradujo al español el *Traité* en 1798. Por su incidencia en la *ars tinctoria* se estableció en Madrid, en 1787, la cátedra de química aplicada, ocupada por Domingo García Fernández (1759-1826), alumno de Jean-Antoine Chaptal (1756-1832) en Montpellier y traductor de los *Eléments de l'art de la teinture*, que introducía la nueva nomenclatura. En 1788, Juan Manuel de Aréjula, «cirujano de la clase de Primeros de la Real Armada, y Pensionado por S. M. en París», publica en Madrid sus *Reflexiones sobre la nueva nomenclatura química*. Pedro Gutiérrez Bueno (1743-1822), director del Laboratorio Real de Química de Madrid, fundado en 1788, tradujo ese mismo año tres memorias, redactadas por Lavoisier, Guyton y Fourcroy, un diccionario y un cuadro sinóptico. En Barcelona, Francisco Carbonell, discípulo también de Chaptal, adoptaba y difundía las nuevas teorías de Lavoisier y Berthollet en su *Disertación sobre el álcali volátil* (1790). En 1805 publicó unos *Elementos de Farmacia fundados en los principios de la Química moderna*. Lavoisier ayudó, así, indirectamente a la lenta incardinación de España en la ciencia moderna.

—José María Valderas





REAL COLEGIO DE MÉDICOS; LONDRES (fresco de Théobald Chartran)

TRADUCCIÓN: José M.ª Valderas

PORTADA: Museo Metropolitano de Arte, Nueva York

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

DIRECTORA GENERAL Pilar Bronchal Garfella
DIRECTORA EDITORIAL Laia Torres Casas
EDICIONES Anna Ferran Cabeza, Ernesto Lozano Tellechea, Yvonne Buchholz
PRODUCCIÓN M.ª Cruz Iglesias Capón, Albert Marín Garau
SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
ADMINISTRACIÓN Victoria Andrés Laiglesia
SUSCRIPCIONES Concepción Orenes Delgado, Olga Blanco Romero

EDITA

Prensa Científica, S.A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344 Fax 934 145 413
e-mail precisa@investigacionyciencia.es
www.investigacionyciencia.es

SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF Mariette DiChristina
EXECUTIVE EDITOR Fred Guterl
MANAGING EDITOR Ricki L. Rusting
MANAGING EDITOR, ONLINE Philip M. Yam
DESIGN DIRECTOR Michael Mrak
SENIOR WRITER Gary Stix
EDITORS Davide Castelvecchi, Mark Fischetti, Christine Gorman, Anna Kuchment, Michael Moyer, George Musser, Kate Wong
CONTRIBUTING EDITORS Mark Alpert, Steven Ashley, Graham P. Collins, John Rennie, Sarah Simpson
ART DIRECTOR, INFORMATION GRAPHICS Jen Christiansen
MANAGING PRODUCTION EDITOR Richard Hunt
PRESIDENT Steven Inchoombe
EXECUTIVE VICE PRESIDENT Michael Florek
MANAGING DIRECTOR, CONSUMER MARKETING Christian Dorbandt
VICE PRESIDENT AND PUBLISHER Bruce Brandfon

DISTRIBUCIÓN

para España:

LOGISTA, S. A.

Pol. Ind. Pinares Llanos - Electricistas, 3
28670 Villaviciosa de Odón (Madrid)
Teléfono 916 657 158

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.

Muntaner, 339 pral. 1.ª - 08021 Barcelona

PUBLICIDAD

Teresa Martí Marco
Muntaner, 339 pral. 1.ª 08021 Barcelona
Tel. 934 143 344 - Móvil 653 340 243
publicidad@investigacionyciencia.es

Copyright © 1998 Le Scienze S.p.A.,
Via Cristoforo Colombo 149, I-00147 Roma

Copyright © 2011 Prensa Científica S.A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª 08021 Barcelona (España)

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista. El nombre y la marca comercial SCIENTIFIC AMERICAN, así como el logotipo correspondiente, son propiedad exclusiva de Scientific American, Inc., con cuya licencia se utilizan aquí.

ISSN 0210136X Dep. legal: B. 38.999 - 76

Imprime Rotocayfo (Impresia Ibérica) Ctra. N-II, km 600
08620 Sant Vicenç dels Horts (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España

1750-1764

Años de formación

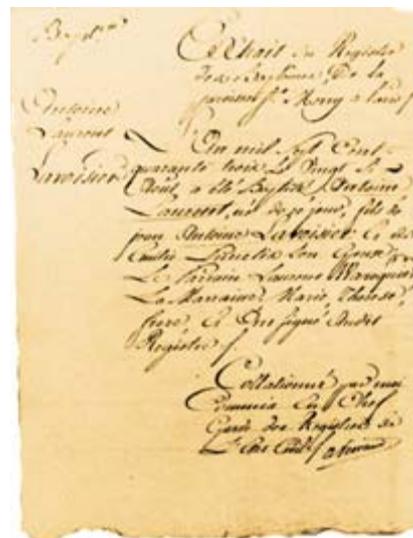
Un interés precoz por la ciencia impulsa al joven Lavoisier a ocuparse de las disciplinas más dispares y a reconocer el retraso de la química, vinculada todavía a métodos cualitativos del pasado

«**H**E TENIDO UNA CARRERA SUFICIENTEMENTE LARGA, PERO SOBRE TODO afortunada, y creo que el recuerdo de mi nombre irá acompañado de cierto pesar y, quizá, de cierta gloria. ¿Qué más podría haber deseado? Los sucesos en que me hallo involucrado me ahorrarán probablemente los achaques de la vejez. Moriré de repente, lo que constituye una ventaja ulterior a añadir a todas aquellas de las que me haya podido beneficiar.»

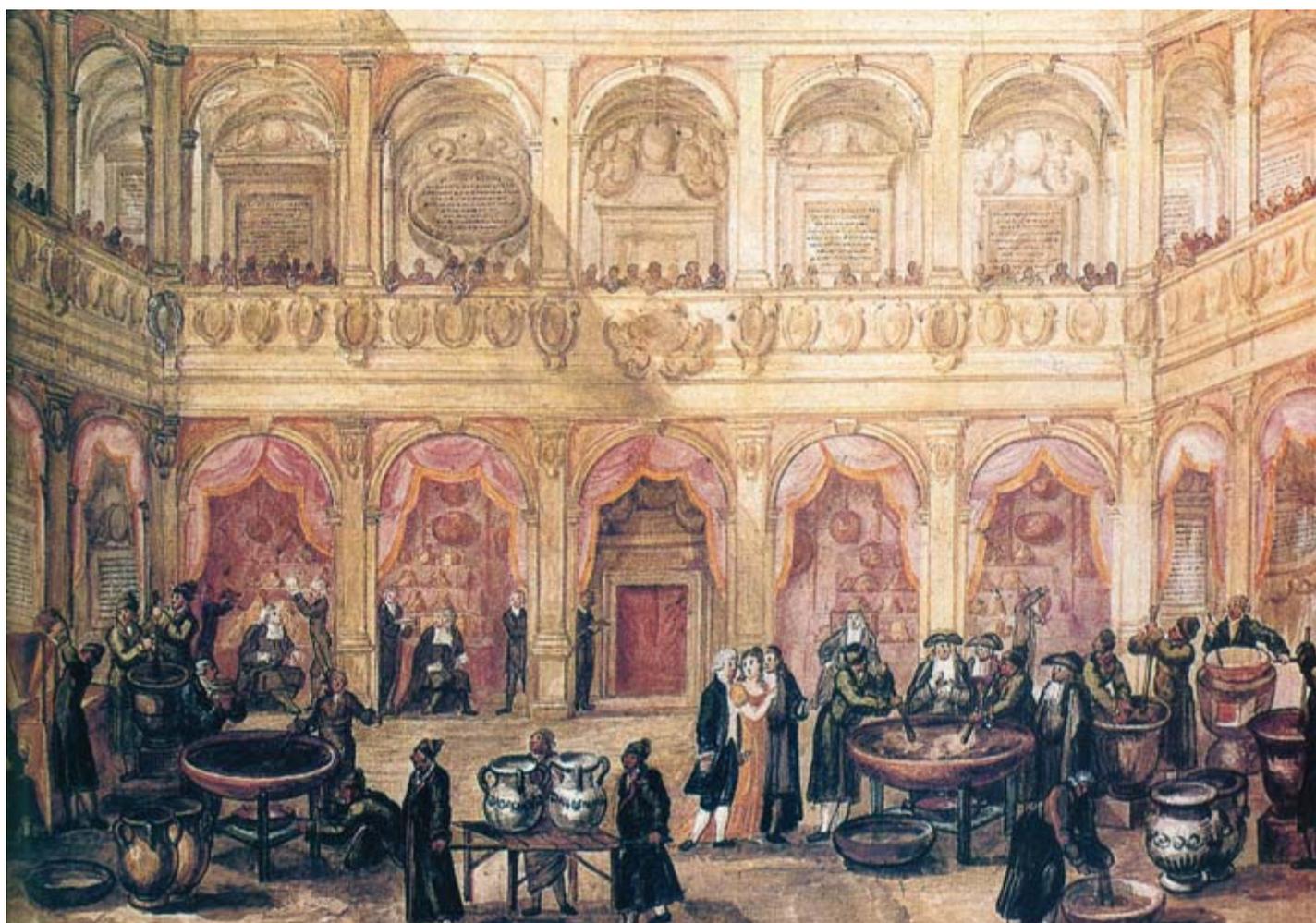
Con esas palabras, el 17 de mayo de 1794, a las pocas horas de dictada la sentencia que le condenaba al patíbulo, Antoine Laurent Lavoisier resumía con mirada retrospectiva, no exenta de conmoción, el éxito y la riqueza de una existencia intensamente vivida. La conciencia de haber contribuido a la realización de una espectacular revolución científica le permitía contemplar con ánimo tranquilo y resignado el trágico epílogo de una carrera jalonada por una secuencia continua de éxitos clamorosos. A sus escasos cincuenta años, Lavoisier podía reclamar un puesto de primer rango en la memoria de sus contemporáneos. Hoy, más de dos siglos después de su desaparición, su empresa científica recibe el justo reconocimiento de constituir una de las mayores aportaciones a la formación de la ciencia moderna.

En efecto, Lavoisier, recordado como el fundador de la química moderna, contribuyó a reformar la ciencia del XVIII de un modo mucho más extenso y penetrante de lo que nos ha venido transmitiendo la imagen tradicional. Nos ocuparemos en las páginas que siguen de ilustrar la multiplicidad de sus intereses científicos e iremos singularizando el vínculo que los mantiene unidos en un proyecto de reforma del saber natural sin precedentes en la historia del pensamiento científico.

La vocación del joven Lavoisier por las ciencias parece haberse despertado a una edad precoz y, en vez de reprimirla desde sus primeras manifestaciones, según se acostumbraba en aquel tiempo, su propio padre le había animado y guiado en su desarrollo. Cultivar tales inclinaciones durante el Setecientos era todavía un signo de excentricidad. Las ciencias naturales no solo no reportaban ningún beneficio financiero, sino que a veces —y así ocurría con la química, la física y la biología— ni siquiera formaban parte de los planes de estudios universitarios y no podían contar con subvención del Estado. Solo la medicina y, en menor medida, la astronomía y la matemática habían alcanzado un nivel de institucionalización que permitía emprender una carrera profesional definida, aunque en muy raras ocasiones bien retribuida. La práctica de las demás disciplinas quedaba, pues, reservada a los diletantes, quienes solían desempeñar profesiones de muy distinta índole o, como en el caso de la aristocracia, vivían de las rentas.



Partida de bautismo
de Antoine Laurent Lavoisier.



Preparación de la triaca
en una representación del siglo XVIII.

Muy difundida se encontraba todavía en el siglo XVIII la práctica del mecenazgo. En la onda de los ideales ilustrados promovidos por la publicación de la *Encyclopédie* y de las obras de Voltaire, los soberanos de toda Europa se disputaron los favores de científicos y naturalistas. Gracias a la ampliación de pensiones más o menos generosas, los científicos podían cultivar sus propios intereses sin el apremio de cómo financiar las investigaciones. Ese tipo de mecenazgo iba ligado, sin embargo, a la volubilidad de príncipes y reyes, quienes, salvo raras excepciones, se encontraban aún muy lejos de comprender la importancia económica y estratégica de la ciencia en el desarrollo de las naciones. La economía de la Europa del Setecientos estaba, casi enteramente, regida por la agricultura y las rentas de bienes raíces; escasísimo era el peso que recaía sobre las artes mecánicas y la manufactura. En el arco de la vida de Lavoisier, es decir, de 1743 a 1794, tal estado de cosas sufrió cambios profundos que permitieron entrever con nitidez creciente las potencialidades económicas, y no solo cognoscitivas, de la ciencia.

Así pues, hacia 1750, cuando se trataba de decidir el futuro de Lavoisier, las ciencias naturales se hallaban todavía subordinadas a la enseñanza de las materias humanísticas. En la célebre Universidad de la Sorbona, la facultad de teología y la de leyes ejercían un dominio indiscutible. Se presentaban como el único polo de atracción para quienes desearan emprender con éxito una carrera pública.

No resultaba empresa fácil combinar la necesidad de escoger un currículo profesional oficialmente reconocido con intereses científicos que, ante los ojos de la sociedad, aparecían todavía como signos de excentricidad. Así, para fomentar los talentos de su hijo, Jean Antoine Lavoisier lo inscribiría en el célebre Collège Mazarin, una de las pocas escuelas que agregaban la enseñanza de ciencias naturales a una masiva y preponderante educación humanística. Sin cumplir aún los once, Antoine Laurent entraba en el colegio en 1754. El programa educativo de la institución preveía nueve años de enseñanzas distribuidas según el siguiente plan de estudios: durante los primeros seis años se aprendía religión, francés,

latín, elocuencia, historia y retórica; hasta el séptimo año el alumno no tenía oportunidad de estudiar algunas materias científicas. Abarcaban estas un año de matemáticas, uno de física experimental y uno de lógica.

Desde esos primerísimos años, destacaba el joven Antoine como alumno brillante. Logró al menos dos premios, en retórica y elocuencia. Las lecturas clásicas no dejaron una huella tan honda como para condicionar su formación subsiguiente. A esos años pertenece su idea de escribir una versión teatral de la *Nouvelle Héloïse* de Jean Jacques Rousseau, una novela que celebraba las cualidades humanas y cognoscitivas de los sentimientos, contraponiéndolos al dominio abstracto de la razón. En sus primeros escritos filosóficos, Rousseau había acusado a la ciencia y al progreso de haber quebrado la armonía originaria de la naturaleza humana, condenando de ese modo los esfuerzos que sus contemporáneos estaban empeñando para conferir un nuevo impulso a la investigación científica y

tecnológica. Las inclinaciones de Lavoisier, no obstante, contrastaban con el mensaje prerromántico de la obra rousseauiana; resulta significativo que, tras algunos tímidos intentos, la pieza teatral se abandonara definitivamente.

En esta fase de incertidumbre, de inmadurez tal vez, Lavoisier participó en el concurso convocado por la Academia de Bellas Letras de Besançon, en que se preguntaba a los candidatos «si el deseo de perpetuar el propio nombre y acciones en la memoria de los hombres era conforme con la naturaleza y con la razón». Casi contemporáneamente, concurría también a la cuestión planteada en Amiens: «si la rectitud del sentimiento es necesaria en la investigación en el mismo grado que la exactitud de la razón». En ninguno de los dos episodios aparece el nombre de Lavoisier entre los ganadores, un dictamen descarnado y explícito de sus cualidades de literato.

En 1760, Lavoisier comenzó a asistir a las clases de Nicolas Louis de La Caille, profesor de matemáticas en el colegio desde 1740. La Caille no era un maestro del montón. Insigne astrónomo y brillante matemático, en 1754 había dirigido una importante expedición científica al cabo de Buena Esperanza, en cuyo transcurso identificó la posición de 9766 estrellas. Miembro de la célebre y prestigiosa Real Academia de Ciencias de París, La Caille transmitió a Lavoisier «el rigor intelectual a través del cual los matemáticos desarrollan sus investigaciones», mostrándole el modo en que, a partir de la definición de *punto* y de *línea*, todo se hallaba conexo en una escala demostrativa que, desde lo más elemental, guiaba hacia el descubri-



Cartilla escolar de Lavoisier.

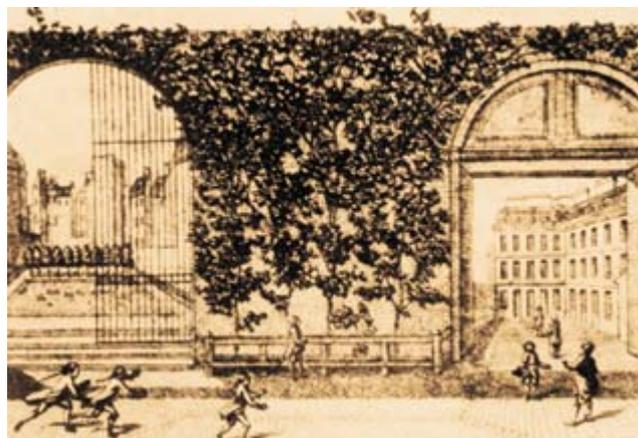
miento de verdades progresivamente más complejas. La Caille fue, además, uno de los primeros matemáticos de Francia que hizo uso sistemático de la lengua vulgar en la enseñanza y en las publicaciones; su lengua, mucho más que el latín —se justificaba—, resultaba particularmente apta para explicar los principios de una ciencia tan estrechamente ligada a la evidencia demostrativa. Aun cuando, en la prosecución de su formación científica, Lavoisier no tuvo más ocasiones de profundizar más allá de esos primeros rudimentos de matemáticas, la enseñanza de La Caille ejerció un influjo determinante en su futura concepción de la ciencia.

En 1761, Lavoisier seguía un curso de física experimental dirigido por el abate Jean Nollet. También ese encuentro iba a resultar decisivo. Nollet había dado un nuevo impulso a la enseñanza de la física, modificando radicalmente el ámbito

disciplinar. Hostil a la tradición teórica que, de Aristóteles a Descartes, había delimitado los confines de la física dentro de los angostos horizontes de la especulación teórica, Nollet reivindicaba la importancia de la observación directa y la experimentación. En un famosísimo manual titulado *Leçons de physique expérimentale* (París, 1754, 6 vols.), Nollet ilustraba las modalidades de construcción de una amplísima variedad de instrumentos utilizados durante las lecciones públicas. Balanzas, areómetros, termómetros, barómetros, máquinas eléctricas, botellas de Leyden, modelos mecánicos y otros ingenios recibían una esmerada descripción en sus mínimos detalles, para así ofrecer a los alumnos, o a cualquier persona interesada en profundizar en la naturaleza de los principales fenómenos físicos, la posibilidad de repetir los experimentos por sí mismo. El énfasis puesto por Nollet en la importancia de los aparatos de laboratorio constituía una novedad fundamental que ratificaba el tránsito de la física teórica a la física de laboratorio. Lavoisier interiorizó esa intuición y atribuyó al laboratorio y a los instrumentos científicos una función central en la actividad propia del químico.

Antes de terminar el programa previsto en el Collège Mazarin, Lavoisier se inscribió en la Universidad de la Sorbona, para cursar la carrera de derecho y así, con el título de abogado, garantizarse una cualificación profesional reconocida en la sociedad. Parece manifiesto que los estudios de leyes debieron de dejarle mucho tiempo libre, porque en 1761, además de las lecciones de La Caille, Lavoisier decidió seguir en privado cursos de química impartidos por el farmacéutico Guillaume François Rouelle en su laboratorio de la Rue Jacob, en el centro de París. Desde 1742, Rouelle había obtenido la autoriza-

Dos vistas del Collège Mazarin, donde Lavoisier realizó los estudios superiores, en grabados del Setecientos.



BIBLIOTECA ARROCH-UNIVERSIDAD DE CORNELL (cartilla); LE SCIENZE (colegio)

ción del gremio parisiense de farmacéuticos para dictar cursos públicos y privados. Merced a una capacidad oratoria nada común, sus lecciones se hicieron tan famosas que a ellas asistieron alumnos de la talla de Jean Jacques Rousseau (en 1743), Paul Henry Thiry d'Holbach (en 1745), Denis Diderot (1754-1756) y el futuro ministro de finanzas de Luis XV, Anne Robert Jacques Turgot (en 1756).

Rouelle había conseguido, pues, despertar el gusto por la química incluso entre las personalidades intelectuales con mayor predicamento de su tiempo. El éxito de tal iniciativa constituía una señal de largo alcance: pensemos en que, durante la primera mitad del Setecientos, la química se consideraba una ciencia con connotaciones harto ambiguas. Las fuentes alquimistas, mágicas y esotéricas de los escritos de química cubrían con un lenguaje abstruso y carente de claridad los escasos resultados positivos que, a lo largo de siglos de experimentación, se habían logrado obtener. Todavía en pleno siglo XVIII no faltaban los químicos que creían posible realizar el viejo sueño alquimista de transmutar en oro metales viles; ni siquiera Rouelle, maestro de tantos ilustrados, desdeñaba fundarse en experimentos típicamente alquimistas. En el mejor de los casos, las investigaciones alquimistas se subordinaban a las exigencias de médicos y farmacéuticos, con la esperanza de obtener remedios y fármacos de origen químico.

No existía aún la figura del químico profesional, ni había razón alguna para que apareciese. Los fármacos recogidos en las numerosas farmacopeas publicadas durante el Setecientos eran, salvo pocas excepciones, los mismos empleados por médicos y apotecarios del Renacimiento. La célebre triaca, los polvos del mítico unicornio o el polvillo, no menos eficaz, extraído de la cornamenta de ciervo, potentes sustancias tóxicas como el antimonio o el mercurio, sustancias orgánicas extraídas de cadáveres humanos, como la sangre seca, y otros remedios de pareja extravagancia yacían en los anaqueles del boticario del Setecientos.

Los contados intentos de dotar de fundamento científico a la preparación química de los remedios produjeron resultados contradictorios. Entre 1690 y 1706, la Real Academia de Ciencias de París mantuvo un extenso programa de investigación destinado a promover el análisis químico del reino vegetal entero. La restricción de las investigaciones al mundo vegetal tenía una explicación: durante



Jean Nolle (1700-1770), uno de los primeros físicos en reivindicar la importancia de la observación directa y de la experimentación (*a la derecha, su laboratorio*), ejerció una gran influencia sobre el joven Lavoisier, quien siguió sus cursos.

milenarios, la mayoría de los remedios eficaces se extraían de las plantas. Tras miles de experimentos, durante los cuales se realizaban decocciones, extracciones, ebulliciones y otras operaciones químicas sobre todas las plantas conocidas, los resultados de la investigación eran, cuando menos, equívocos. Con la excepción de una nueva técnica de extracción de los aceites, no se había descubierto ningún nuevo método, ni se había demostrado que el análisis químico de los cuerpos

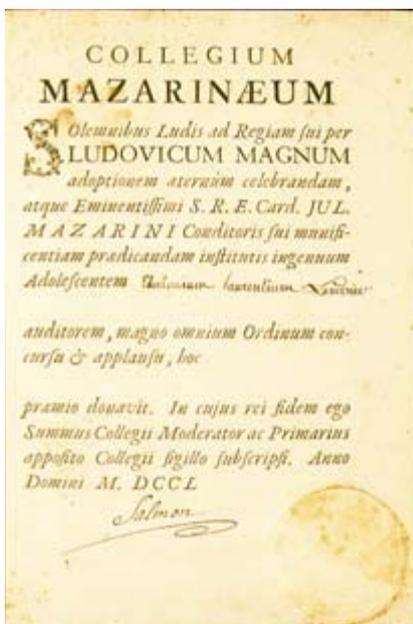
podiese conducir a la elaboración de preparados más eficaces que la práctica de los sortilegios o que la alquimia.

Frente a esa crisis, había un sector de la química que, desde el Renacimiento, había conseguido progresos importantes y decisivos. A partir del siglo XVI, la explotación de las minas se había convertido en un sector estratégico de la economía de numerosos Estados europeos. La demanda creciente de metales beneficiados exigida por diversos sectores del ejército y la extensión repentina de los conflictos, cada vez más amplios sobre el Continente, hicieron necesario el desarrollo de ese sector. La demanda de cañones, fusiles, municiones, armaduras, pólvora y otros artículos logísticos de la maquinaria militar supuso el nacimiento de la primera y genuina industria, hasta el punto de que el célebre historiador francés Fernand Braudel singularizó en la minería renacentista la primera revolución industrial.

Esa actividad productiva reclamaba un conocimiento elaborado de los metales y su análisis químico, de los métodos de extracción y de los instrumentos de laboratorio para el beneficio de los minerales. Dentro del ámbito disciplinar de la metalurgia, los químicos podían contar con un rico patrimonio de conocimientos experimentales. La naturaleza y la composición de los minerales eran, en efecto, mucho menos misteriosas que las de los vegetales



Encuadernación de un volumen que perteneció a Lavoisier con las armas del Collège Mazarin.



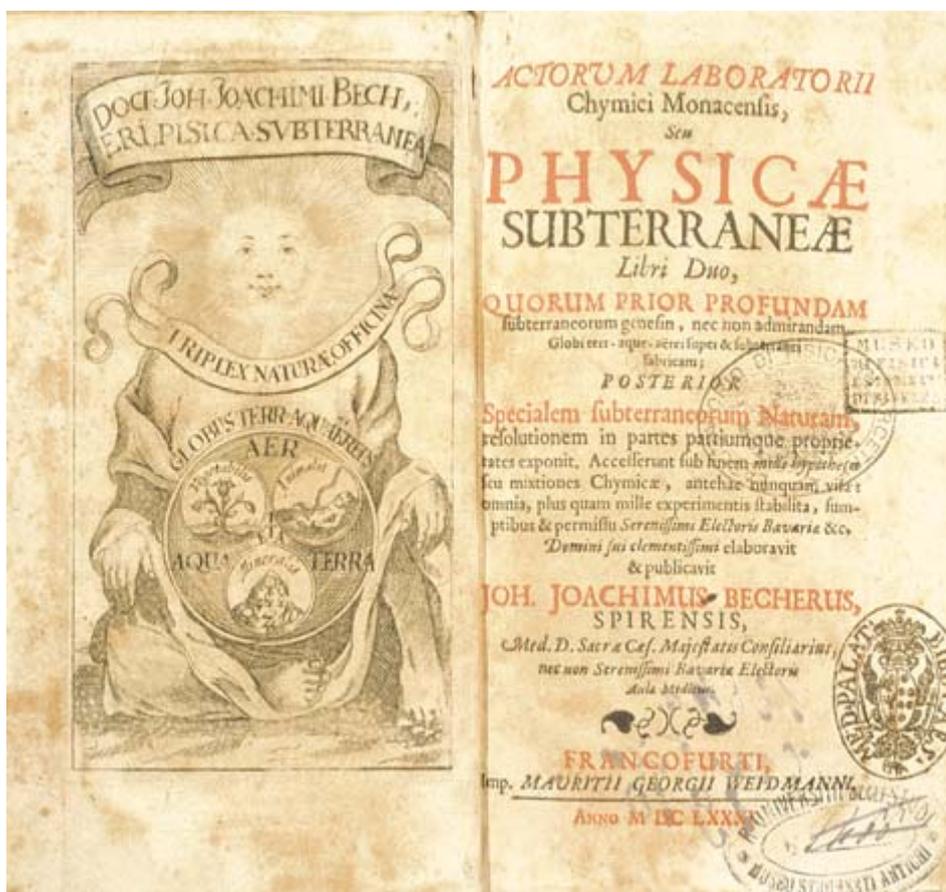
Diploma del premio en retórica otorgado a Lavoisier.

y animales. No obstante, las academias científicas de Europa, las universidades y los colegios seguían privilegiando las investigaciones de química orgánica. Los resultados y los avances de las investigaciones metalúrgicas permanecían restringidas al ámbito reducido de las cuencas mineras.

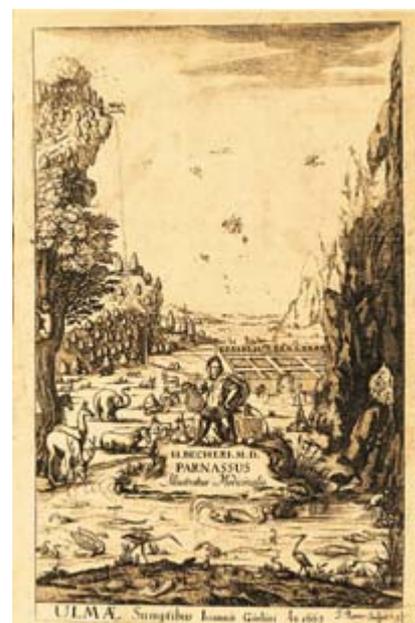
La única excepción de relieve de esa marginación fue la obra del médico alemán Georg Ernst Stahl (1659-1731). Profesor de medicina en la Universidad de Halle, Stahl llegó a ser uno de los médicos teóricos más célebres de la primera mitad del Setecientos. En sus numerosas obras médicas se empeñó en defender una visión de corte vitalista sobre el cuerpo humano, proponiéndose mostrar que el sueño cartesiano de reducir la anatomía humana a modelos mecáni-

cos constituía una mera ilusión. Junto a su actividad médica, Stahl había recibido de las autoridades locales el cargo de superintendente de los distritos mineros de Turingia, que incluía ocuparse de las cuestiones relativas a la química y la metalurgia. Habitado a considerar los problemas científicos en el marco de teorías generales, Stahl no tardó en percatarse de que el saber químico y la praxis al mismo asociada carecían de una síntesis teórica que pudiera explicar los fenómenos principales.

Para colmar esa laguna, el médico alemán elaboró la teoría del flogisto. Se trataba de una nueva teoría de la materia, según la cual todas las sustancias se componían de un elemento característico combinado con una cantidad, más o me-



Los estudios sobre minería y metalurgia constituían el único sector de la química que había progresado después del Renacimiento gracias a la obra de estudiosos como Johann Joachim Becher (*arriba, a la derecha, en un retrato alegórico*), autor de la *Physica subterranea*, cuyo frontispicio de la primera edición, de 1681, se muestra. El continuador de Becher más célebre, Georg Ernst Stahl, fue el padre de la teoría del flogisto, que dominó el pensamiento químico del Setecientos.



BIBLIOTECA ROCCH-UNIVERSIDAD DE CORNELL (diploma); INSTITUTO Y MUSEO DE HISTORIA DE LA CIENCIA, FLORENCIA (frontispicio); LE SCIENZE (Becher y Stahl)

nos importante, de una sustancia inflamable, que Stahl denominó flogisto. Gracias a la introducción del flogisto, el médico alemán se veía capacitado para explicar operaciones tan comunes cuan misteriosas hasta entonces, como la calcinación (oxidorreducción) y la combustión, unificándolas bajo un solo principio. De ese modo, para Stahl, el fenómeno conocido como calcinación de un metal correspondía simplemente a la separación, de la base metálica, del principio inflamable o flogisto.

Además de haber unificado bajo un solo principio una amplia variedad de fenómenos y operaciones químicas, Stahl establecía también los métodos más idóneos para indagar los entresijos de la materia. Frente a lo hipotetizado por mecanicistas y físicos, el enfoque cualitativo no podía considerarse sinónimo de aproximación y superficialidad. Antes bien, en química, el análisis de las cualidades externas e internas de un compuesto determinado habría permitido penetrar en los misterios de su esencia más íntima, allí donde los físicos, estudiando de esa sustancia solo el movimiento y la extensión, conocían únicamente la superficie de la materia. Durante el estudio de una sustancia dada, el químico debía, en efecto, tomar en consideración el olor (en el caso de los aceites), el sabor (en el caso de las sales y los ácidos) y la consistencia física (en el caso de los minerales). Las cualidades secundarias representaban la guía a través de la cual penetrar en los misterios más profundos y recónditos de la materia y permitían conocer la esencia de los cuerpos sin el artificio de las abstracciones matemáticas. La química comenzaba, pues, allí donde se detenía la física. Siguiendo ese enfoque cualitativo, Stahl establecía una jerarquía de la materia muy distinta de la sostenida por los físicos, hartos simple. Para el médico alemán, la materia estaba compuesta del modo siguiente:

principios — mixtos — compuestos —
decompuestos (compuestos de compuestos) — agregados

Si pensamos en la subdivisión aristotélica de la materia en cuatro elementos simples (agua, aire, tierra y fuego), se advierte de inmediato la complejidad del diseño sthaliano. Este hallazgo, es decir, que la materia no podía reducirse a pocos elementos, sino que entrañaba un sistema complejo de relaciones de compuestos y principios diferentes, constituía una apor-

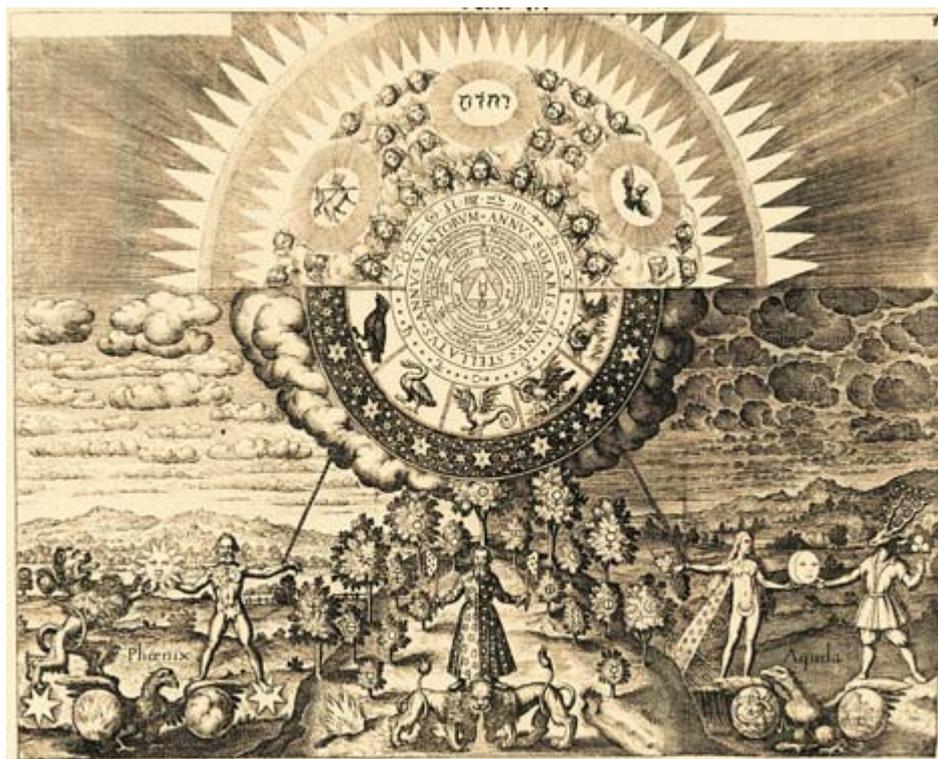


Tabla alegórica de la obra alquimista, en un grabado de 1670.

tación de enorme relevancia, cuyo alcance se les escapó a los contemporáneos de Stahl y a sus discípulos inmediatos.

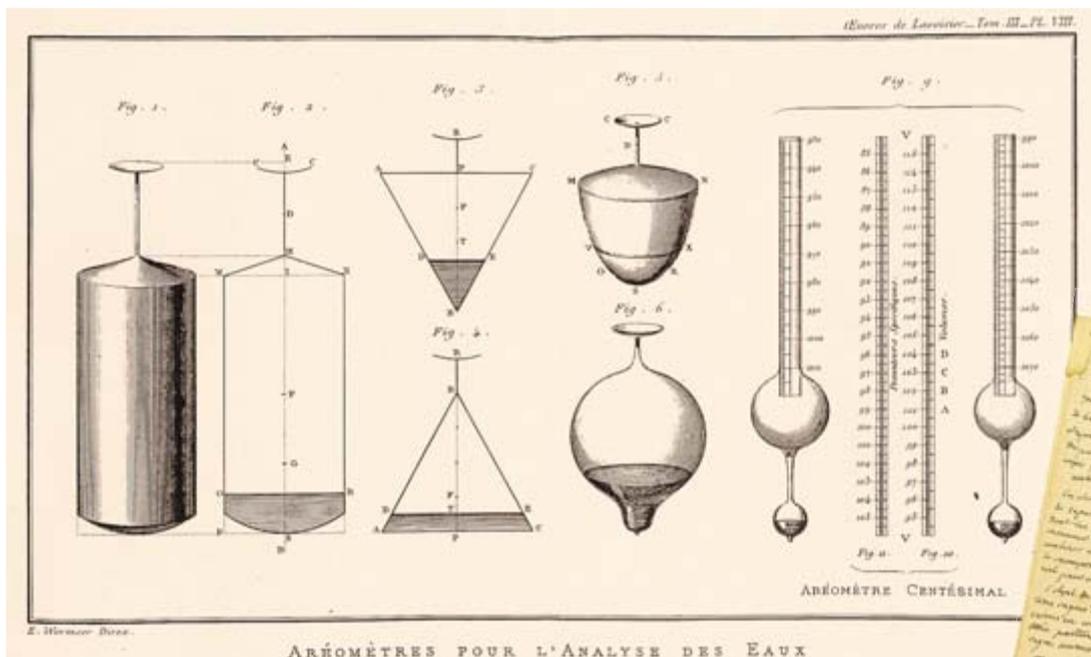
Los progresos indudables realizados por Stahl en el campo de la teoría química no hicieron mella, sin embargo, en las graves deficiencias que rodeaban la terminología y la nomenclatura de esa rama

científica. Con un estilo a menudo obscuro, salpicando sus tratados de frases y términos germanos en una prosa latina, Stahl hacía muy difícil la lectura de sus obras, generando no pocos equívocos sobre el significado que debía atribuirse a las ideas allí pergeñadas. Lo que no impidió que la obra química de Stahl encontrara una enorme difusión, que dominaría sin réplica a lo largo de más de medio siglo. La teoría del flogisto se convirtió muy pronto en la teoría fundamental, en cuyo marco se encuadraban y recibían explicación todos los fenómenos químicos. También en Francia la obra de Stahl gozó de enorme prestigio. Hasta 1770, todos los químicos y naturalistas adoptaron los principios. Y pese a que ningún químico había logrado aislar experimentalmente el flogisto, todos se hallaban plenamente convencidos de su existencia.

Cuando, en 1761, Lavoisier se apuntó a un curso de química, primero bajo la tutela del farmacéutico parisiense Laurent Charles de La Planche y luego bajo la de Rouelle, quedó sorprendido del retraso de la disciplina y de la confusión reinante en su seno. La didáctica difería bastante de la empleada en las clases de matemáticas y física experimental de La Caille y Nollet. En química, se daban por descontados los principios de la ciencia, sin que fuera posible, en modo alguno, demostrar empíricamente su fundamentación. En vez de partir de los elementos más sim-



Símbolos químicos extraídos de la Enciclopedia de Diderot y d'Alembert.



Inicio del primer manuscrito sobre química de Lavoisier. A la izquierda, areómetros que Lavoisier utilizó para el análisis de aguas minerales.



ples y elementales para ir alcanzando progresivamente los más complejos, los docentes de química inauguraban el curso con prolijas especulaciones teóricas sobre los elementos últimos de la materia. Tras ello venían lecciones sobre las afinidades químicas, un tema sumamente difícil y controvertido. Solo después de algunos meses, podían asistir los alumnos a los primeros ensayos de laboratorio y comprender en concreto cuál era el objeto de la química.

Semejante esfuerzo resultaba más arduo incluso debido a la obscuridad del lenguaje químico, viciado todavía de esoterismos heredados del pensamiento alquimista. Con el nombre genérico de mercurio, por ejemplo, se designaban en el Setecientos por lo menos veinticinco sustancias, de las que solo una poseía las características químicas que asociamos hoy al término en cuestión. La abundancia de homónimos y el empleo de un vocabulario tan abstruso cuan impreciso celaban la pobreza experimental de una ciencia que había conseguido aislar poco más de mil compuestos diversos. Para medir la lentitud de los progresos alcanzados por la química en la primera edad moderna, baste considerar que hoy se crean artificialmente decenas de miles de nuevos productos químicos cada año.

Si se enmascaraban esos defectos estructurales, la manifiesta riqueza terminológica de la química del Setecientos presentaba el inconveniente de crear no pocos equívocos para quienes se empeñaban en descifrar cualquier manual introductorio. El joven Lavoisier, habituado a la tersura del lenguaje matemático de La Caille, singularizaba en ese defecto uno

de los motivos principales del atraso científico de la química. Pese a esas desalentadoras primeras constataciones, Lavoisier comenzó a apasionarse por la disciplina, hasta el extremo de asistir a los cursos de La Planche y Rouelle durante tres años consecutivos.

Tras haber terminado los cursos de química en 1763, Lavoisier recopiló algunas ideas inherentes a la definición de los principales métodos y principios químicos. En un escrito que permaneció inédito hasta 1994, el joven científico manifestaba cierta perplejidad ante el enfoque cualitativo de Rouelle y, más en general, ante el enfoque de la química stahlina. El escrito se abría con una definición de la química que reivindicaba para esta ciencia el estudio de la separación de los diferentes principios componentes de los cuerpos. En opinión de Lavoisier, los criterios cualitativos que hasta entonces se habían privilegiado quedaban sustituidos por una nueva inquisición metodológica. El análisis químico de las sustancias y su cabal individualización requerían instrumentos precisos y refinados que solo la física podía suministrar.

De ese modo, Lavoisier presentaba una extensa relación de instrumentos, cuya eficacia había conocido en los cursos de física experimental de Nollet, que podían utilizarse con provecho en los ensayos de química. Para medir con exactitud el distinto grado de dilatación de los metales, Lavoisier sugería el empleo del pirómetro, un instrumento inventado por el físico holandés Peter van Musschenbroek en la primera mitad del siglo. Con este tipo de instrumento se combinaba, por supuesto, el uso del termómetro, que per-

mitía medir eventuales cambios de temperatura en el transcurso de un experimento. Y, para determinar la diferencia cualitativa entre dos sustancias, el joven científico francés recomendaba el empleo del areómetro o balanza hidrostática, un instrumento que posibilitaba valoraciones de diferentes pesos específicos de los cuerpos, mucho más precisas que las realizadas con la sola ayuda de los sentidos.

Desde esos primeros apuntes, tomados a todas luces inmediatamente después de haber seguido el curso de Rouelle, Lavoisier delineaba un programa de investigación química enteramente basado en métodos, instrumentos y lenguaje de la física. Y, si bien la teoría de Stahl no recibía ninguna crítica, resultaba ya manifiesto que el enfoque cualitativo que regía sus fundamentos era sometido a una crítica sistemática. Para proclamarse verdaderamente ciencia, la química no podía depender del arbitrio y volubilidad de los sentidos, sino que debía recurrir a modelos análogos a los aportados por la física y la matemática, que desde siempre habían garantizado una comprensión de los fenómenos naturales mejor y más rigurosa. No era, pues, mera casualidad que en esas primeras páginas interlocutorias Lavoisier citara más los nombres de Newton, Franklin y Musschenbroek, físicos, que los de químicos, en quienes resultaba difícil reconocer una autoridad pareja, con la excepción de Stahl.

En realidad, el manuscrito juvenil en cuestión, más allá de la declaración de intenciones de carácter metodológico, no presenta ninguna contribución experimental ni teórica original. Por lo demás, las nociones que Lavoisier había aprendido de La Planché y Rouelle y las pocas lecturas químicas que se concedía en el tiempo libre no podían todavía permitirle decidir si la química, y no otra disciplina científica, constituía la rama del saber en la que se proponía ahondar.

En 1763, es decir, en el año postrero de su permanencia en el Collège Mazarin, Lavoisier siguió las últimas lecciones del curso de química y recibió el bachillerato en leyes de la facultad de derecho de la Universidad de la Sorbona. Con veinte años, podía contar no solo con una discreta preparación científica y literaria, sino que también había sido capaz de obtener un primer título universitario.

Terminadas las obligaciones asociadas a la instrucción secundaria y universitaria, Lavoisier podía dedicarse a la ciencia a tiempo completo. Su padre Jean Antoine se lo confió a un viejo conocido, el ilustre botánico Jean Etienne Guettard, quien, tras descubrir en el joven cualidades prometedoras, decidió llevárselo consigo en una excursión científica por los contornos de Villers-Cotterets, localidad no alejada de París. De vuelta del viaje, Lavoisier escribió su primera memoria de carácter científico. Se trata de un breve ensayo de meteorología en el que se registraban observaciones sobre la aurora boreal. Lavoisier sacaba ahí provecho de las enseñanzas de La Caille mostrando dotes singulares de observador sumamente preciso y escrupuloso. Aun tratándose de poco más que un ejercicio científico, en



Retrato de Nicolas Lemery, el químico francés que gozó de mayor celebridad a comienzos del Setecientos.

ese primer escrito podemos ya admirar el estilo claro y sistemático con que Lavoisier seleccionaba y ordenaba las observaciones según secuencias coherentes y un diseño exacto.

También en 1763 conoció al botánico Bernard de Jussieu, uno de los naturalistas de Europa más célebres. Tuvo la oportunidad de seguirlo en una de sus herborizaciones. Fue probablemente en el curso de esas excursiones cuando Lavoisier aprendió el método de clasificación y denominación de las plantas inventado, en la primera mitad del siglo, por el naturalista sueco Carl von Linné. Jussieu había sido amigo y discípulo del insigne botáni-

co escandinavo y fue el primero en introducir en Francia su método de clasificación. El método de Linneo permitía denominar, según reglas sumamente claras y precisas, un número casi ilimitado de plantas. Los nombres abstrusos y a menudo larguísimos que se utilizaron hasta finales del Setecientos para designar las especies vegetales, los sustituyó Linneo por una nomenclatura binomial, cuyo primer nombre designaba el género de la planta, y el segundo, la especie en cuestión. Gracias a ese recurso lingüístico, Linneo consiguió un doble objetivo: poner orden en el confuso lenguaje botánico y crear un sistema de denominación de fácil aplicación y comprensible para cualquiera que se aprestase al estudio de las plantas. Como veremos enseguida, la influencia de Linneo sobre Lavoisier fue determinante, pues suministró al científico francés los elementos necesarios para una reforma de la nomenclatura química.

Al final de sus estudios, hacia 1764, Lavoisier no había decidido todavía qué carrera seguir. Un amigo de la familia, De Tronq, lo consideraba un matemático; la amistad del padre con Guettard parecía prefigurarle un futuro entre los naturalistas, mientras que en sus primeros apuntes el joven se había entusiasmado con la física experimental. Fue justamente Guettard, en 1763, quien advirtió que el muchacho tenía un gusto natural por todas las ciencias hasta el punto de «quererlas conocer todas antes de concentrarse en una particular». En el curso de los años, Lavoisier no dejó de dedicarse a todas esas disciplinas, aun cuando en el período subsiguiente a su primera formación, la química se convirtió progresivamente en el centro de sus intereses. □



El pirómetro de Musschenbroek fue utilizado por Lavoisier para medir la dilatación de los metales. A la izquierda, notas manuscritas de Lavoisier sobre música.

1764-1770

Tierra y agua

Con una actividad científica ecléctica y multiforme, Lavoisier logra entrar en la prestigiosa Academia de las Ciencias y comienza a criticar el concepto, de origen alquimista, de la transmutación

EL 26 DE JULIO DE 1764, LAVOISIER SE LICENCIÓ POR LA SORBONA, CONVIRTIÉNDOSE A LOS POCOS MESES EN ABOGADO. A DIFERENCIA DE SU PROGENITOR, QUE HABÍA CULTIVADO INTERESES FILOSÓFICOS, ANTOINE LAURENT NO EJERCIÓ NUNCA LA PROFESIÓN; SE VALIÓ DEL TÍTULO SOLO PARA ENTRAR EN LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA. PARA QUIEN QUISIERA ABRIRSE CAMINO EN LAS CIENCIAS, COMO SIEMPRE ESTUVO CLARAMENTE EN LA MENTE DE LAVOISIER, LA ACADEMIA DE LAS CIENCIAS DE PARÍS REPRESENTABA EL PUNTO DE LLEGADA MÁS AMBICIADO Y PRESTIGIOSO. FUNDADA EN 1666 POR VOLUNTAD DE COLBERT, EL CAPAZ MINISTRO DE LUIS XIV, LA INSTITUCIÓN PARISIENSE SEGUÍA LOS PASOS, CON POCOS AÑOS DE DIFERENCIA, DE LA ACADEMIA DEL CIMENTO DE FLORENCIA (1657-1667) Y DE LA ROYAL SOCIETY DE LONDRES, FUNDADA EN 1660.

La organización institucional de la investigación científica fue, por tanto, una adquisición tardía. Había transcurrido casi un siglo desde la revolución astronómica de Copérnico y Galileo cuando nacieron las primeras instituciones destinadas a promover la investigación científica. Con anterioridad a tan importante innovación, los científicos disponían de solo dos posibilidades para desarrollar más o menos tranquilamente sus investigaciones. La primera estaba constituida por la enseñanza universitaria; la segunda, por el patronazgo generoso de príncipes y soberanos. Galileo, por ejemplo, disfrutó de ambas opciones: enseñó en los ateneos de Padua y Pisa, y consiguió el cargo de filósofo de la corte de los Medici en Florencia.

Tal organización de la investigación presenta, no obstante, varias deficiencias. La enseñanza de las ciencias naturales en la universidad estaba regulada por vínculos culturales e ideológicos establecidos por la facultad de teología. Por tanto, resultaba muy difícil enseñar materias distintas de la física aristotélica y de la medicina galénica. Por su parte, la generosidad de los príncipes solía ir vinculada a la volubilidad de sus caprichos; el interés de un soberano podía transformarse en indiferencia absoluta con su sucesor, dejando de ese modo retroceder y decaer las adquisiciones realizadas en el intervalo de una generación. En cambio, las academias no guardaban una relación directa con la universidad y, pese a depender directamente de los soberanos, gracias a la institución de reglamentos y estatutos oficiales podían contar con una amplia autonomía. Por último, fiando el destino de la ciencia en la colaboración de un grupo de científicos más que en talentos individuales, la organización misma de las academias introducía una nueva y fecunda variable en la investigación.

En sus inicios, la Academia de las Ciencias de París financiaba sobre todo investigaciones físicas y astronómicas, poniendo a disposición de los miembros un laboratorio bien pertrechado, la biblioteca y una generosa cuantía de dinero. En las postrimerías del Seiscientos, tras la reforma del estatuto y de la organización interna, la actividad científica de la Academia se repartió entre seis clases, cada una de las cuales quedaba integrada por miembros honorarios (2), pensionados (3), asociados (2) y adjuntos (2). Las clases se distribuían entre ciencias matemáticas (geometría, astronomía y mecánica) y ciencias físicas (química, anatomía y botánica). En su conjunto, los



La biblioteca y el laboratorio de la parisiense Academia de las Ciencias, a finales del Seiscientos.

LE SCIENZE



miembros de la Academia parisiense eran 54; pocos, si pensamos en cuántos, por ejemplo en matemáticas y medicina, cultivaban las ciencias como profesión. Por esa misma razón, el sistema de incorporación debía ser muy selectivo. Toda candidatura había de ser respaldada por un número elevado de miembros; solo la desaparición de un miembro ordinario reunía a la asamblea para votar al candidato más prometedor.

Aun no sabiendo todavía qué disciplina científica se acomodaba mejor a sus dotes, Lavoisier se planteó como objetivo primero entrar en esa prestigiosa institución. La primera ocasión para intentarlo se le presentó en 1764, cuando la Academia publicó las condiciones de un concurso en el que se pedía a los candidatos debatir el «modo más eficaz de alumbrar durante la noche las calles de una ciudad grande, combinando el alumbrado, la facilidad del servicio y su economía». En la segunda mitad del Setecientos, París, lejos de ser la *ville lumière* del siglo XIX, era

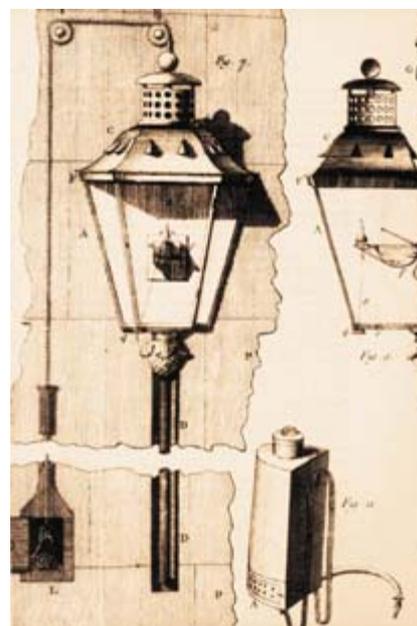
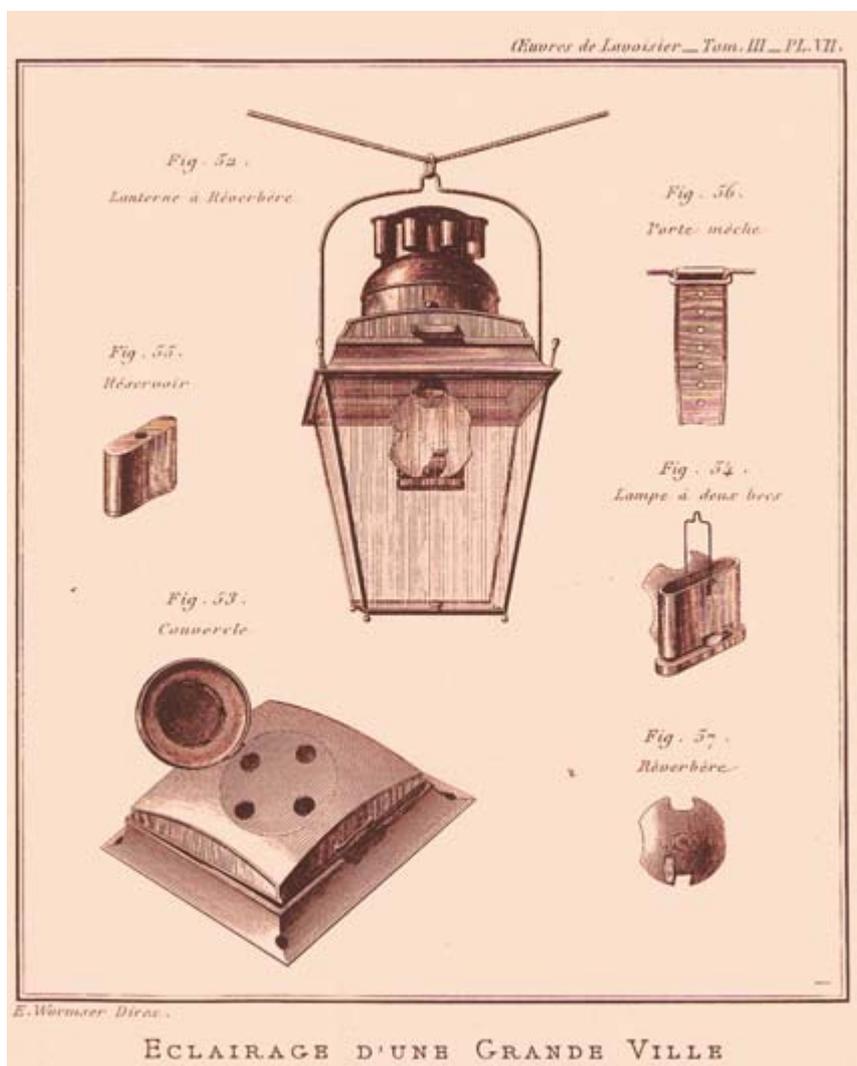
una ciudad de más de 600.000 habitantes provista de un sistema de alumbrado sumamente costoso y deficiente. Ese problema representó un estímulo para la Academia que, si respondía a las exigencias económicas de la principal capital europea, demostraría, de forma contundente, la utilidad práctica de la investigación científica. Los concursos ofrecidos por la Academia de las Ciencias versaban, en no raras ocasiones, sobre cuestiones de carácter práctico y económico; estaban abiertos a la participación de cualquier ciudadano que se sintiera capaz de resolver el problema.

A lo largo de todo el invierno, Lavoisier trabajó tenazmente en el tema del concurso. Registró con minuciosidad los resultados obtenidos y experimentó con la iluminación conseguida mediante diferentes tipos de farolas. Para conferir la mayor objetividad a los resultados, cubrió las paredes de su propia estancia con un velo negro y, antes de emprender los experimentos con farolas, se habituó a la

Reproducción de la tabla de afinidades químicas de Etienne François Geoffroy.

obscuridad para repetir los ensayos en las mismas condiciones de partida. Tras esas investigaciones preliminares, Lavoisier instaló diversas farolas en la calle Du Four, donde vivía, cerca de la iglesia de San Eustaquio, para verificar sobre el terreno eventuales diferencias de luminosidad. El resultado de tales experimentos apareció en una memoria de más de doscientas páginas, en las cuales Lavoisier exhibía su estrecha familiaridad con problemas de óptica geométrica, química, física y matemática.

En conclusión, Lavoisier proponía el uso de un tipo de farol de reverbero, es decir, de espejo; por combustible, aconsejaba el aceite de oliva. Se trataba, en realidad, de resultados sin trabazón en su conjunto, por lo que no ganó el premio. La Academia prefirió otorgárselo a las memorias presentadas por Bailly, Bourgeois y Leroye, que,



Modelos de las farolas de reverbero utilizadas por Lavoisier en 1764, de cara al concurso promovido por la Academia, ese mismo año, sobre un nuevo sistema de alumbrado urbano de París; a la derecha, modelo de farol construido por Isnard en 1766.

de una manera mucho más sintética, habían respondido con mayor concreción y de forma más pertinente a la cuestión. Con todo, el empeño de Lavoisier no pasó inadvertido. A sugerencia del secretario perpetuo de la Academia, De Sartines, el joven científico fue gratificado con una medalla de oro, concedida por el presidente de la Academia el 9 de abril de 1766. Por un artículo aparecido el 19 de agosto de ese año en las páginas de los periódicos más célebres de París, el *Avant-Coureur*, nos enteramos de que la Academia había inaugurado aquel insólito procedimiento para manifestar su claro aprecio por el método aplicado a aquellas investigaciones. Por lo tanto, en esa primera incursión, Lavoisier había logrado, al menos, dar prueba de sus talentos, aun cuando el camino por recorrer para ocupar un sillón en la Academia de las Ciencias era muy largo y no exento de dificultades.

El 27 de febrero de 1765 Lavoisier presentó en la Academia una memoria titulada *Analyse du gypse*, en la que ilustra-

ba las características de un nuevo método de análisis químico aplicado a la identificación de los compuestos del yeso. El tema de la memoria le había sido sugerido por Guettard, quien durante ese período velaba y guiaba sus pasos en las investigaciones que acometía. Resulta significativo que este primer escrito sobre química no se dedicara al examen de alguna sustancia vegetal o animal, sino al examen de la naturaleza y la composición de un mineral. La elección, amén de afortunada, era fruto de un diseño programado con detenimiento. Lavoisier se mostraba consciente de que, frente a un discreto conocimiento de los metales y de sus compuestos principales, los naturalistas continuaban ignorando la composición de las «tierras, de las piedras y de las cristalizaciones». Con un estilo lúcido y sintético, Lavoisier daba cuenta de la serie impresionante de experimentos y operaciones químicas a las que había sometido el yeso. Obtuvo unos resultados sorprendentes. Cuando el yeso sufría un proceso de calcinación, perdía

sus propiedades químicas originales, transformándose en una masa de polvo extremadamente friable. A la inversa, operando una cristalización, el yeso tornaba a su estado de origen.

A Lavoisier le habían sugerido ese procedimiento los metalúrgicos, quienes sabían que, mediante la calcinación de un metal cualquiera, se obtenía una sustancia químicamente distinta (el óxido) y que, mediante oportunas operaciones químicas, esta podía transformarse en metal. La reversibilidad de las operaciones químicas, adoptada por Lavoisier como un principio operativo constante, acarrea consecuencias metodológicas importantes: en primer lugar, quedaba ratificada la imposibilidad de transmutar una sustancia en otra de características químicas esencialmente distintas —esa creencia, típicamente alquimista, había generado en el pasado, incluso reciente, la esperanza de transmutar los metales viles en oro—. La posibilidad de transmutación de la materia estaba admitida por los naturalistas del Setecientos, incluidos quienes rechazaban con energía las vanas pretensiones de los alquimistas. Concentrándose en la reversibilidad de las operaciones químicas, Lavoisier había mostrado, además, que, cuando se procedía a realizar composiciones o descomposiciones, constituía

una buena norma registrar cuantitativamente los datos relacionados con los pesos de la masa y con los pesos específicos de los reactivos.

Es segundo punto, en abierto contraste con la visión cualitativa de Stahl, representaba una aportación de innegable originalidad. Para Lavoisier, no cabía estudiar la naturaleza química de un compuesto determinado (el yeso en este caso) prescindiendo de sus características físicas, como el peso y el peso específico, así como de las condiciones ambientales de la experimentación. No era por azar que en esa primera memoria Lavoisier introdujera el uso de una balanza hidrostática para determinar la naturaleza de las sales, midiendo los diversos pesos específicos. La adopción, en química, de la balanza hidrostática, un instrumento conocido por los físicos desde los tiempos de Arquímedes, constituía una innovación metodológica de gran importancia. La identidad de las sustancias químicas no podía ya establecerse recurriendo al análisis de sus cualidades secundarias y a la autoridad de los sentidos, sino solo a través del examen cuantitativo de su peso específico.

Aplicar los criterios y los métodos de la física a la química era ciertamente un salto hacia la modernización de una ciencia anclada en los límites de una tradición esotérica; mas la transferencia de instrumentos, lenguaje y leyes no podía ser una operación automática. El objeto de la química era, cierto, profundamente distinto del objeto de la física. Todos los intentos que en el Seiscientos se habían empeñado en subordinar su estudio a las leyes del mecanicismo o al lenguaje matemático habían fracasado miserablemente. La obra de Stahl, que, como hemos visto, propugnaba una visión cualitativa de las reacciones, representaba una revancha sobre la ilusión cultivada por los cartesianos de matematizar los fenómenos químicos. Para triunfar allí donde los mecanicistas habían fracasado, resultaba necesario, ante todo, adaptar los instrumentos de la física a las exigencias y a la complejidad de la química, amén de reconocer que era imposible reconducir a pocos principios elementales la compleja diversidad de sustancias que componían la materia.

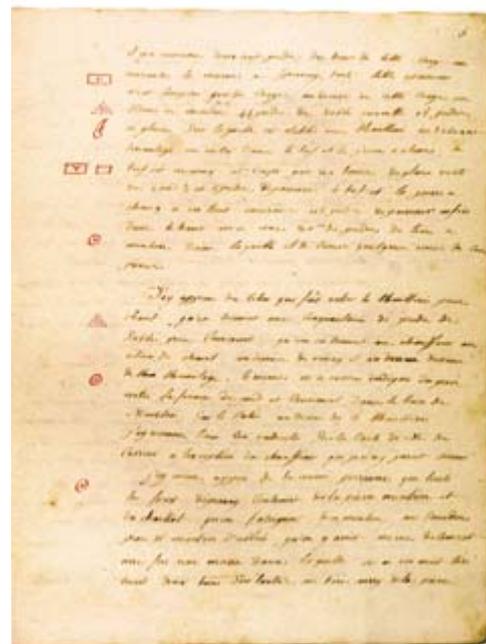
Desde su primera memoria sobre el análisis químico del yeso, Lavoisier pareció reconocer las dificultades de su programa de investigación, hasta el punto de dudar si considerar esa contribución como un escrito pertinente a la química. La memoria sobre el yeso recibió una aco-

gida favorable entre los comisarios de la Academia encargados de ponderar su valor científico. No obstante, no se publicó hasta 1768, en el tercer volumen de las *Mémoires de Mathématique et de Physique*, una de tantas publicaciones periódicas editadas bajo los auspicios de la Academia. No resulta fácil establecer cuánta parte, en la elaboración de la investigación, se debía a la inspiración y guía de Guettard, quien, al ser miembro respetado en el seno de la Academia y naturalista conocido en toda Europa, había publicado solo obras de botánica, dejando inédita una notable producción de escritos geológicos y mineralógicos.

En 1766, Lavoisier decidió ahondar en la química con plena autonomía. Testimonio indirecto de ese creciente interés nos lo ofrece la adquisición de diversas obras químicas de la biblioteca del difunto Jean Hellot, químico y miembro de la Academia de las Ciencias. Entre los libros comprados por Lavoisier encontramos también un oneroso manuscrito latino de casi setecientas páginas dedicado al análisis químico del azufre. Se trataba de una traducción de la obra fundamental de Stahl *Zufällige Gedanken über den Streit von dem sogenannten Sulphure* (Halle, 1718). Puesto que Lavoisier no sabía alemán, hasta entonces solo pudo recabar noticias del contenido del libro de Stahl a través de fuentes indirectas. La lectura del manuscrito le permitió conocer directamente los pormenores de la teoría del flogisto y apreciar de pleno el esfuerzo empeñado por Stahl en la creación de una filosofía de la materia capaz de explicar con un solo principio las reacciones químicas principales. Las limitaciones y contradicciones internas de la teoría del médico alemán no habían aflorado todavía, pero las numerosas anotaciones que Lavoisier dejó en el margen del escrito dan fe de que, para él, la obra de Stahl constituía el punto de partida de quien quisiera reformar el saber químico.

Además de libros de química, Lavoisier adquirió el célebre tratado de Blaise Pascal sobre el equilibrio de los líquidos (*Traité de l'équilibre des liqueurs*, et de la pesanteur de la masse de l'air), quizá porque había experimentado en primera persona la necesidad de valorar correctamente el peso específico de los cuerpos y era ya consciente de la exigencia de trasladar a los ensayos químicos el rigor y la precisión de la física.

Durante 1776, numerosas señales indican que Lavoisier se planteaba objetivos cada vez más claros y que, además, había



Arriba, manuscrito de mineralogía de Lavoisier, del año 1766. Debajo, estuche para termómetros que perteneció a Lavoisier.



alcanzado madurez en su capacidad para conseguirlos. Su primera iniciativa autónoma para asegurarse una plaza de asociado en la Academia lleva fecha del 11 de abril de 1776, cuando, en una carta a Trudaine de Montigny, presidente de la Academia, le proponía instituir una nueva clase disciplinar, la de física experimental, una ciencia que, gracias a las aportaciones de Nollet y Benjamin Franklin, estaba adquiriendo un enorme predicamento. Ese expediente habría permitido aumentar el número de académicos, añadiendo siete sillones más. La carta de Lavoisier era una forma elegante de autopromocionarse para entrar en ese prestigioso cenáculo. Al día siguiente, Lavoisier escribía al secretario perpetuo de la Academia, Jean Paul de Fouchy, precisando ulteriormente la naturaleza de su propuesta.

Según el joven aspirante a académico, la física experimental, una ciencia fundada sobre los experimentos y sobre los hechos más que sobre las especulaciones,



Presunto retrato de un Lavoisier joven, atribuido a J. B. Nattier.

estaba cosechando progresos tan rápidos que merecía ya el rango de ciencia autónoma. De ese modo, Lavoisier rediseñaba la estructura de la Academia a la luz de tales consideraciones, colocando a su maestro de antaño, Nollet, y a otros dos físicos, Mairan y La Condamine, en la nueva clase. Merced a tales desplazamientos, quedaba libre en la clase de química una plaza, que naturalmente Lavoisier se

había tomado la libertad de atribuirse. El proyecto de reforma, presentado de una manera tan singular por un joven de veintidós años, no podía tener grandes perspectivas. No obstante, igual que aconteció con la memoria sobre el alumbrado y con la del yeso, también esta aportación sirvió, en cierta medida, para poner de manifiesto la personalidad y la capacidad organizativa de Lavoisier, cualidad esta última que, como veremos a continuación, se pondría a prueba en más de una ocasión. Mas, para la elección como miembro asociado de la Academia hubo que esperar todavía algún tiempo.

En mayo de 1776, Lavoisier tomaba algunos apuntes sobre la naturaleza de los elementos. Aplicando a los fenómenos químicos los conocimientos adquiridos en el campo de la física, arribó a conclusiones muy originales. En primer lugar, estableció que las moléculas del fuego estaban constituidas por siete caras, a cada una de las cuales le correspondía un color del espectro newtoniano. Esta explicación, tan ingeniosa cuan hipotética, reconducía el origen misterioso de los colores a la estructura molecular de la materia. Lavoisier estableció además, siguiendo la hipótesis de Leonhard Euler, que existía una analogía entre sonidos y colores, cuya causa él identificaba en las emanaciones de la atmósfera. En otra anotación, Lavoisier sostenía, de un modo más restringido, que el aire, contrariamente a cuanto se venía admitiendo desde el tiempo de Aristóteles, no era un elemento simple, sino una sustancia combinada con la materia de fuego, capaz de modificar la naturaleza química de los cuerpos combinándose con ellos. Esta última intuición, sin apoyar todavía en

observaciones empíricas, abría el camino hacia lo que se revelaría como un programa de investigación de crucial importancia. No obstante, las diversas tareas asumidas por Lavoisier en 1766 le impedirían dedicar más tiempo a la verificación experimental de esta teoría original.

En el otoño de 1766, Lavoisier acompañó a Jean Etienne Guettard en un absorbente viaje científico por Brie, proyectado con el fin de recoger datos y observaciones para preparar un atlas minero y geológico de Francia. Guettard, quien había comenzado a trabajar en esa obra monumental varios años antes, esperaba, con la ayuda del nuevo colaborador, culminar los principales capítulos del libro. En la primavera de 1767, Guettard y Lavoisier emprendían un viaje por Alsacia y Lorena que concluiría muchos meses después. Los pertrechos de Lavoisier revelan con nitidez la intención del joven científico de aprovechar todas las observaciones y las experiencias realizadas durante el viaje. Un areómetro de plata, algunas balanzas, tres termómetros, un barómetro y diversos preparados químicos le facilitarían el trabajo. Además de inspeccionar el suelo y resaltar los distintos estratos geológicos de la cordillera de los Vosgos y zonas circundantes, Lavoisier anotaba cotidianamente en su diario las variaciones barométricas y termométricas, y se ejercitaba con el areómetro en el análisis de las aguas minerales de fuentes diversas.

Recopiló puntillosamente los resultados de tales observaciones en diecisiete

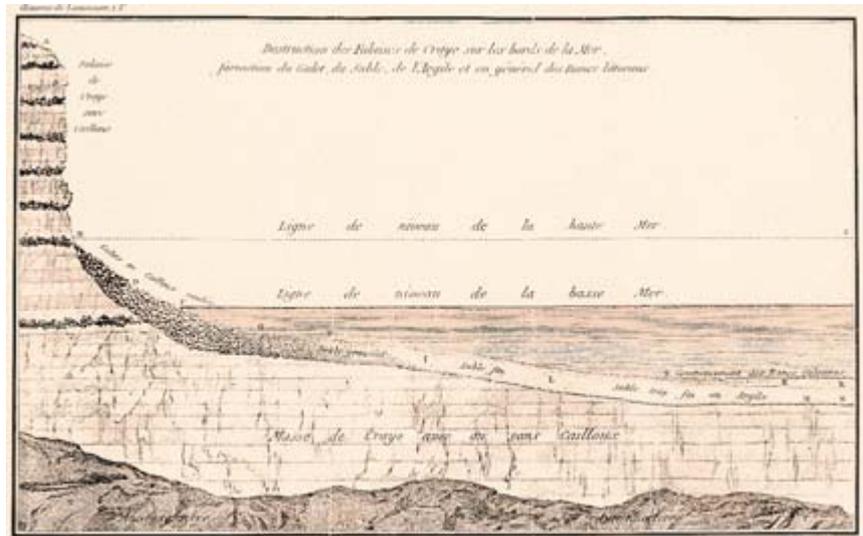
Laboratorio de química de la Real Academia de las Ciencias de París, postrimerías del Seiscientos.



LE SCIENCE



Primer mapa geológico en color, publicado en 1778 por Johann Charpentier en su *Mineralogische Geographie*. Debajo, observaciones geológicas de Lavoisier sobre los estratos de las montañas, realizadas durante su viaje de estudio por los Vosgos en compañía de Guettard.



cuadernos, muchos de los cuales siguen inéditos. En esos apuntes, Lavoisier avanzaba hipótesis originales sobre la formación geológica de los estratos rocosos de las montañas, anotaba las variaciones barométricas de distintas circunscripciones geográficas y daba cuenta de la flora y fauna clasificadas durante las frecuentes excursiones naturalistas. Resulta, pues, harto difícil determinar con exactitud si tales observaciones deben atribuirse a Lavoisier, como parece probable a menudo, o a su maestro Guettard, experto geólogo y mineralólogo. Más allá de las persistentes dudas de atribución de las notas, es cierto que el viaje a los Vosgos representó para Lavoisier un laboratorio, en el cual enriqueció su formación científica de una serie fundamental de nociones.

Amén del estudio del territorio, Lavoisier debía cultivar sus propias lecturas. Se detuvo en Basilea y Estrasburgo para visitar librerías. Compró 115 volúmenes, cuyo valor vendría hoy a ser de unos 15.500 euros. Se trataba de libros de química y

metalurgia, en su mayor parte de autores alemanes poco conocidos en Francia, y que, desde nuestro punto de vista, no parecían justificar semejante coste. Estamos acostumbrados a pensar que la actividad científica se desarrollaría en el pasado de una manera similar, si no idéntica, a lo que la caracteriza hoy. Nos imaginamos al científico concentrado en su trabajo de campo, recogiendo datos para someterlos luego a análisis en el laboratorio o a su interpretación cuantitativa, para, en una etapa posterior, publicar los resultados en artículos o libros. Verdad es que, para aprender a observar y experimentar, no

basta hoy el laboratorio por sí solo, pero la lectura de los libros parece reservada a las fases iniciales y propedéuticas de la carrera científica. En el Setecientos, por el contrario, la situación era casi la inversa. Los científicos desarrollaban su actividad sobre todo a través de los libros. La lectura, más que la observación directa, ofrecía motivos de inspiración fecundos para realizar descubrimientos científicos de enorme relevancia.

Hemos de evitar confundir ese enfoque, aparentemente curioso, con la cultura libresca, objeto de ataque de numerosos científicos desde Galileo; más bien

debe situarse en el contexto de la investigación naturalista del siglo XVIII. Pese a los progresos, cada vez más rápidos y manifiestos, de las ciencias y las técnicas, los naturalistas del Setecientos debían desenvolverse en su trabajo con unos instrumentos insatisfactorios, por decir poco. Pensemos en el caso específico de la química. El laboratorio que observamos descrito en las tablas de la *Encyclopédie* de Diderot y d'Alembert, y que, por aquel tiempo, constituía sin duda la vanguardia, venía a ser una suerte de cocina, dotada de morteros, hornos, alambiques para la

destilación y demás utillaje conocido desde la antigüedad. Con tal instrumental, no obstante las mejores intenciones de ceñirse a las pruebas experimentales, no cabía esperar grandes resultados. Tras haber destilado una planta, haberle extraído las sustancias volátiles y haberla sometido a calcinación, el químico sabía muy poco sobre la naturaleza real y composición de la misma.

A través de la lectura de los libros, sin embargo, era posible confrontar opiniones diversas sobre la estructura de la materia y disponer de un provechoso repertorio de datos experimentales e interpretaciones relativas, cuya riqueza y variedad eran difícilmente reproducibles en un laboratorio del Setecientos. La autoridad científica del texto escrito venía acentuada por la tosquedad de la mayoría de los instrumentos empleados en los laboratorios químicos, y por su falta de precisión, que incrementaba el grado de subjetividad y, por ende, de error de los experimentos. No debe, pues, sorprendernos que el joven Lavoisier concediera tanta importancia a la lectura de los libros de química, aparecidos, en algunos casos, varios siglos antes, y que el viaje naturalista por Alsacia y Lorena le sirviese, además de para explorar nuevos territorios, de ocasión para conocer obras y libros que difícilmente podría hallar en Francia.

En el curso de 1768, los esfuerzos empeñados por Lavoisier para entrar en la Academia de las Ciencias terminaron por dar el resultado esperado. A la muerte del farmacéutico Théodore Baron, Lavoisier fue elegido miembro adjunto el 18 de mayo. Por fin había comenzado su carrera en las instituciones.

Otro episodio importante en su vida profesional fue el encargo de miembro adjunto de la Ferme nacional. La Ferme

era el antiguo sistema de recaudación de impuestos indirectos basado en el arrendamiento, que el Estado concedía a un número más o menos importante de arrendatarios. Gracias a unos porcentajes sustanciosos sobre los impuestos, el cargo de recaudador general garantizaba en pocos años la acumulación de una inmensa fortuna pecuniaria. Los recaudadores tenían la misión de cobrar, en nombre del rey y del Estado francés, tasas sumamente pingües como el diezmo, la gabela y otros impuestos indirectos heredados del sistema feudal. Por esa razón también, obtener una plaza en la Ferme constituía una empresa extremadamente difícil; normalmente, esos puestos constituían un privilegio exclusivo de la aristocracia.

Resultó, pues, un éxito notable por parte del burgués Lavoisier entrar a formar parte de una institución que le garantizaba ganancias tan sustanciosas. Esas ventajas indudables compensaban solo en parte la enorme impopularidad de la Ferme. Ya en 1758, el economista Mirabeau había definido esa institución como una «oligarquía sorda, aterradora y sedienta de sangre». Voltaire y Diderot consideraban «antropófagos» a los recaudadores, denunciando en múltiples ocasiones su corrupción y los abusos perpetrados contra los sectores más débiles e indefensos de la población. En efecto, los impuestos indirectos recaudados por los funcionarios golpeaban con particular dureza a pequeños terratenientes y agricultores, dejando intactos los grandes capitales y las grandes fortunas inmobiliarias en manos de la aristocracia.

La posición inicial de Lavoisier era la de un simple administrador, cuyas responsabilidades se ceñían a la organización interna de la contabilidad de la Ferme. Este cargo, no especialmente absor-



Frontispicio de la obra *De re metallica* (1556) de Georgius Agricola, adquirido por Lavoisier en 1767; porta su ex libris. Debajo, acuarela pintada por Lavoisier durante su viaje mineralógico de 1767 por los Vosgos; en primer plano aparecen Guettard, el propio Lavoisier y el fámulo Joseph.



BIBLIOTECA KROCH-UNIVERSIDAD DE CORNELL



Retrato de Etienne François Geoffroy, farmacéutico que en 1718 había publicado una tabla de afinidades entre diversas sustancias.

bente, le permitía dedicar la mayor parte del tiempo a las ciencias naturales. En marzo de 1768, Lavoisier leía ante la Academia una memoria sobre medios para medir exactamente los pesos específicos de los cuerpos. En esta ocasión presentaba un nuevo areómetro particularmente sensible en la señalización de diferencias ponderales sumamente pequeñas y basa-

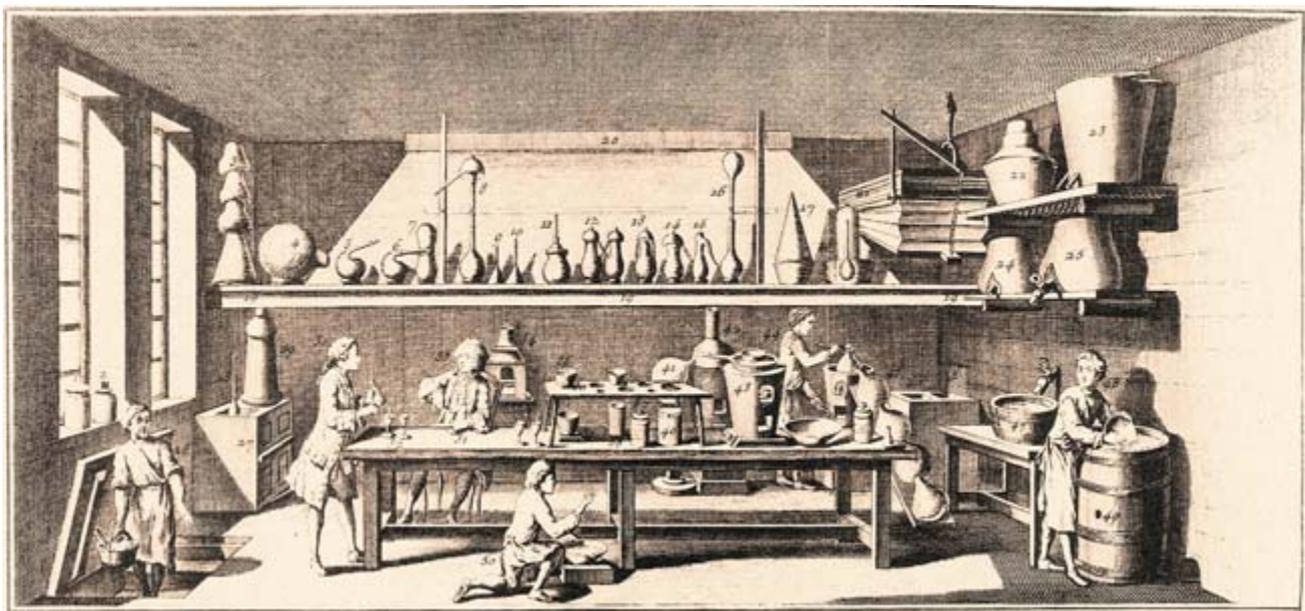
Así aparecía un laboratorio de química del Setecientos. Abajo, tabla extraída de la *Encyclopédie* de Diderot y D'Alembert. A la derecha, representación de un laboratorio privado en 1760.

do en una división decimal de la escala. Era la primera vez que se introducía la escala decimal en la medición de los pesos, primer paso de la reforma de los pesos y las medidas de la que Lavoisier habría de ser uno de los principales inspiradores.

La adaptación de un instrumento har-to común en física al estudio de las combinaciones químicas no presentaba particulares dificultades, al menos desde el punto de vista técnico. Los obstáculos mayores procedían, en realidad, de la renuencia de los químicos a utilizar instrumentos y métodos cuantitativos en el análisis de los cuerpos. El examen de los pesos específicos de las sustancias constituía un procedimiento que, según Lavoisier, estaba mucho menos desarrollado en química que en física, hasta el extremo de que apenas se disponía de los primeros rudimentos. En verdad, el uso sistemático de tal método permitiría a los químicos esclarecer los principales mecanismos que presidían la combinación de las diferentes sustancias.

La causa de las reacciones químicas había sido, durante siglos, objeto de las interpretaciones más curiosas y extravagantes. Tras disputas interminables, los químicos de la primera mitad del Setecientos habían establecido que una determinada sustancia tenía una propensión dada a combinarse con otra en razón de una fuerza llamada «afinidad química»,

que favorecía la reacción y la reunión subsiguiente en un compuesto. La teoría de las afinidades químicas había sido desarrollada por el farmacéutico francés Etienne François Geoffroy, quien, en 1778, había publicado en las Memorias de la



Academia de las Ciencias de París un cuadro de las atracciones entre diversas sustancias. Para elaborar la tabla, Geoffroy se había inspirado en el intento de Newton de extender el dominio de su ley de atracción universal al mundo sublunar. Siguiendo las indicaciones del científico inglés, Geoffroy se había propuesto establecer la ley que regulaba la agregación de partículas de sustancias diferentes. Ese empeño, que ejerció una enorme influencia a lo largo del Setecientos, explicaba las reacciones con una teoría muy especiosa. Al sostener que dos sustancias distintas entre sí tendían a combinarse porque subsistía afinidad química, sin especificar ulteriormente el significado científico y experimental que debía atribuirse al término *afinidad*, no se hacía otra cosa que explicar la causa con el efecto. La explicación de Geoffroy, por tanto, no divergía en lo esencial de las explicaciones que en el Renacimiento recurrían a conceptos esotéricos, como el de simpatía o analogía, para dar razón de la combinación de los cuerpos.

Para Lavoisier, educado desde su infancia en el examen racional de los fenómenos naturales, no era posible aceptar el uso de términos ambiguos, así el de *afinidad*, porque la química no podía emplear «nombres vanos de relaciones, analogías, frotamientos, etcétera, que no presentaban ninguna idea y tenían el único efecto de habituar la mente a contentarse con los nombres». La causa de las reacciones químicas se identificaba recurriendo a métodos y conceptos inmediatamente comprensibles y transparentes. La aplicación del estudio de los pesos específicos de los cuerpos parecía responder a tales exigencias. «Si le es posible al espíritu humano penetrar en esos misterios, lo será solo a través de las investigaciones sobre el peso específico de los fluidos que podemos esperar conseguir. La cantidad de materia salina real contenida en dos fluidos que se quiere combinar conjuntamente, su peso específico comparado con el del compuesto en el que se reúnen y, por fin, el resultado de tales experiencias repetido con otro compuesto distinto, podrán formar un conjunto de datos capaz de conducir a la solución del problema» de la combinación química.

The image shows two handwritten tables of chemical affinities. The top table, titled 'Simple affinités attractives', is a grid with various chemical symbols and signs (+, -, etc.) indicating the nature of the reactions between different substances. The bottom table is a similar grid, more organized, showing the results of experiments on the affinities of various substances.

Arriba, afinidades entre las sustancias, según el químico sueco Torbern Bergman, contemporáneo de Lavoisier. Abajo, tabla de afinidades químicas de Geoffroy (1718).

The image shows a printed table titled 'TABLE DES DIFFERENTS RAPPORTS' with a subtitle 'Affinités entre différentes substances'. It is a grid with various chemical symbols and signs (+, -, etc.) indicating the nature of the reactions between different substances. Below the table is a legend explaining the symbols used.

Merced a ese método, Lavoisier se proponía entender con nuevos ensayos si el aire que se liberaba durante una reacción entre un álcali y un ácido era fijo, es decir, parte integrante de los fluidos que formaban la atmósfera, o bien artificial. A los pocos ensayos, Lavoisier se declaraba ya confiado en haber encontrado un método profundamente innovador que habría de revolucionar por completo el modo tradicional de hacer química. Una confianza que todavía no podía ser compartida por quienes, en el seno de la Academia, fiaban el juicio sobre las hipótesis

en la respuesta inequívoca de los experimentos. Consciente de tal exigencia, Lavoisier decidió no publicar esa memoria y extender a otros objetos el mismo enfoque.

En 1768 también, estimulado por el debate desatado por el descubrimiento desconcertante de la regeneración de las partes de algunos animales, Lavoisier se aprestó a realizar una serie de experimentos biológicos. Ese interés vino motivado por la publicación, en 1768, del *Prodromo di un'opera da imprimeresi sopra la riproduzioni animali*, una «cajita llena de prodigios», en la que su artífice Lazzaro Spallanzani, naturalista de la Emilia, había demostrado el fenómeno curiosísimo de la regeneración de la cabeza de las babosas. Se encendió un debate filosófico sobre las consecuencias teológicas y metafísicas de este experimento. Si la materia orgánica podía regenerarse sin morir, todas las especulaciones metafísicas sobre la indisolubilidad del alma y el cuerpo parecían quedar contradichas por una verificación científica que abría de par en par las puertas al materialismo. No cabe sorprenderse, pues, de que los experimentos de Spallanzani se repitieran en toda Europa con éxito dispar. El terror de que la materia orgánica pudiese efectivamente organizarse y regenerarse, desafiando la autoridad de creencias milenarias, provocó la aparición, al menos en un primer momento, de una plataforma de resistencia y escepticismo ante los resultados obtenidos por el naturalista italiano.

Fue el filósofo más célebre del Setecientos, Voltaire, quien escribiera la relación más vivaz del acontecimiento: «Que a un animal bastante grande, vivo y perfectamente clasificado, le reemerja la cabeza, es un prodigio inaudito, aunque incontestable. Se trata de un caso en el que no cabe hacer suposiciones, emplear microscopios o temer errores. La razón humana y, sobre todo, la razón escolástica, quedan confundidas ante lo que nos muestran los ojos. Se piensa que la cabeza constituye en todos los seres vivos el principio, la causa de los movimientos, de las sensaciones, de las percepciones; aquí es todo lo contrario. ¿Dónde situaremos, a partir de ahora, el principio vital de los seres animados? Nos veremos obligados a re-

Cartera en marroquinería decorada que Lavoisier utilizó en su trabajo de recaudador general.

tornar a la armonía de los griegos? ¿Y diez mil volúmenes de metafísica escritos en vano? Si al menos la regeneración de estas cabezas pudiera inducir a ciertos hombres a dudar, las babosas habrían rendido ya un gran servicio al género humano».

Muchos, en efecto, dudaron, pero también los más fieles a la ortodoxia católica comenzaron a realizar experimentos con babosas. Como diría uno de los protagonistas de la controversia, Scheffer, fue un «período duro para los moluscos». En las propias páginas introductorias de las Actas de la Academia de las Ciencias parisienne (año 1770) se observaba que «este nuevo milagro de la historia natural ha costado la vida a una enorme cantidad de babosas». Lavoisier, columbrando que la controversia le ofrecía una oportunidad óptima para darse a conocer, repitió los experimentos de Spallanzani. Mediante la sección y decapitación del cuerpo de varias babosas, llegó a los mismos resultados que el naturalista italiano. Pese a no ser naturalista y tener escasa experiencia en las disecciones anatómicas, fue uno de los primeros en Europa que confirmó las observaciones de Spallanzani. El científico francés publicó de forma anónima una breve reseña de sus propias experiencias el 19 de septiembre de 1768 en las páginas del *Avant-Coureur*, el periódico parisien se que unos años antes había dado pública noticia de la primera obra de Lavoisier sobre el alumbrado de las calles.

Tras esa fugaz incursión en el ámbito de la biología, Lavoisier volvió a ocuparse de química y física. No es difícil comprender los motivos que le indujeron a abandonar ese campo de investigaciones tan fecundo. Como hemos visto, los debates que giraban en torno a la generación espontánea de partes de los animales suscitaban un interés filosófico y teológico mayor que un interés genuinamente científico y experimental. La controversia que surgió a raíz del descubrimiento de Spallanzani involucró a todos los ámbitos de la cultura francesa, del literario al metafísico, dejando a menudo en sombra el contexto disciplinar que la había generado. En contraste con la vaguedad de ese enfoque frente a los resultados experimentales, Lavoisier había manifestado en más de una ocasión la exigencia de circunscribir, de una manera precisa, el ra-

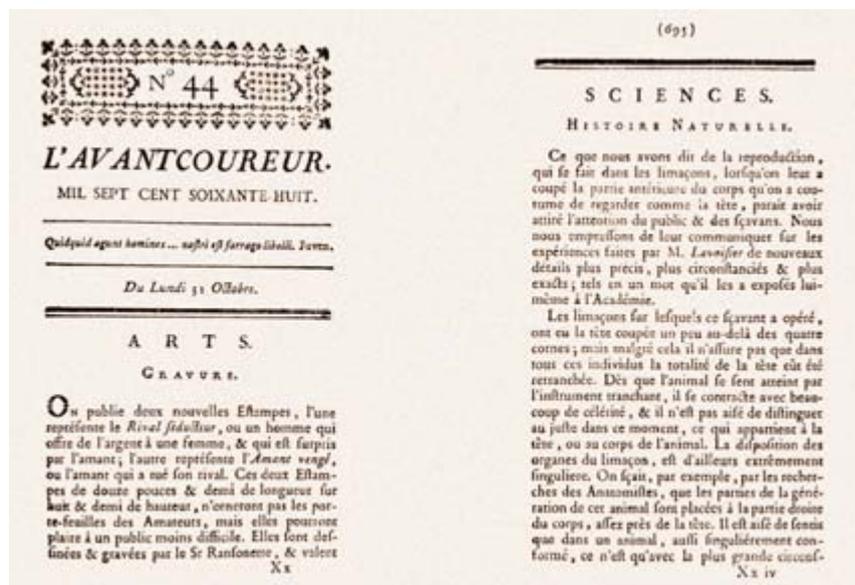


dio de acción de las diversas disciplinas científicas. Su propuesta de instituir una nueva clase de física experimental en la Academia de las Ciencias apuntaba en la dirección de una progresiva especialización de cada ciencia. La biología, o con mayor propiedad la historia natural, parecía, sin embargo, alejarse de esa evolución; los experimentos realizados sobre las babosas constituían su demostración más clara. Clérigos, teólogos, filósofos, damas de la aristocracia, burgueses y otros representantes de las profesiones más dis-

pares habían participado en el debate sobre la generación como si su opinión tuviera la misma dignidad que la emitida por los naturalistas. El propio Spallanzani, conviene recordarlo, había optado por la carrera eclesiástica, desempeñando el sacerdocio, y no desdeñaba deleitarse con temas literarios.

La historia natural se presentaba, pues, ante los ojos de Lavoisier como una disciplina en la que convergían los intereses y la curiosidad de la cultura de la Ilustración más que como una ciencia es-

El artículo de 1768 en el que Lavoisier describía sus experimentos sobre la regeneración de las babosas, confirmando, entre los primeros de Europa, observaciones precedentes de Lazzaro Spallanzani.



pecializada y moderna. Resultaba cierto que la química se encontraba en una situación de atraso más preocupante que la de la historia natural, pero quizá por ello mismo las potencialidades de una nueva fundación de la misma parecían más atrayentes. Por lo demás, Lavoisier acababa de ser elegido en la clase de química de la Academia y era en dicho ámbito disciplinar donde debía concentrar su atención. En los años subsiguientes abandonaría de una forma casi definitiva el estudio de la historia natural.

En el verano de 1769, movido por la urgencia de encontrar una solución técnica y económicamente eficaz para la es-

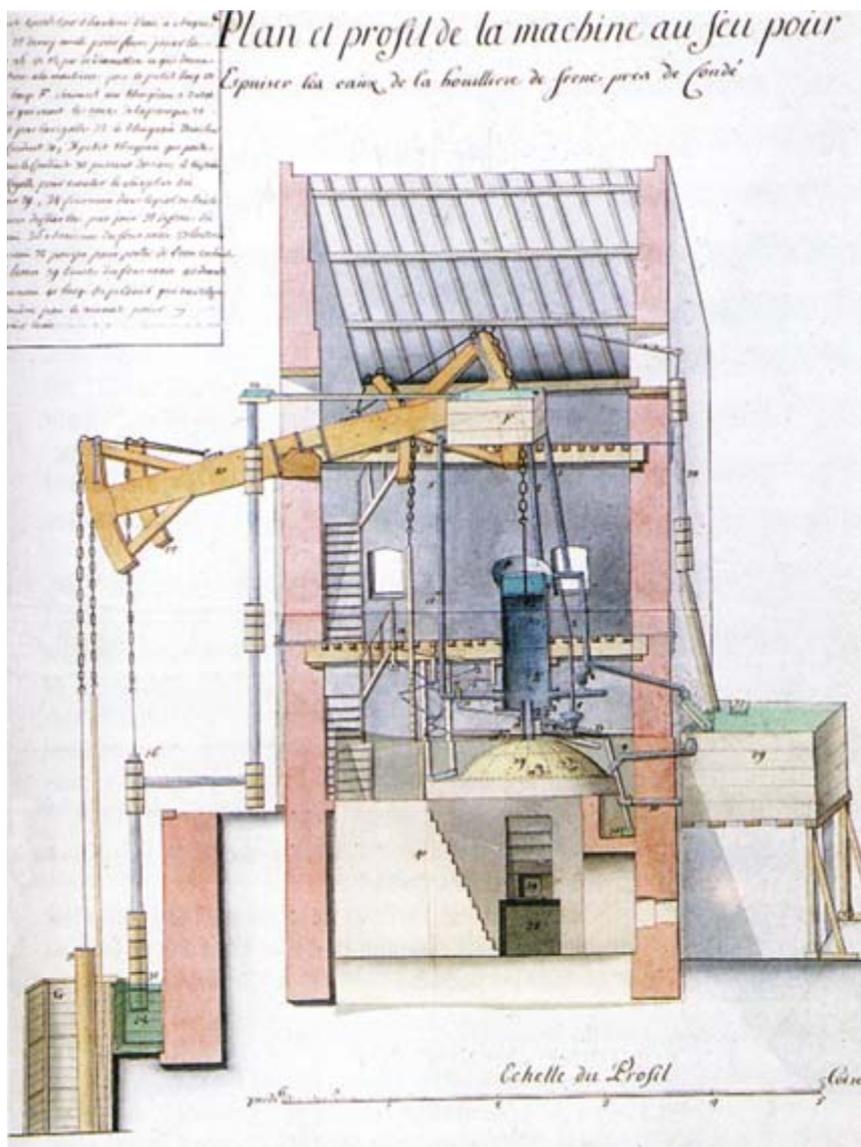
casez de agua potable de París, Lavoisier apoyó el proyecto elaborado por el ingeniero Antoine Deparcieux (1703-1768), que preveía un sistema de canales para traer agua del río Yvette a los acueductos de la capital. Con un análisis químico minucioso de las aguas de diferentes ríos y canales, Lavoisier demostró, utilizando el areómetro de su invención, que el agua del Yvette era, desde el punto de vista de la potabilidad, de calidad superior. Casi contemporáneamente, Lavoisier remitió a De Fouchy, secretario permanente de la Academia, un largo memorándum en el que declaraba la imposibilidad de transmutar agua en tierra.

El concepto de transmutación, de origen alquimista, continuaba formando parte de la filosofía química del Setecientos. Nadie, ni siquiera Stahl, dudaba seriamente de la posibilidad de transformar una sustancia en otra de una naturaleza química completamente distinta. Verdad es que la ilusión de transmutar en oro los metales viles había quedado finalmente arrinconada, pero la operación química de la transmutación se suponía todavía técnicamente factible. Por lo demás, eran numerosas las observaciones de la vida diaria que parecían confirmar dicha posibilidad; la primera de todas, la presunta obviedad de la transformación del agua en tierra. Ya el médico holandés Joan Baptiste Van Helmont (1577-1644) había intentado demostrar por vía experimental que el crecimiento de las plantas se debía en exclusividad al agua, que se transformaba en tierra. Otros científicos reputados, como Robert Boyle (1627-1691), Charles Bonnet (1720-1793) y Johann Gottschalk Wallerius (1709-1785) habían arribado a idéntica conclusión: una planta crecía en proporción casi igual a la cantidad de agua vertida en la maceta.

Esa observación, en parte compartida por Lavoisier, conducía a la conclusión siguiente: el crecimiento de las plantas se debía a la transmutación directa de agua en tierra. La memoria presentada por Lavoisier en 1770 se proponía demostrar, a través de ensayos cuantitativos sumamente elaborados, que semejante creencia carecía de fundamento. Para Lavoisier, el crecimiento de las plantas se debía a la combinación del agua con otras sustancias nutrientes, no siendo el aire la última, cuya transformación permitía el desarrollo vegetal. «Que dos moléculas —escribía— de sustancias dispares se reúnan conjuntamente, que resulte un cuerpo distinto del que era cada una por separado, no existe en ello nada que la física no



Encuadernación original de la *Mémoire sur l'eau* de Lavoisier, de 1770. Debajo, máquina utilizada en el Setecientos para la traída de agua del Sena.



admira y que no encaje con las experiencias conocidas. Cuando se combina ácido vitriólico con aceite de tártaro, resulta una masa concreta de tártaro vitriólico, aun cuando las dos sustancias que entraron en la combinación de partida fueran dos fluidos; *pero que una masa de agua pueda, sin adición, sin pérdida de sustancia, cambiarse en una masa de tierra, eso repugna a cualquier idea acertada*» [cursivas del autor].

Así pues, Lavoisier, amén de poner en cuestión la opinión experimental de la transformación de agua en tierra, sostenía que era un verdadero absurdo reducir la compleja dinámica de la combinación química a una explicación tan irracional. Como queda patente en el pasaje mencionado, el cambio de estado de un cuerpo debía resultar necesariamente de una combinación de dos sustancias diversas, por lo menos. Una vez adoptada esta visión de la combinación química, el concepto de transmutación resultaba inaceptable y era menester transformar radicalmente la interpretación tradicional de las reacciones químicas. Una de las consecuencias principales de la memoria sobre el agua fue la aparición de una filosofía de la materia que vinculaba las principales reacciones químicas a rígidos criterios de valoración cuantitativa y ponderal. La balanza, sea la hidrostática o la tradicional, debía regular la actividad del químico moderno allí donde, en el pasado, la percepción y los datos inmediatos de los sentidos habían constituido las únicas autoridades en las que se fiaba la interpretación de los fenómenos.

El valor innovador de la memoria de Lavoisier recibió de inmediato el aprecio de físicos y matemáticos, para quienes la cuantificación de los fenómenos naturales se había convertido, desde Galileo, en norma metodológica por excelencia. En cambio, los químicos barruntaban en la exposición de Lavoisier una peligrosa inversión del rumbo que podría reducir la química a un estado ancilar y subordinado de la física. Ese tránsito, le recordaban a Lavoisier algunos colegas de la Academia, había sido ya intentado un siglo antes por los seguidores de Descartes, con el resultado nada risueño de llevar la química a un callejón sin salida. Por el contrario, el enfoque cualitativo



Retrato de Marie Anne Pierrette Paulze, esposa y colaboradora de Lavoisier.

de Stahl y sus discípulos habría reivindicado para la química su autonomía metodológica y epistemológica, permitiéndole avanzar como nunca lo había hecho hasta entonces.

Ese tipo de objeciones, que acompañarán a Lavoisier a lo largo de toda su carrera, no era tan falaz como parecería a primera vista. Hemos de abstenernos de valorar la historia retrospectivamente, enjuiciando a los protagonistas solo desde la óptica de los vencedores. Los seguidores de Stahl tenían razones poderosas para dudar de que fuera posible introducir el rigor de la matemática en las observaciones de los fenómenos químicos. La naturaleza microscópica de las moléculas y los átomos, la influencia de agentes externos o «instrumentos», como se denominaban el aire, el agua y el fuego, así como la variedad, poco conocida todavía, de las sustancias y de los compuestos existentes, no dejaban muchas esperanzas a quien quisiera reconducir la compleja estructura de la materia dentro de las leyes rígidas y abstractas de la matemática. Cuantos, con anterioridad a Lavoisier, habían intentado calcular matemáticamente la afinidad de dos sustancias se habían visto obligados a adoptar números con-

vencionales, llegando a resultados asimismo convencionales.

Para convencer a los químicos de que abrazaran la causa de la cuantificación y de la matematización de los fenómenos no bastaba con demostrar que el concepto cualitativo de transmutación carecía de soporte experimental. Era necesario presentar también una nueva red de conceptos que permitiese interpretar los fenómenos químicos con no menos eficacia que la tradicional. En suma, se esperaba que se elaborase, a la postre, una teoría química que supusiera una opción alternativa completa a la propuesta por Stahl en la primera mitad del siglo. Mientras tanto, la prudencia aconsejaba adaptar los resultados y las correcciones aportadas por Lavoisier a la vieja teoría del flogisto.

En 1771, el químico francés continuó ocupándose del análisis químico de las aguas minerales, pero otras responsabilidades, no siendo las últimas las ligadas a su tarea de recaudador, le absorbieron en otros frentes. El 16 de diciembre, tras un breve noviazgo, Lavoisier se casó con Marie Anne Pierrette Paulze (1758-1836), hija del recaudador general y director de la Compañía de Indias Jacques Paulze, un reformador ilustrado que había colaborado en la redacción de la obra anticolonialista *Histoire philosophique du commerce entre le deux Indes* del abate Raynal y Diderot. Lavoisier tenía veintiocho años; menos de la mitad, su mujer. Se trataba, por lo menos en el comienzo, de un matrimonio de conveniencia. Constituía una práctica bastante común que los recaudadores generales casaran a las hijas con miembros de la Ferme o del mundo de las finanzas. Lavoisier, pese a su edad relativamente joven, era ya bastante rico, pues disponía de una herencia pingüe de la madre, fallecida cuando Antoine tenía solo 15 años, y de un fondo que le brindó el padre para que adquiriese una posición de relieve en la Ferme. En el Antiguo Régimen, los puestos más ambicionados y mejor remunerados de la administración pública eran objeto de compraventa. Mas, aun cuando el matrimonio parecía responder a cuestiones de orden financiero e interés, el vínculo entre la jovencísima hija de Paulze se transformó muy pronto en una relación afectuosa de pareja y, como veremos, de fecunda colaboración científica. □

1772-1773

La revolución está en el aire

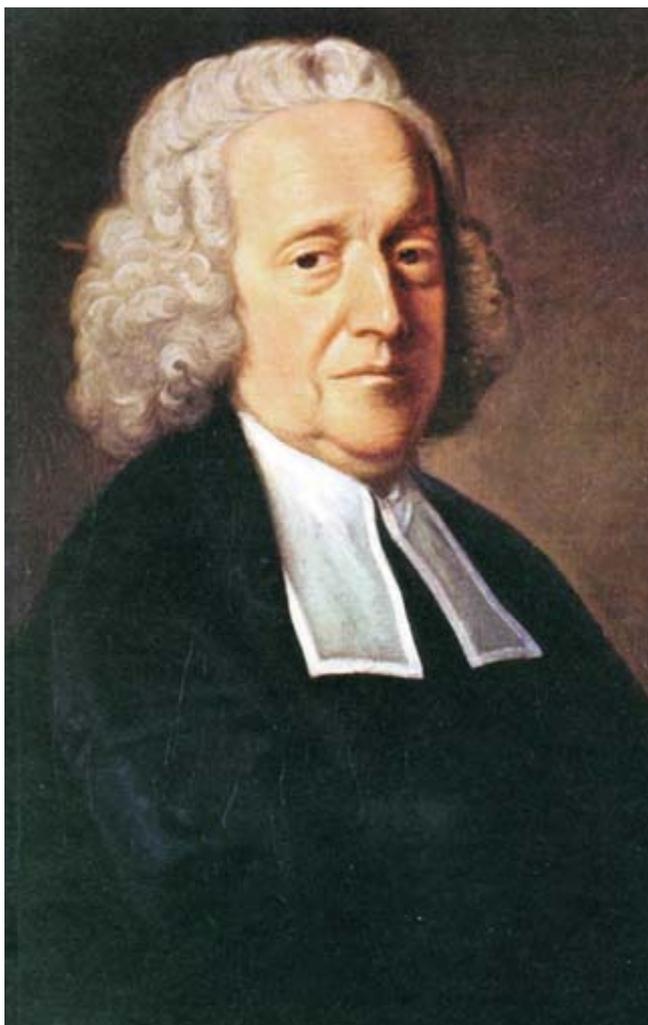
Inspirado por los descubrimientos de diversos científicos sobre la naturaleza de los gases, Lavoisier comprende que es necesario reformar el cuadro teórico tradicional, en una empresa cuyas proporciones se anuncian revolucionarias

LA FILOSOFÍA DE LA MATERIA DEFENDIDA POR LOS QUÍMICOS DE LA PRIMERA mitad del Setecientos se basaba esencialmente en la teoría de los cuatro elementos de Aristóteles y de los tres principios de Paracelso. Agua, aire, tierra y fuego, con el añadido de mercurio, sal y azufre, daban cuenta de la diversidad de compuestos, sustancias, metales, minerales y otras formas de agregación química. Semejante impostación general justificaba la típica actitud del químico, que reducía cualquier reacción, incluso la más compleja, a un número pequeño de elementos, o principios, originarios. Ese planteamiento de fondo se hallaba, además, justificado por la percepción inmediata de los sentidos, desde el instante en que todo el mundo alrededor parecía ser fruto de las combinaciones de unos cuantos elementos primitivos.

Si tales eran las premisas generales recogidas en la inmensa mayoría de los libros de química de la primera mitad de la centuria, los procedimientos experimentales que se seguían parecían atenuar bastante el optimismo. La materia manipulada en los laboratorios no solía responder a los criterios de simplicidad y uniformidad que los químicos intentaban imponerles en las introducciones de sus obras. Al contrario, el análisis químico de los compuestos tornaba manifiesta, aunque inaceptable, la complejidad de la materia y el número elevado de sus elementos. Tales contradicciones entre los resultados de laboratorio y las premisas filosóficas que habrían debido explicar la naturaleza se resolvían adoptando un enfoque cualitativo de los fenómenos químicos o recurriendo a cualidades ocultas.

La fragilidad del sistema teórico de la química del Setecientos se mostraba con creciente nitidez a medida que iban progresando las técnicas experimentales y afloraban observaciones difícilmente comprensibles si se encuadraban en los sistemas teóricos tradicionales. Entre estas últimas se significó pronto el descubrimiento del médico inglés Stephen Hales (1677-1761) de que el aire, fijándose en los vegetales, entraba en combinación con ellos y modificaba la naturaleza química de las plantas. Tal observación, publicada en 1727 en un obra titulada *Vegetable Staticks*, aunque despertó el interés de los eruditos por su curiosidad, no tuvo resonancia alguna entre los químicos. La doctrina que establecía la pasividad —además de la simplicidad— del aire era un dogma demasiado consolidado y respetado para que con una observación curiosa, realizada por un médico, pudiera ponerse en cuestión. Por lo





Tres de los estudiosos que, a lo largo del Setecientos, pusieron en crisis, con sus investigaciones, el sistema teórico de la química tradicional: Henry Cavendish (*página precedente*), descubridor del hidrógeno; Stephen Hales (*izquierda*), que observó que el aire no constituía un elemento simple y pasivo; y Joseph Black (*derecha*), a quien debemos el descubrimiento del dióxido de carbono.

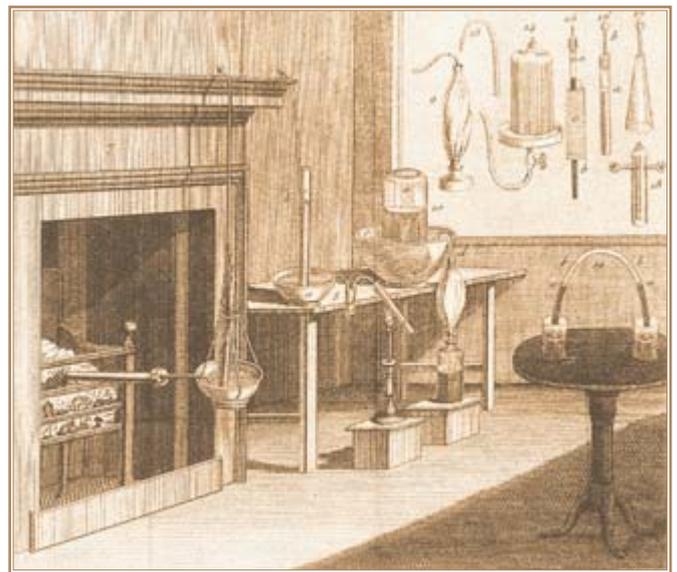
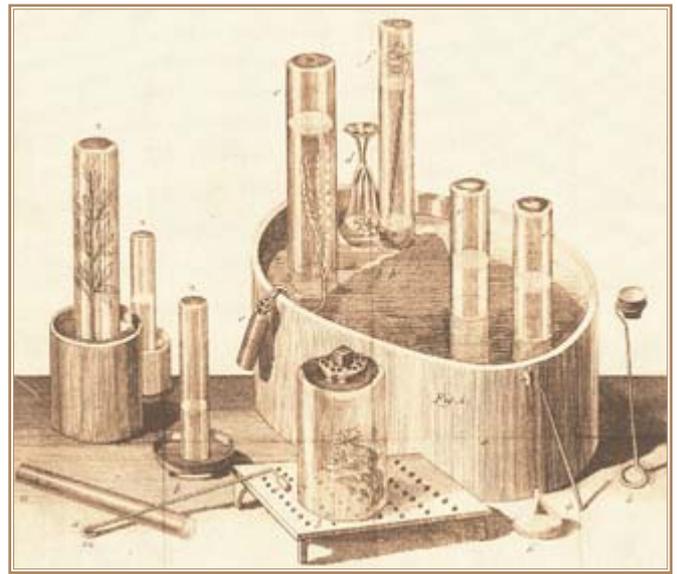
demás, ni siquiera el propio Hales se percató de que su hallazgo abría nuevos e inexplorados horizontes de la fisiología vegetal y, por consiguiente, tampoco profundizó en el tema. No cabe sorprenderse, pues, de que, entre 1727 y 1750, la inmensa mayoría de los químicos siguiera considerando el aire un elemento simple, cuya función durante las reacciones químicas era prácticamente nula o irrelevante en cualquier caso.

En 1752, otro médico, el escocés Joseph Black (1712-1799), inauguraba un intenso programa de investigaciones farmacológicas para establecer si una sustancia denominada *magnesia alba* (carbonato de magnesio) podía revelarse eficaz para remediar la acidez de estómago y curar además el cálculo urinario. El resultado de esas investigaciones se publicó en 1754 en su tesis doctoral titulada *Dissertatio medica de humore acido a ci-*

bis orto et magnesia alba, seguida un año después de los *Experiments upon magnesia alba*. En estas dos obras, Black daba cuenta de algunos experimentos durante los cuales, destilando tres onzas de magnesia en una retorta dotada de recipiente y sometiendo el residuo de la reacción a eferescencia, verificó que la materia volátil que se liberaba durante la reacción era «en su mayor parte aire». Tal observación, en sí misma en los límites de lo increíble, venía seguida del descubrimiento de Black de que el aire que se liberaba no era el tipo común de la atmósfera, sino una especie particular del mismo, dotada de la capacidad de fijarse en los cuerpos y entrar en su combinación química. En razón de esa naturaleza particular, Black designaba al nuevo aire con el nombre de aire fijo (*fixed air*). Es decir, dióxido de carbono (CO₂).

El descubrimiento de que el aire atmosférico no solo no era un elemento químicamente pasivo, sino que, además, estaba compuesto por más de un gas, trastocaba los presupuestos de la filosofía antigua de la materia, minando uno de sus fundamentos más sólidos. Pero Black era médico de profesión y, como hemos visto, con su obra solo se proponía hallar un remedio eficaz contra los cálculos biliares. Pese a su carácter curioso y quedar sorprendido por su propio descubrimiento, no le atribuyó, al menos en su fase inicial, ningún significado revolucionario. Ajeno a las especulaciones filosóficas de los químicos sobre la constitución última de la materia, en los años inmediatamente siguientes al descubrimiento continuó ocupándose de cuestiones atinentes a la farmacología.

Pese al planteamiento prudente y distante de su artífice, el descubrimiento de



Joseph Priestley, caricaturizado a la izquierda como «Doctor Flogisto», aportó una contribución fundamental a los estudios sobre la naturaleza de los gases. La ilustración superior, con algunos instrumentos utilizados por Priestley, está sacada de sus *Observations on different kinds of air* (1772); debajo, el laboratorio privado de Priestley.

un nuevo gas no podía pasar inadvertido durante mucho tiempo. En un arco de dos decenios, muchos naturalistas se centraron en experimentos diseñados para ilustrar ese nuevo campo de inquisición científica. Importa resaltar que en ese intervalo temporal las investigaciones sobre los gases corrían a cargo de médicos o físicos; hasta Lavosier, ningún químico concedió importancia al descubrimiento de Black. En los célebres cursos de química que Rouelle impartió en París entre 1755 y 1767, el aire continuaba siendo considerado un elemento simple, químicamente pasivo, lo mismo que había mantenido la máxima autoridad de la química del Setecientos, Georg Ernst Stahl. El influjo hegemónico ejercido por

la teoría del flogisto no permitía, en efecto, intuir las potencialidades teóricas ínsitas en el descubrimiento de un nuevo gas, cuyo valor revolucionario podía ser fácilmente neutralizado mediante la identificación del dióxido de carbono con cualquier vapor atmosférico, es decir, una combinación de aire y otras sustancias térreas o acuosas.

Todavía en 1766, los seguidores de la vieja teoría debieron habérselas con un descubrimiento extraordinario. El físico inglés Henry Cavendish (1731-1810), al combinar la acción de los ácidos vitriólico y clorhídrico con los metales, observaba la liberación de un gas sumamente inflamable cuyas características diferían por completo de las propiedades del aire

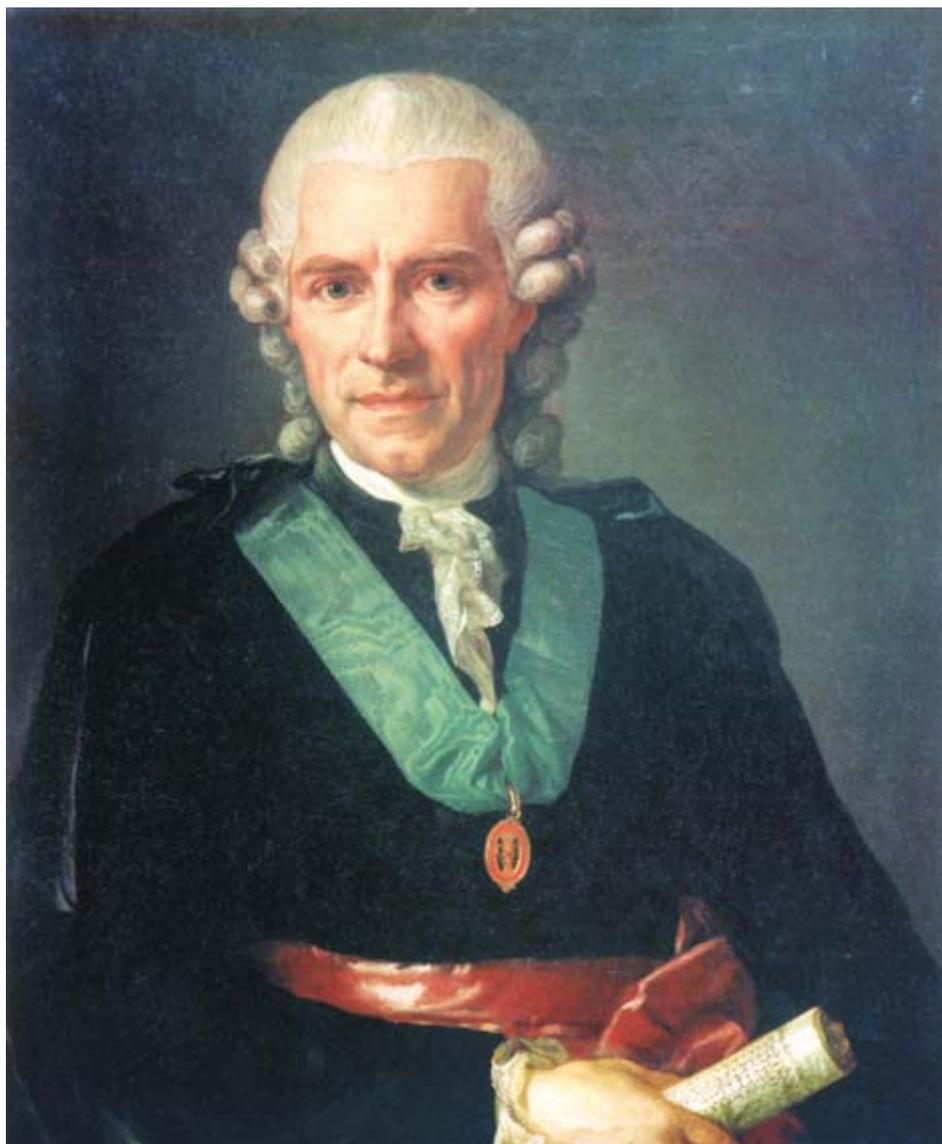
atmosférico común y de las del dióxido de carbono. Este gas, al que Cavendish había atribuido el nombre de aire inflamable (*inflammable air*), no era otro que el hidrógeno; pero su naturaleza precisa permaneció envuelta en el misterio. Sin ser químico de profesión, Cavendish sabía que Stahl no había logrado aislar experimentalmente su célebre principio de inflamabilidad, el flogisto, y que, por esa misma razón, toda su teoría de la combustión se basaba en mera hipótesis. Declarar, en efecto, que un cuerpo arde en virtud del principio de inflamabilidad en él contenido, sin que de la existencia de este hubiera demostración experimental, significaba presentar una teoría muy débil por su excesivo grado de hipotético-

dad. El descubrimiento del hidrógeno, una sustancia de altísimo grado de inflamabilidad, llevó a Cavendish a concluir que el gas de marras debía identificarse con el flogisto de Stahl. Por fin, se demostraba que los cuerpos ardían en razón del aire inflamable, o flogisto, en ellos contenido.

Ni siquiera la hipótesis de Cavendish, que aportaba una contribución teórica de relieve a la teoría química, tuvo especial resonancia, si bien, a diferencia de los experimentos de Black sobre la *magnesia alba*, suscitó una gran curiosidad entre sus colegas de la Royal Society de Londres. Uno de ellos, el teólogo Joseph Priestley (1733-1804), publicaba en 1772 las *Observations on different kinds of air*, el primer tratado íntegramente dedicado al examen de los gases, entonces llamados aires o fluidos elásticos. En su escrito, Priestley examinaba, a través de nuevos experimentos, la naturaleza química y física del aire fijo (dióxido de carbono), del aire inflamable (hidrógeno) y del aire flogístico (nitrógeno), recién descubierto por el médico Daniel Rutherford (1749-1819).

Merced a la obra de Priestley se fue precisando qué sentido otorgar a las novedades de la química pneumática. Para los médicos, por ejemplo, el descubrimiento de que el aire atmosférico estuviera compuesto de gases con características muy diferentes abría nuevos y prometedores horizontes en el estudio de la salubridad del aire, los mecanismos de la respiración animal y los relativos a la absorción del aire por las plantas. Para los físicos, quienes más que cualesquiera otros habían contribuido al progreso de ese sector de la investigación, el descubrimiento de los gases significaba la esperanza de poder verificar experimentalmente la naturaleza de otros misteriosos fluidos elásticos, como los eléctricos y magnéticos. Los apotecarios, por último, habrían podido utilizar los nuevos gases con cierto provecho en la terapia de múltiples enfermedades. El escocés David MacBride (1726-1778), por botón de muestra, había identificado en el aire fijo (dióxido de carbono) un remedio contra la putrefacción de la carne. Y aun cuando la aplicación de esas terapias no tuvo muchos adictos, el célebre marino inglés James Cook declaró haberlo utilizado con éxito durante su viaje por el Pacífico en 1769.

La verdadera excitación creada por los descubrimientos de nuevos gases parecía dejar indiferentes a los químicos,



El sueco Torbern Bergman se ocupó principalmente del análisis cualitativo y cuantitativo, así como de la afinidad química de los elementos.

dedicados a profundizar en otras clases de fenómenos. Como hemos dicho, el aire para un químico no era más que un instrumento pasivo cuya composición, variable y manipulable, no podía influir de ninguna manera en la interpretación de las reacciones y las combinaciones químicas. Antoine Laurent Lavoisier no participaba de esa opinión. El primero de noviembre de 1772, el joven científico remitía al secretario perpetuo de la Academia de las Ciencias una nota sellada en la que declaraba haber realizado un descubrimiento «entre los más interesantes de los realizados después de Stahl». La nota, de poco más de dos páginas, relatada algunos ensayos sobre la combustión del azufre, en el curso de los cuales Lavoisier había observado que, durante la combustión, en vez de perder peso, el azufre aumentaba considerablemente,

transformándose en ácido vitriólico. El aumento se debía a una «cantidad prodigiosa de aire», que se fijaba durante la combustión.

El descubrimiento contradecía, en efecto, el fundamento de la teoría del flogisto de Stahl, según la cual, durante la combustión, una sustancia perdía su principio inflamable, el flogisto, transformándose en cal metálica. Pese a que Stahl no se hubiera detenido en considerar los datos ponderales de tal operación, resultaba bastante obvio que, si un metal perdía durante la combustión un principio que, por definición Stahl aseguraba era pesado, la cal metálica que luego resultara debería necesariamente ser más ligera que el metal de origen. Lavoisier advirtió de inmediato que la cal del azufre era, por el contrario, más pesada que el azufre originario y que este fenómeno es-



Estatua en bronce de Lavoisier, obra de Dalou.

taba preñado de consecuencias teóricas revolucionarias.

Que la cal de los metales calcinados pesara más que los metales no sometidos a combustión constituía un hecho conocido desde las postrimerías del Renacimiento. Ya en 1540, el minerólogo sienense Vannoccio Biringuccio había reseñado que la cal de plomo pesaba más que el metal sin calcinar. Una observación que sería objeto de un profundo estudio por el médico francés Jean Rey (¿?-1645), quien publicó en 1630 su *Essais sur la recherche de la cause par la-*

quelle l'étain et le plomb augmentent de poids, quand on les calcine. En esta obra, Rey avanzó la hipótesis de que la causa del aumento ponderal debía atribuirse al aire condensado por el fuego que, combinándose con los metales, los transformaba en cal.

Como puede apreciarse, la explicación de Rey no divergía en lo esencial de la explicación de Lavoisier. No faltó quien acusara de plagio al químico. Pero el contexto de las observaciones de Lavoisier era completamente distinto, hasta el punto de que él fue el único químico

co en percatarse de la grave contradicción entre la teoría del flogisto y los datos ponderales. Louis Bernard Guyton de Morveau (1737-1816), naturalista de Dijon, había intentado resolverla en 1772, sosteniendo que la hipótesis de Stahl podía defenderse bajo la hipótesis de que el flogisto tuviera peso negativo. En estos casos, en efecto, el mayor peso de la cal metálica podía seguir explicándose con la pérdida de flogisto. No importa cómo se interpretara, la novedad del «descubrimiento» de Lavoisier residía, sobre todo, en la conciencia de que el aire no constituía un elemento simple, sino un compuesto de gases, cada uno de los cuales podía entrar en la combinación de los cuerpos, cambiando la naturaleza de los mismos. Además, Lavoisier había comprendido que el papel químico del aire no podía quedar circunscrito a la calcinación de algunos metales, sino que abarcaba mucho más, afectando a todos los cuerpos combustibles.

Esa conciencia se transformó en certeza escasos meses después. El 20 de febrero de 1773, Lavoisier anotó en un protocolo de laboratorio las diferentes opiniones de los físicos ingleses y alemanes sobre el aire. Comprobó cómo, ante un elenco de descubrimientos y observaciones tan extraordinario, ninguno de ellos había sentido la necesidad de elaborar una teoría que ofreciese una sistematización científica coherente. Tal indiferencia resultaba del todo injustificada. Una explicación teórica que diese cuenta de la diferencia entre el aire atmosférico común, fuente de la vida y de la respiración, y el aire fijo (dióxido de carbono), causa de muerte cierta para quienquiera que lo respirase, se había tornado una exigencia inaplazable. En la nota de 1773, Lavoisier delineó una historia de las opiniones sobre gases que, exponiendo las teorías y las «experiencias de los Señores Hales, Black, MacBride, Jacquin, Crantz, Priestley y De Smeth en torno a esa cuestión», debería hacer aflorar una nueva teoría de la combinación química. Lavoisier acusaba a sus predecesores de no haber comprendido la importancia de la nueva aportación y lamentaba que, incluso después de haber descubierto que el aire entraba a formar parte de la combinación de muchísimos cuerpos, los naturalistas hubieran continuado impertérritos en su utilización de las denominaciones tradicionales, designando con un nombre simple una sustancia que, en realidad, constaba de dos o más elementos.

A la luz de los nuevos descubrimientos, la cuestión de qué nombres emplear para indicar las sustancias no podía ya abordarse cual si se tratara de un problema de meras convenciones lingüísticas, sino que debía tomar en consideración un dato que, de hecho, ponía en cuestión la validez de todos los nombres utilizados en el pasado. Si el aire, considerado tradicionalmente un «instrumento» o agente químico sin relevancia alguna, entraba a formar parte de casi todas las combinaciones químicas conocidas, resultaba patente que los nombres debían modificarse de suerte tal que incluyeran en su definición la presencia de los gases. Habida cuenta de la complejidad del problema, Lavoisier no propuso, salvo en casos concretos y circunscritos, ninguna reforma general, decidiendo proceder con cierta cautela. Pero el químico francés no abrigaba duda alguna de que los descubrimientos pneumáticos habían abierto un horizonte perfectamente inédito que era necesario explorar con una mentalidad nueva con respecto al pasado.

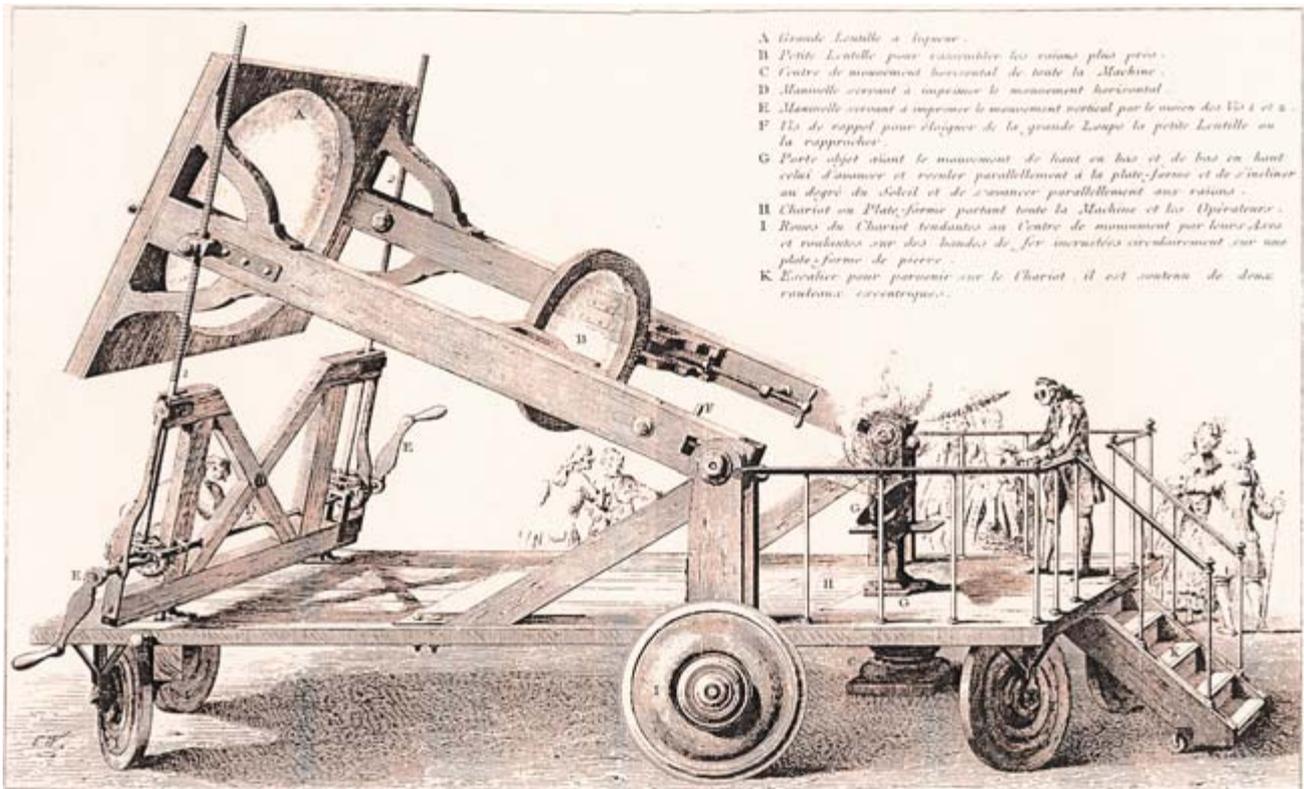
«La importancia del tema —concluía Lavoisier— me ha inducido a retomar todo ese trabajo que a mí me parece capaz de provocar una revolución en físi-

ca y en química. He creído que debía considerarse todo lo realizado con anterioridad por otros solo a modo de indicaciones; me he propuesto repetir todo con nuevas precauciones, a fin de ligar lo que he conocido sobre el aire que se fija o que se libera de los cuerpos con los otros conocimientos adquiridos y formar así una teoría. Los trabajos de los diversos autores arriba mencionados, considerados desde este punto de vista, me han presentado porciones separadas de una gran cadena; han engarzado algún anillo, pero queda por realizar una serie inmensa de ensayos para formar una continuidad.»

El tono de ese pasaje nos recuerda muy de cerca la reforma introducida en filosofía en el año 1637 por Descartes en su célebre *Discurso del método*. Lavoisier, parecía, en efecto, seguir un recorrido semejante al indicado por el filósofo francés, quien había sugerido liberarse de los prejuicios del pasado, poner en duda todas las opiniones adquiridas o transmitidas por otros y verificar escrupulosamente su validez a través del razonamiento matemático y la experiencia. La influencia del racionalismo cartesiano sobre Lavoisier difícilmente



Lente ustoria empleada por Lavoisier en ensayos de calcinación de los cuerpos. En el grabado inferior aparece ilustrado un experimento de combustión del diamante, realizado en 1774 por Lavoisier, sirviéndose de una gran lente ustoria.



A Grande Lentille à bruler.
 B Petite Lentille pour rapprocher les rayons plus près.
 C Centre de mouvement horizontal de toute la Machine.
 D Manivelle servant à imprimer le mouvement horizontal.
 E Manivelle servant à imprimer le mouvement vertical par le moyen des Vis et à
 F Vis de rappel pour éloigner de la grande Loupe la petite Lentille ou la rapprocher.
 G Porte objet étant le mouvement de haut en bas et de bas en haut celui d'élancer et reculer parallèlement à la plate-forme et de s'incliner au degré du Soleil et de s'avancer parallèlement aux rayons.
 H Chariot ou Plate-forme portant toute la Machine et les Opérateurs.
 I Roues du Chariot tendantes au Centre de mouvement par leurs Axes et roulant sur des bandes de fer incurvées circulairement sur une plate-forme de pierre.
 K Escalier pour parvenir sur le Chariot il est contenu de deux rampes cinquantiques.

DESSEIN en Perspective d'une Grande Loupe formée par 2 Glaces de 32 po. de diam. chacune courbées à la Manufacture Royale de St Gobin, courbées et travaillées sur une portion de Sphère de 16 pieds de diam. par M^r de Berniere, Contrôleur des Ponts et Chaussées, et ensuite opposées l'une à l'autre par la communauté. L'espace intermédiaire qu'elles laissent entre elles a été rempli d'esprit de vin il a quatre pieds de diam. et plus de 6 pouce d'épaisseur au centre. Cette Loupe a été construite d'après le dessein de M. CADEME, Rotaux des Sciences, une fois et par les soins de Monsieur DE TRIDUNE, Honoraire de cette Académie, sous les yeux de Monsieur de Moutguy, Marquis de Brillon, Cadet et Lavoisier, nommés Commissaires par l'Académie. La Machine a été construite d'après les idées de M^r de Berniere, perfectionnée et exécutée par M^r Charpentier, Mécanicien au Venus Louvre.
 L. Moutguy, De Tridune.
 Par son sieur Chambé et très obéissant Secrétaire, Charpentier.

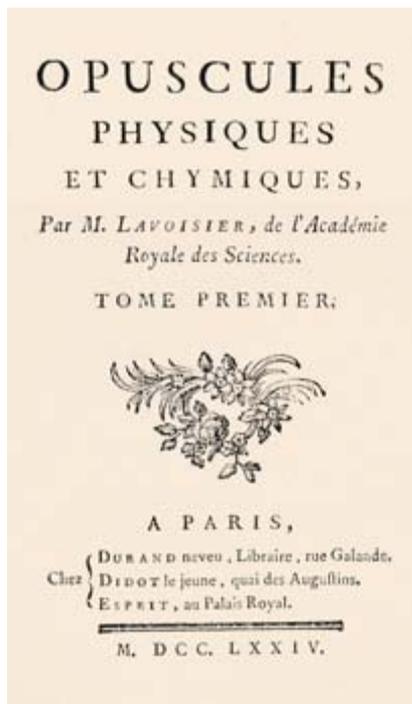


Representación alegórica de la teoría del flogisto realizada por el Nobel de química del año 1981 Roald Hoffmann y la pintora norteamericana Vivian Torrence.

puede exagerarse y, como veremos pronto, otros muchos pasajes de la doctrina del filósofo francés le guiarían en su reforma de la química.

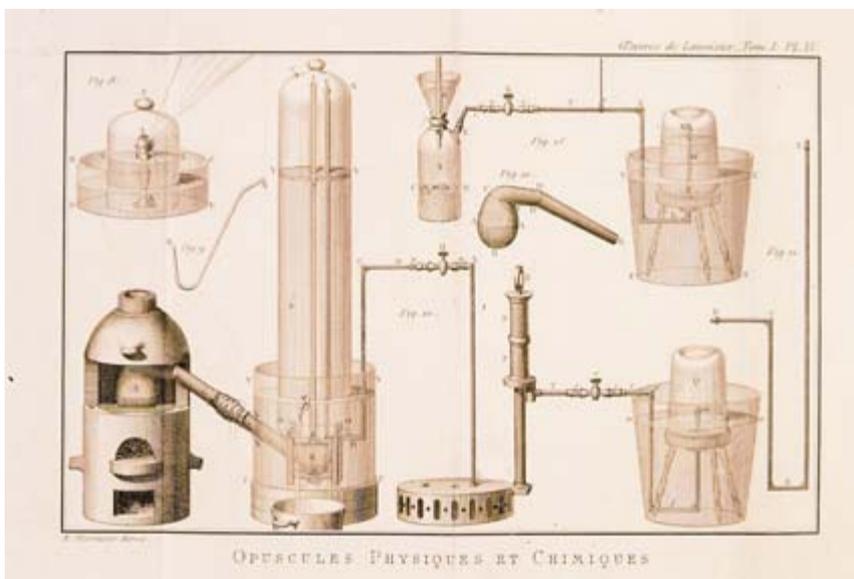
Otro punto, no menos importante, del programa de Lavoisier fue su intuición genial de que un estudio sistemático y teórico de los gases podía conducir a la que él mismo definiera como revolución científica. Nos encontramos hoy habituados a asociar el concepto de revolución científica con las teorías de Copérnico, Newton, Galileo, Darwin y Einstein, pero resulta útil recordar que dicha categoría fue empleada por primera vez por Lavoisier en relación con una contribución específica. Ciertamente, ya en el Setecientos, el siglo de las Luces y del progreso, se admiraban y celebraban las empresas de los científicos del pasado, pero su importancia no se consideraba todavía parangonable con las producciones de filósofos y literatos. Con el anuncio de una inminente revolución científica, Lavoisier manifestaba la confianza adquirida en la emancipación de la ciencia, aun cuando se interpusieran no pocos obstáculos contra su manumisión definitiva.

Como hemos visto, Lavoisier concluía su nota declarando que, para formar una teoría, se requería aún acometer una «serie inmensa de ensayos». Desde la primavera de 1773, el joven científico se puso manos a la obra explorando con meditada sistematicidad diversos aspectos de la química pneumática. Gracias a las traducciones de las obras de Black, Cavendish y Priestley, sus descubrimientos fueron por fin conocidos también en Francia y el examen del aire comenzó a atraer el interés de muchos naturalistas de la Academia de las Ciencias, donde se multiplicaron los informes y las lecturas públicas de memorias sobre cuestiones



Retrato de Lavoisier. A la derecha, frontispicio de los *Opuscules physiques et chymiques*, la primera obra importante de Lavoisier, donde examinaba las opiniones de los químicos y naturalistas de la época sobre la naturaleza de los gases y establecía las premisas para nuevas metodologías de análisis.

ROALD HOFFMANN Y VIVIAN TORRENCE (arriba); ANTOINE LAVOISIER (retrato); LE SCIENZE (frontispicio)

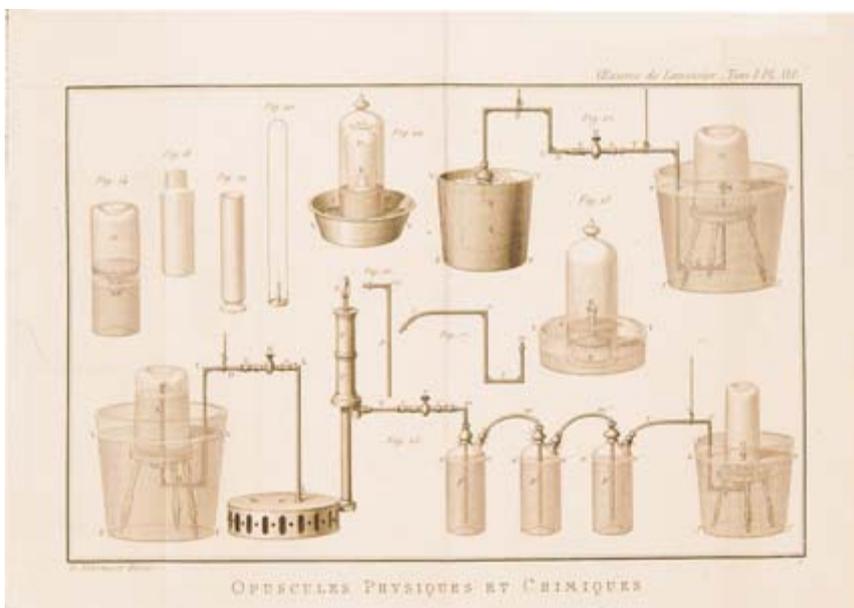


Láminas extraídas de los *Opuscles*, con la representación de instrumentos utilizados por Lavoisier para el análisis químico de los gases.

contemporáneos sobre el aire y los fluidos elásticos; en la segunda, proponía experimentos y observaciones originales. Los ensayos descritos en esta parte, sin presentar nuevos descubrimientos, delineaban con precisión los elementos de un nuevo método de análisis. Retomando y desarrollando intuiciones juveniles, Lavoisier adoptó el método de los pesos específicos en el análisis de las reacciones químicas. Tal planteamiento le permitió pesar las diversas sustancias y cuantificar así su papel químico, incluido el de los fluidos elásticos, cuyo valor ponderal había quedado casi siempre ignorado.

Más allá de esas innovaciones metodológicas puestas en obra en ensayos sobre los gases, Lavoisier no hizo referencia alguna a las anotaciones escritas en el protocolo de laboratorio de unos meses antes; mucho menos anunció la elaboración de una teoría de la combinación que, a través de una revolución científica, habría de cambiar el rostro de la química y de la física. Una prudencia más que comprensible. La publicación de los *Opuscles* había sido promovida por la Academia; Lavoisier no podía permitirse comprometer un patrocinio tan prestigioso cuestionando los fundamentos de una teoría que, hasta entonces, defendían todos los miembros de la clase de química. Además, Lavoisier no disponía todavía de suficientes datos experimentales para defender públicamente la que, en 1773, era todavía poco más que una intuición.

Por esas y otras razones de oportunidad, Lavoisier comprendía que su obra primera debía servirle, sobre todo, para introducirse con pleno derecho en el debate que se estaba abriendo sobre la naturaleza de los aires. Hasta 1773, el joven científico francés no había publicado nada que mostrara en público su interés por el análisis de esas sustancias. La erudición desplegada en la parte primera de los *Opuscles* demostraba ahora que el debate sobre los aires se había enriquecido con un nuevo protagonista, mientras que las innovaciones metodológicas de la parte segunda anunciaban, siquiera con suma cautela, que los nuevos descubrimientos recibían una reinterpretación en el marco de un cuadro teórico distinto. □



atinentes a la naturaleza misteriosa de los gases.

Además de perseguir la realización de un plan de experimentos, Lavoisier comenzó a escribir la obra que habría de reconstruir la historia de la química neumática. No se trataba, por supuesto, de una historia en el sentido moderno del término, sino de un análisis crítico de todas las opiniones que los naturalistas habían venido desgranando sobre la función del aire. Dentro de esa perspectiva particular se incluía Jan Baptiste van Helmont, autor del Seiscientos y considerado por Lavoisier uno de los precursores principales de la química neumática. Van Helmont había acuñado el término *gas*, aunque el significado que le atribuía era resultado de una mezcla de doctrinas metafísicas, alquimistas y naturalistas

muy alejadas de la definición moderna. Pese a tal ambigüedad, la obra de van Helmont aportaba más informaciones sobre la naturaleza de los fluidos elásticos que cuanto pudiera encontrarse en la obra más reciente de Stahl. Recorrer la historia de las opiniones sobre el aire significa, pues, redescubrir obras y autores que los químicos del Setecientos habían ya olvidado.

Los *Opuscles physiques et chimiques*, el título que Lavoisier impuso a la reconstrucción histórica, aparecieron en diciembre de 1773, pese a que la fecha de edición es de 1774. Se trataba de la primera obra suya que aparecía en letras de molde. El libro, voluminoso, de más de cuatrocientas páginas, se dividía en dos partes. En la primera, Lavoisier retomaba las opiniones de sus predecesores y

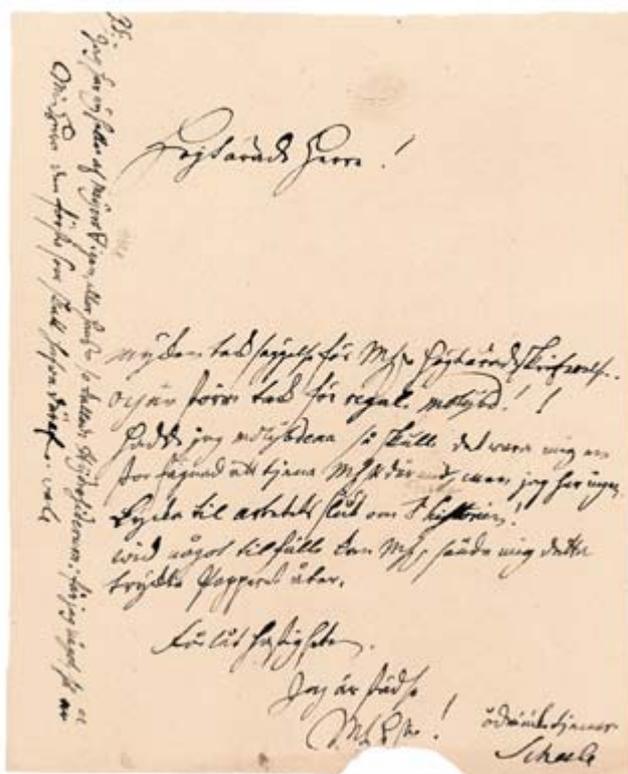
1774-1777

La teoría del oxígeno

La publicación de su primera obra permitió a Lavoisier entrar en contacto con estudiosos de Europa entera y contribuir a un descubrimiento fundamental sobre la naturaleza de los gases

LOS *OPUSCULES* OBTUVIERON EL EFECTO DESEADO. Merced a una campaña capilar de difusión de la obra, Lavoisier entró en contacto epistolar con los principales protagonistas de los descubrimientos sobre los aires. No solo eso; aprovechó la oportunidad de la publicación de su primer libro para enviarlo a las academias europeas más importantes, con la esperanza de ser elegido miembro extranjero. El éxito de esa campaña de persuasión no fue ni inmediato ni clamoroso; sin embargo, la obra recibió una acogida favorable de naturalistas y químicos europeos, muchos de los cuales habían atisbado, si no comprendido, los aspectos innovadores de la concepción epistemológica de Lavoisier.

Una de las respuestas más significativas a la obra del químico francés llegó de un oscuro apotecario sueco, Carl Wilhelm Scheele (1742-1786), a quien Lavoisier había remitido un ejemplar de los *Opuscules*. La decisión de Lavoisier de enviarle un ejemplar del volumen a un químico desconocido pudiera parecer, a primera vista, sorprendente. A diferencia de Black, Cavendish y Priestley, Scheele era un farmacéutico de Köping, una villa provinciana de la Suecia central, y había publicado un número extremadamente exiguo de artículos, aparecidos en sueco en su mayoría, una lengua desconocida para los científicos franceses en general. De la escasa producción científica de Scheele, Lavoisier conocía solo la traducción al francés de una breve memoria sobre el análisis del espato flúor (fluoruro de calcio). Aunque dedicado en su integridad al examen de una cuestión sumamente circunscrita, el ensayo de Scheele era un ejemplo feliz de cómo se podía combinar el rigor experimental con un enfoque sistemático de la clasificación de los fenómenos químicos. Los experimentos se presentaban en orden metódico, de suerte que inducían en el lector la sensación de una participación directa en el hallazgo.



Carta autógrafa de Carl Wilhelm Scheele, farmacéutico sueco, uno de los protagonistas del descubrimiento del oxígeno.

Bastó la lectura de este artículo de poco más de ocho páginas para que Lavoisier resolviera ponerse en contacto con ese ignoto experimentador escandinavo. La cortesía de enviarle un ejemplar del libro sobre los gases fue correspondida a los pocos meses con la respuesta del propio Scheele, cuyo contenido, por numerosas razones, abrió el camino a la creación de una nueva teoría química. Tras el agradecimiento por la cortesía y las ponderaciones formales sobre el contenido de la obra, Scheele le comunicaba a Lavoisier que había venido realizando en los últimos años muchísimos ensayos sobre fluidos elásticos. Entre estos, el boticario escandinavo sugería repetir un ensayo en particular utilizando el instrumento representado en la lámina de cierre de los *Opuscules*: «Disolved —escribía Scheele— plata en ácido nítrico y precipítadlo en álcali de tártaro, lavad el precipitado, desecadlo y reducidlo en el matraz encendido de vuestro instrumento. [...] A través de esas operaciones, veréis, así espero, cuánto aire se produce durante la reducción y si una vela encendida podría mantener la llama, y vivir en ese aire los animales».

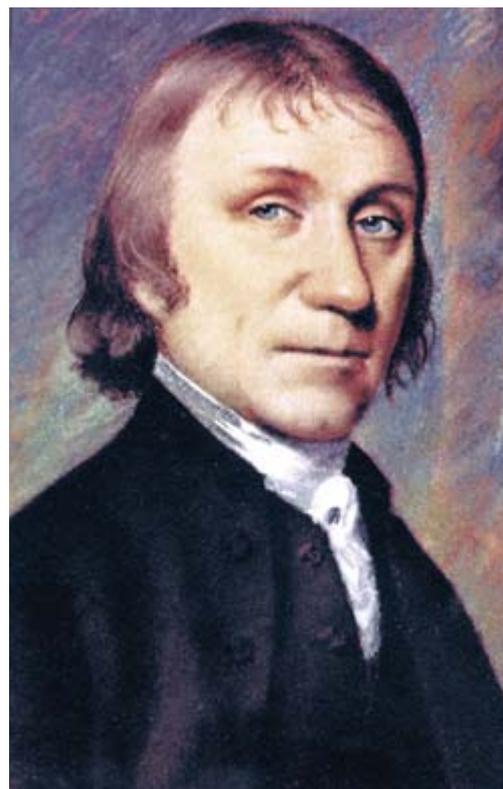
Con esas sucintas palabras, Scheele había indicado a Lavoisier un modo sencillo de aislar una nueva especie de aire —el oxígeno—, particularmente adecuada para mantener la llama y, por ello mismo, designada con el nombre de aire de fuego (*Feuer Luft*). Se trataba de un descubrimiento sensacional, cuyo significado se le escapaba aún al farmacéutico escandinavo. Scheele andaba ocupado en elaborar una teoría química centrada en el papel fundamental del fuego y a ese proyecto había supeditado su interés por los gases. Por ese motivo, Scheele, igual que la mayoría de sus coetáneos, no había comprendido que el descubrimiento de nuevos gases estaba revolucionando el concepto tradicional de reacción química. El propio edificio de la química construida por Stahl se estaba revelando cada vez más frágil y el papel del flogisto, lo mismo que la cuestión de la inflamabilidad de los cuerpos, iba perdiendo paulatinamente importancia.

La contribución de Scheele, al menos desde el punto de vista experimental, resulta difícil de sobrealorar. Con medios e instrumentos primitivos y en un vacío

Bajorrelieve que representa a un Lavoisier empeñado en un ensayo neumático mientras su esposa toma notas.



Joseph Priestley (a la izquierda, su *ex libris con leyenda*) descubrió por vía independiente, en 1774, el oxígeno, al que llamó aire deflogistizado.



cultural y científico casi absoluto, el boticario de Köping había aislado, antes que nadie, el oxígeno, el nitrógeno y un número impresionante de nuevos minerales y metales. Ningún otro científico ha descubierto e identificado una cantidad similar de sustancias químicas.

No está claro si Lavoisier siguió la sugerencia de Scheele de repetir el experimento que le había permitido aislar el oxígeno. Es más probable que alcanzara ese hallazgo siguiendo un camino propio. En todo caso, Lavoisier se contó entre los pri-

meros en descubrir y apreciar el talento experimental del químico sueco. Que la singularización del oxígeno estaba en el ambiente lo demuestra el hecho de que, en 1774, Priestley había llegado por su cuenta al descubrimiento de un nuevo aire más puro que el atmosférico, por él denominado aire deflogistizado (*dephlogisticated air*), pues lo creía carente del principio inflamable (flogisto).

Ha corrido mucha tinta sobre la primacía del descubrimiento del gas que nosotros conocemos por oxígeno. Según las





Arriba, una farmacia del Setecientos. Abajo, frontispicio de la obra de Scheele sobre el fuego y sobre la naturaleza de los gases.



preferencias, se ha concedido la palma de la prioridad a uno de los tres contendientes. Tal modo de considerar los descubrimientos científicos va desencaminado. Carece de sentido prescindir del contexto histórico y cultural al que remiten los descubrimientos. En nuestro caso, resulta claro que ninguno de los tres científicos atribuía al gas descubierto las propiedades que nosotros le reconocemos hoy. Además, sus interpretaciones sobre la naturaleza de la nueva sustancia diferían radicalmente, anclándose en visiones teóricas que competían entre sí.

Priestley era seguidor de la teoría del flogisto de Stahl y se esforzaba por interpretar todos los fenómenos químicos en el cuadro de la filosofía tradicional de la materia. Scheele había elaborado una nueva teoría de la combinación química que atribuía al fuego un papel central. Lavoisier, por último, se había percatado de que la química admitía una completa refundación si se ahondaba en la naturaleza de los gases y en su función durante las reacciones. Paradójicamente, puede afirmarse que los tres científicos habían descubierto tres sustancias de caracterís-

ticas químicas distintas por entero, aunque hoy sabemos que en los tres casos se trataba del oxígeno.

Estimulado por Scheele a realizar nuevos experimentos y por la buena acogida de los *Opuscules*, Lavoisier se puso a trabajar con renovada energía. Empezó nuevos ensayos con la cal de mercurio. En octubre de 1774, Joseph Priestley, cuya profesión era bibliotecario de Lord Shleburne, acompañó al noble en un viaje a París, donde tuvo la oportunidad de conocer a Lavoisier. En esa ocasión, Priestley le mostró a Lavoisier un nuevo método para aislar el oxígeno, ilustrándolo hasta el detalle las características peculiares del nuevo gas. Aunque no había publicado todavía nada sobre el tema, desde hacía varios meses Lavoisier y otros miembros de la Academia se hallaban al corriente del descubrimiento.

Por último, en los primeros meses de 1775, Lavoisier intuyó que algunas características de ese gas confirmaban de manera clamorosa las observaciones contenidas en la nota sellada de 1772. El 26 de abril de 1775, Lavoisier leía ante la Academia una *Memoria sobre la naturaleza del prin-*

cipio que se combina con los metales durante la calcinación, aumentándoles el peso, que apareció un mes después en la publicación periódica del abate François Rozier (1734-1793), las Observations sur la physique. En este breve ensayo, Lavoisier enunciaba esquemáticamente las propias observaciones, mostrando que «el principio que se combina con los metales y que les aumenta el peso no es más que la parte más pura del aire que nos circunda, que respiramos, y que pasa en esta operación del estado de expansión al de solidez».

En el aire «eminentemente respirable» —así definía Lavoisier el oxígeno— se hallaba, pues, la causa de una de las principales operaciones químicas, a saber, la calcinación. Por último, podía explicarse, sobre bases experimentales incontrovertibles, que el aumento del peso de la cal metálica se debía a su combinación con el oxígeno. Hemos visto que los seguidores del flogisto, entre los cuales se numeraba también Priestley, imputaban el aumento de peso de los metales durante la calcinación a la presunta pérdida de flogisto, haciendo particularmente problemática una interpretación coherente con los datos ponderales verificados.

En el marco de esta teoría, el descubrimiento del oxígeno dificultaba todavía

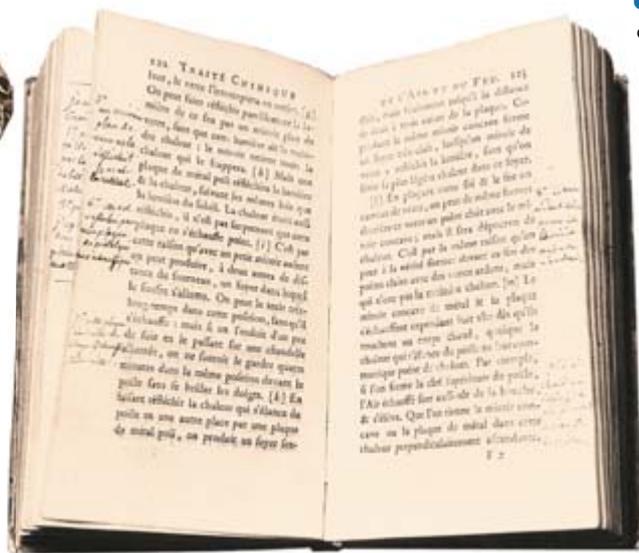


Balanzas de alta precisión, que pertenecieron a Lavoisier.

más la reconciliación entre los hechos y la doctrina stahlina. Desde el momento en que Priestley consideraba el oxígeno como una de las pocas sustancias de la naturaleza totalmente privadas de flogisto —de ahí su denominación de aire deflogistizado— debía apelar a diversos recursos teóricos para conservar intacta la explicación que Stahl había dado de la calcinación de los metales. Lavoisier, por el contrario, incardinaba el nuevo descubrimiento en un sistema cada vez más coherente y sólidamente anclado en los fenómenos que se proponía explicar. □



Carl Wilhelm Scheele, en una estatua de Johan Börjeson. A la derecha, traducción francesa de la obra de Scheele con anotaciones manuscritas.



STORIA DELLE SCIENZE. VOL. 2. UTET, TORINO, 1962 (estatua);
© CONSERVATORIO NACIONAL DE ARTES Y OFICIOS, PARÍS (balanzas); BIBLIOTECA DE LA UNIVERSIDAD DE UPPSALA (libro)

1774-1776

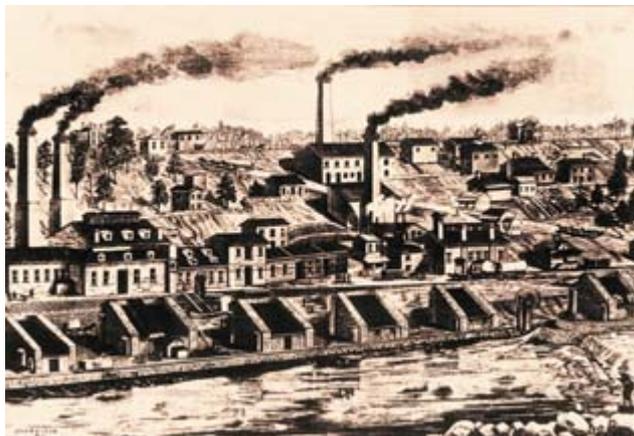
El científico al servicio del Estado

Lavoisier participó activamente en la vida pública. Contribuyó a la reforma fiscal del ministro Turgot y aplicó sus conocimientos científicos a un perfeccionamiento de la producción de pólvoras

MERCED A LAS OBRAS CIENTÍFICAS PUBLICADAS Y A SU PUESTO PRESTIGIOSO de recaudador general, Lavoisier se había distinguido como uno de los intelectuales más prometedores de la generación siguiente a la de los enciclopedistas. En efecto, los intentos de modernizar la Academia de las Ciencias de París, las numerosas propuestas de reforma del sistema fiscal feudal aplicado por la Ferme y una prodigiosa capacidad de producir memorias científicas originales en los campos disciplinares más dispares señalaban al científico francés como un digno sucesor de los *philosophes* y, más en general, del movimiento ilustrado.



Lavoisier (sentado a la izquierda), retratado con su amigo y discípulo Éleuthère Irénée Dupont de Nemours en un cuadro de F. W. Wright. Abajo, panorama ochocentista de la planta química fundada a finales del Setecientos por Dupont de Nemours en Wilmington, estado de Delaware, convertida hoy en una de las industrias químicas más importantes del mundo.



LE SCIENCE



El Arsenal de París y el Almacén de Pólvoras, en una panorámica del siglo XVIII.

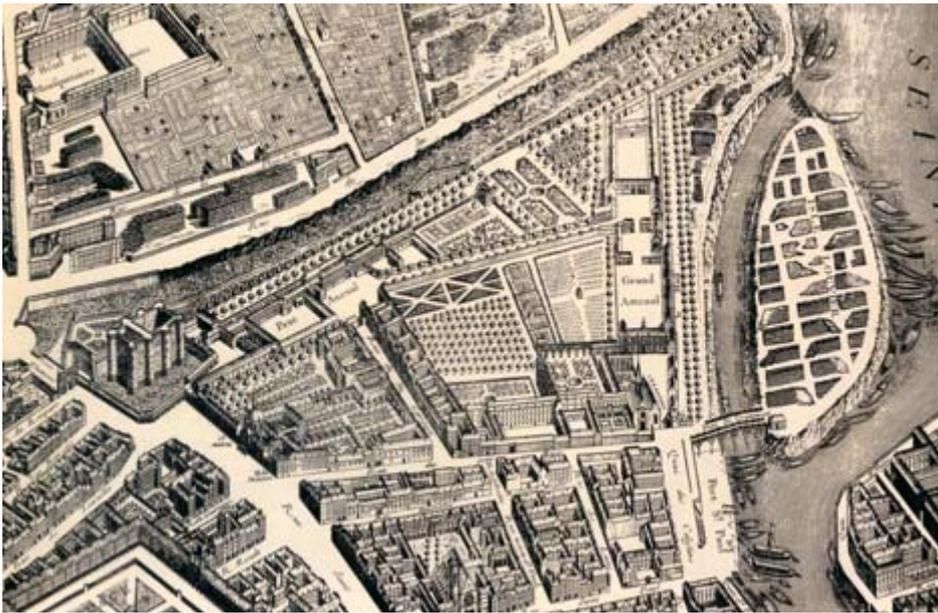
Por esas mismas razones, el economista Anne Robert Jacques Turgot (1727-1781), elegido ministro de finanzas por Luis XVI el 24 de agosto de 1774, solicitó del joven químico su colaboración en un proyecto ambicioso de reforma de las finanzas públicas y del sistema fiscal. El objetivo principal de Turgot era el de liberalizar el comercio, eliminando las tasas y los impuestos aduaneros que impedían la circulación libre de mercancías de una región a otra de Francia. Esos objetivos debían necesariamente ser aprobados por la Ferme, que, como hemos visto, regulaba los principales ingresos fiscales del país, y, por consiguiente, no tenía interés en eliminar privilegios fiscales de los que los recaudadores sacaban un beneficio directo. El papel de Lavoisier consistía, pues, en convencer a sus colegas de que una reforma liberal y más equitativa del sistema fiscal no perjudicaría los ingresos de la Ferme. Muy al contrario, al estimular la economía interna y el crecimiento de la producción agraria, la reforma en cuestión com-

pararía el aumento de bienes y beneficios imponderables, prediciendo para los recaudadores una coyuntura económica mucho más ventajosa. En poco tiempo, las reformas económicas introducidas por Turgot demostraron hasta qué punto carecía de fundamento el miedo de los recaudadores. Los ingresos en la Ferme conocieron un incremento sustantivo y los porcentajes que se llevaban los recaudadores subieron en proporción.

Bajo el ministerio Turgot, la posición de Lavoisier en el seno de la Ferme fue ganando en autoridad e influencia. Además de los contratos sobre gabelas y otras tasas, Lavoisier supervisaba con escrupulosidad el trabajo de los funcionarios, intentando conjurar los numerosos casos de abuso y corrupción. En este sentido, resultó ejemplar la investigación contra los funcionarios que, aprovechándose del reducido número de controles, adulteraban el tabaco añadiéndole agua y otras sustancias para aumentar el peso. Ese tipo de pesquisas y controles afectaba sobre todo a puestos fronterizos o, en todo caso,

alejados de la capital. Hasta 1774, Lavoisier poseía todavía pocas acciones de la Ferme, una posición minoritaria que le permitía controlar el mercado más rico, y más lucrativo también, de los impuestos y tasas aduaneras de París. A comienzos de 1775, sin embargo, el científico francés invirtió la ingente suma acumulada con las deducciones porcentuales, por lo que adquirió una cuota mayor de la empresa recaudadora.

Nos podríamos preguntar aquí por qué un científico con un futuro tan prometedor, implicado activamente en diversas disciplinas científicas y no urgido por la necesidad de procurarse más ingresos, puso tanta energía en una profesión tan impopular como la de funcionario del fisco estatal. El hecho es que Lavoisier ambicionaba conquistar lo más rápidamente posible una posición política o académica de preeminencia y, para alcanzarla, la disponibilidad de un gran capital constituía una condición necesaria. La actividad de la Ferme garantizaba al científico francés la oportunidad de acumular en



Maqueta de la planta de París querida por Turgot, en la que se observan, a la izquierda, el Arsenal y la Bastilla (*arriba*). Abajo, explosión en la polvorera de Essonne, ocurrida el 27 de octubre de 1788.

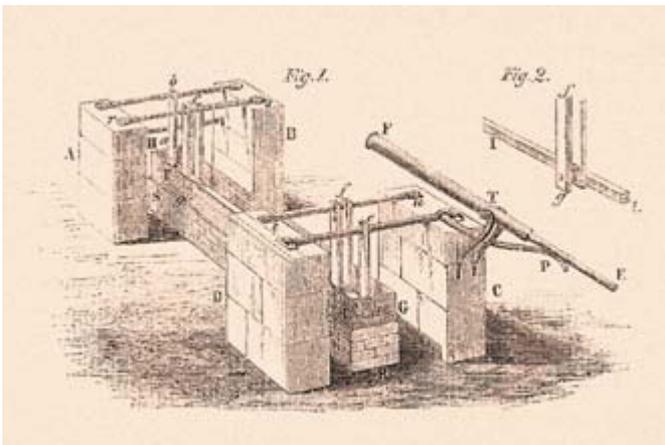
breve tiempo grandes sumas de dinero, que invertiría luego en diversos fines, sin dejar en último lugar las investigaciones científicas.

Su doble carrera de científico y administrador requería, qué duda cabe, sacrificios enormes. En cierto apunte biográfico sobre su marido, escrito en torno a 1820, Madame Lavoisier recordaba que dedicaba «cada día algún tiempo a los nuevos asuntos que le habían sido encargados. Las ciencias ocuparon siempre un espacio amplio a lo largo de la jornada. Se levantaba a las seis de la mañana, trabajaba en ciencias hasta las

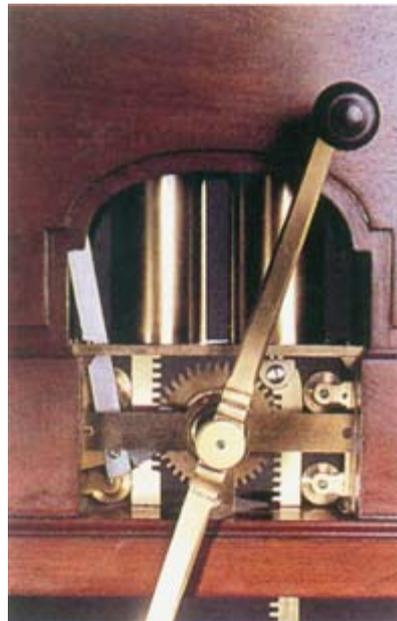
ocho y de nuevo, al atardecer, de las siete a las diez. Un día entero [el domingo] lo consagraba a los experimentos: era, como Lavoisier solía decir, su día de felicidad».

Reservaba, pues, cinco horas diarias a las ciencias, mientras que el resto del tiempo, es decir, el grueso de la jornada, se entregaba a las ocupaciones administrativas de la Ferme. Esa distribución bien organizada del trabajo le permitió aceptar un nuevo encargo. En 1775, Turgot le propuso dirigir la Real Fábrica de Pólvoras (*Régie des Poudres*). Se trataba de un encargo de importancia estratégica. Francia, aun presentándose como la nación más poderosa de Europa, no podía contar con una producción de pólvora que la hiciera autosuficiente. En los episodios bélicos que menudeaban con frecuencia creciente, los directores de las pólvoras se veían obligados a importar pólvora de otros países, de Holanda en particular. Además, el salitre producido en los arsenales franceses era de calidad inferior con respecto al que poseían naciones tradicionalmente enemigas, como Inglaterra. Durante la Guerra de los Siete Años, las dificultades sufridas por los ejércitos franceses en el campo de batalla fueron imputadas a tales deficiencias.

La elección de Lavoisier para la dirección de la Real Fábrica resultó afortunada. El científico no solo había demostra-



Algunos instrumentos ideados y utilizados por Lavoisier: a la izquierda, pirómetro óptico para medir la dilatación de los metales; en el centro, bomba de aire de dos cilindros, construida por Fortín; a la derecha, barómetro de dos columnas, realizado por Mégnié.

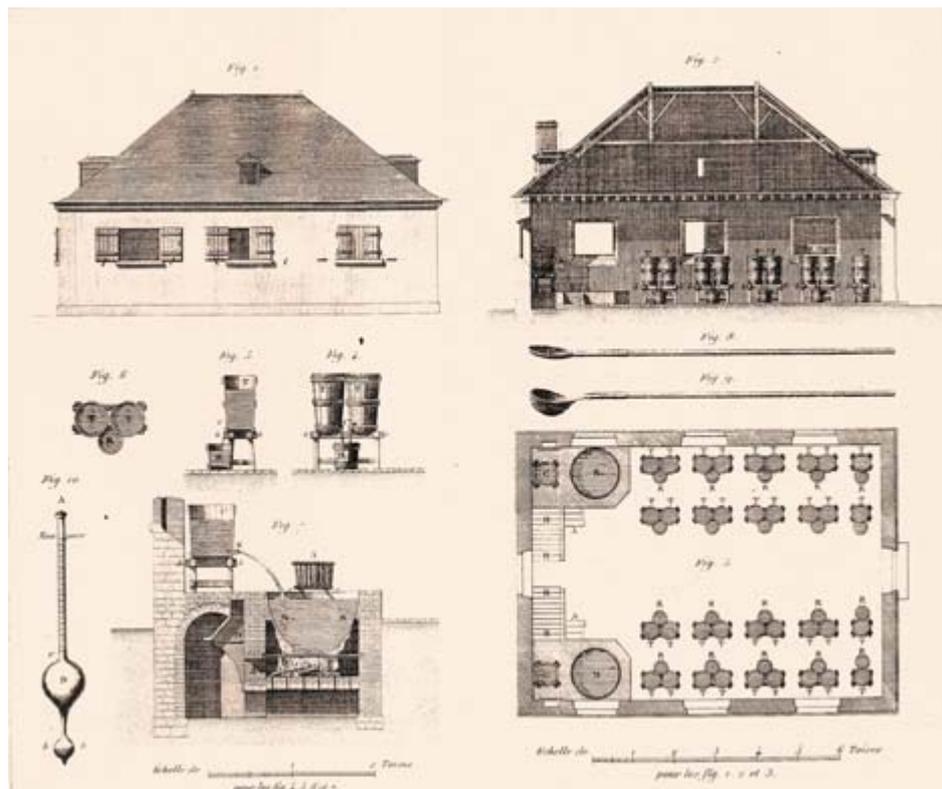


LE SCIENZE (*arriba*); © CONSERVATORIO NACIONAL DE ARTES Y OFICIOS, PARÍS (*instrumentos*)

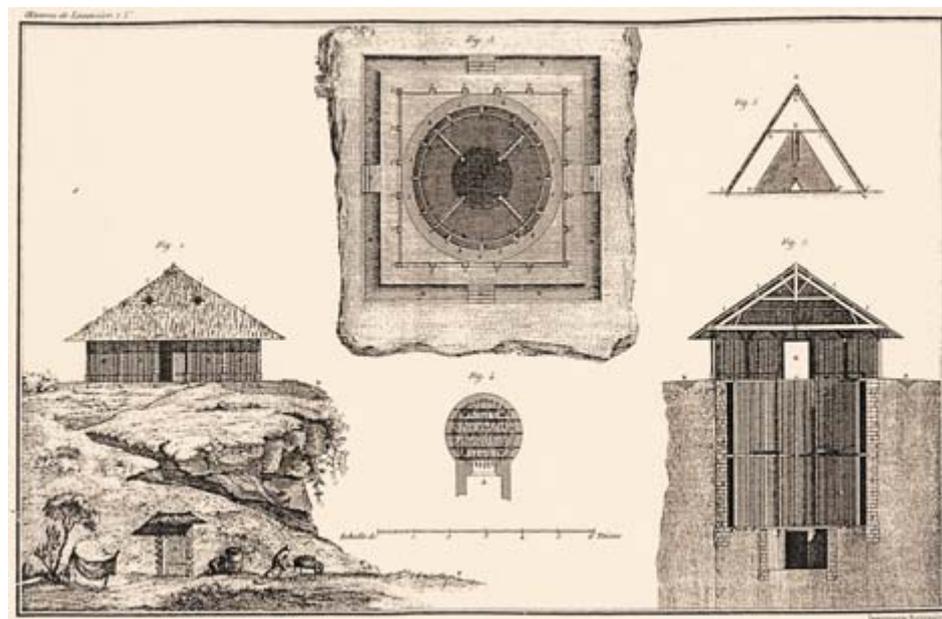
do ya sus capacidades administrativas, sino que estaba además en posesión de los conocimientos científicos y técnicos necesarios para resolver la persistente cuestión de la baja calidad del salitre francés. Lavoisier se trasladó con su esposa al Arsenal de París y, desde el primero de julio de 1775, emprendió con energía el proceso de reorganización. Las dificultades que tenía que vencer eran ingentes. En 1774, la producción de salitres era de solo 1.600.000 libras, frente a una demanda que doblaba de lejos esa cifra. Ya en 1776, Lavoisier logró incrementar la producción un veinte por ciento y, poco más de diez años después, en 1788, la Real Fábrica de Pólvoras producía más de 3.700.000 libras de salitre. La calidad de la pólvora había, también, mejorado notablemente, gracias al concurso de sugerencias técnicas y científicas formuladas por una comisión creada al respecto y presidida por Lavoisier.

La actividad de Lavoisier en el Arsenal, que continuaría muchos años después del cese del ministro Turgot, representó uno de los intentos más felices de combinar los conocimientos científicos con los aplicados y empresariales. Los extraordinarios resultados obtenidos en la producción de la pólvora mostraban en toda su extensión la utilidad estratégica de la ciencia en la política de reforzamiento del Estado. Así pues, desde 1775 Lavoisier trabajaba en tres instituciones: la Academia de las Ciencias, en la que desarrollaba su propia actividad científica; la Real Fábrica de Pólvoras, donde aplicaba con provecho a la industria militar sus conocimientos científicos, y la Ferme nacional, que absorbía la mayor parte de su tiempo en la actividad administrativa.

Con la inmensa fortuna económica acumulada en la Ferme, Lavoisier instaló en los locales del Arsenal un grandioso laboratorio de química, dotado de una extraordinaria colección de instrumentos y una biblioteca bien abastecida. Hemos mencionado de paso en los primeros capítulos la naturaleza primitiva de los laboratorios químicos del Setecientos, más cercanos a una cocina que a una instalación de investigación científica. El laboratorio de Lavoisier, por el contrario, reflejaba una concepción enteramente nueva de la experimentación. Nuevos eran los instrumentos y nuevos los métodos de trabajo. Junto a los tradicionales alambiques, hornos, retortas y matraces de naturaleza varia, Lavoisier colocaba las balanzas de alta precisión, los areó-



Uno de los proyectos de salitrera ideados por Lavoisier para mejorar la producción de pólvora.



Merced a la capacidad organizativa de Lavoisier y a los métodos más perfeccionados que introdujo (como los nuevos proyectos de salitrera), la producción de salitre en Francia conoció enormes progresos.

metros, los termómetros, los pirómetros y nuevos instrumentos ideados por él mismo, como el calorímetro y el gasómetro, para estudiar la naturaleza de los fluidos elásticos o imponderables.

También el método de trabajo era distinto del tradicional. El químico no tra-

bajaba ya en solitario, sino asistido por ayudantes y, en el caso de ensayos ambiciosos o complejos, de otros colegas científicos. El laboratorio del Arsenal anticipaba, pues, el trabajo en grupo de los laboratorios científicos modernos y contemporáneos. □

1777-1782

El papel del oxígeno

Tras las investigaciones sobre la respiración animal, Lavoisier va precisando sin pausa la función del oxígeno, constituido en quicio fundamental de su nueva teoría química

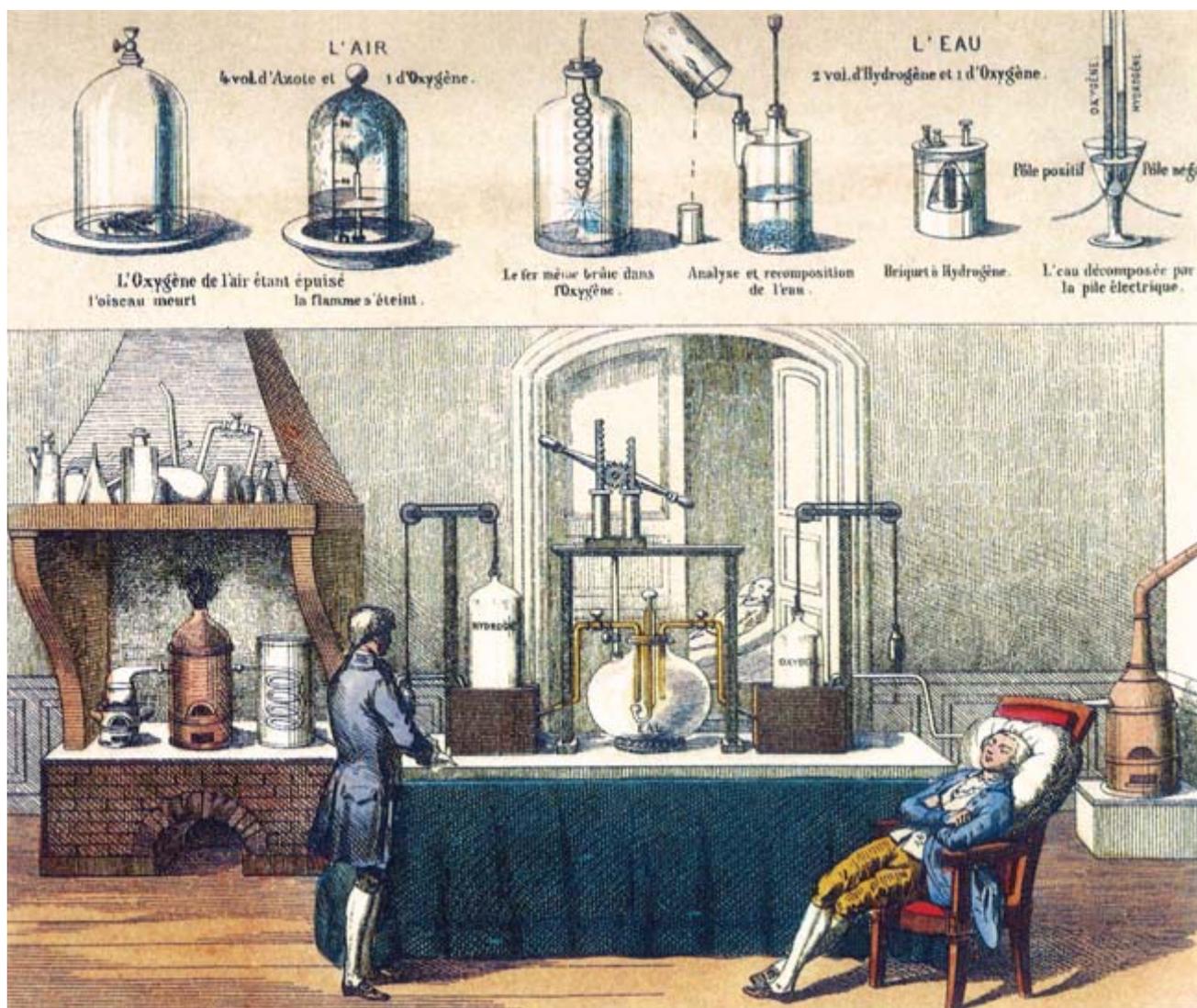
CON EL DESCUBRIMIENTO DEL OXÍGENO, LAVOISIER SE PERCATÓ DE INMEDIATO de que había dado con una sustancia cuyas características químicas podían explicar un número cada vez más amplio de operaciones y fenómenos. El 13 de mayo de 1777, el químico francés leyó ante la Academia de las Ciencias una memoria titulada *Expériences sur la respiration des animaux et sur les changements qui arrivent à l'air en passant par leur poumon*, destinada a revolucionar la concepción tradicional de la fisiología de la respiración. Que el aire era el agente que permitía la respiración era conocido desde la Antigüedad, pero los descubrimientos recientes sobre los gases demostraban que no todos los componentes del aire atmosférico podían «mantener la respiración» y que algunos animales, sometidos a la acción de determinados gases, morían.

El denominado proceso de flogistización del aire, es decir, la saturación del aire atmosférico con dióxido de carbono, constituía un fenómeno conocido por muchos naturalistas. La identificación de ese fenómeno había alentado, desde 1774, numerosos estudios sobre la salubridad del aire. El físico inglés Priestley fue, en esta circunstancia también, uno de los primeros naturalistas europeos en reconocer que, durante la respiración de los animales, el aire de su entorno se cargaba de flogisto, es decir, se colmaba de tal cantidad de dióxido de carbono que lo tornaba irrespirable e insalubre. A ese primer descubrimiento siguieron numerosas observaciones sobre la insalubridad de los ambientes cerrados y abarrotados, como los teatros, las cárceles o los hospitales.



El físico milanés Marsilio Landriani (1751-1815) y el eudiómetro, instrumento inventado por él para medir el grado de «salubridad» del aire, vale decir, el contenido de dióxido de carbono.





Lavoisier sigue el desarrollo de un experimento de química neumática analizando la naturaleza del oxígeno.

Espeleados por estos descubrimientos, muchos científicos buscaron métodos para determinar con la máxima precisión posible el grado de salubridad del aire de las estancias cerradas. El físico milanés Marsilio Landriani (1751-1815) publicó en 1775 una obra que llevaba por título *Ricerche fisiche intorno alla salubrità dell'aria*, en la que presentaba un nuevo instrumento, el eudiómetro, capaz de medir con exactitud los distintos grados de salubridad del aire en ambientes cerrados. El eudiómetro permitía que el dióxido de nitrógeno reaccionara con el aire atmosférico, cuyo oxígeno absorbía. Cuanto mayor era la cantidad de oxígeno absorbida durante las operaciones, tanto más salubre era el aire atmosférico.

Aunque se tratara de un método de medición harto rudimentario, Landriani confiaba en poderlo utilizar no solo para

registrar la cantidad de oxígeno, sino también para prever la llegada de epidemias y enfermedades contagiosas vehiculadas por el aire o el viento. Estas esperanzas optimistas eran compartidas por otros muchos científicos europeos que, por los mismos años, se involucraron con pasión y escasos resultados en desentrañar las causas de la insalubridad del aire. Lavoisier, quien sabía del eudiómetro y de las investigaciones de Landriani, decidió abordar el problema de la salubridad partiendo de la explicación de la respiración animal.

De entrada, Lavoisier estableció una analogía entre la respiración animal y los fenómenos de la combustión y de la calcinación de los metales, cuyo mecanismo había puesto de manifiesto recurriendo a la función química del oxígeno. A diferencia de lo que creían Priestley y Landriani,

no era cierto que durante la respiración se liberase flogisto. Lo que sucedía era, por el contrario, que el oxígeno, o —como Lavoisier designaba a este gas— el «aire eminentemente respirable», se combinaba con la sangre, aportándole nutrición y el color rojo.

«Podemos concluir —escribía el químico francés— que, por efecto de la respiración, sucede una de estas dos cosas: o la parte de aire eminentemente respirable contenida en el aire atmosférico se convierte en ácido cretoso aeriforme [dióxido de carbono] al pasar por los pulmones, o sucede, en este órgano, un intercambio: por un lado, el aire eminentemente respirable es absorbido; por otro, los pulmones restituyen a su sitio una parte de ácido cretoso aeriforme de volumen casi igual. La primera opinión tiene a su favor un ensayo que he comu-



Bajorrelieve realizado en el año 1900 por Barrias, que representa a Lavoisier (*de pie a la derecha*) mientras ilustra sus teorías a sus compañeros de la Academia de las Ciencias.

nicado a la Academia. He hecho ver, en una memoria leída en la sesión pública de la Pascua de 1775, que el aire eminentemente respirable podía convertirse totalmente en ácido cretoso aeriforme mediante adición de polvo de carbono [...]. Cabe, pues, que la respiración posea esa misma propiedad y que el aire eminentemente respirable entrado en los pulmones salga como ácido cretoso: mas, por otra parte, fuertes analogías parecen abonar la segunda opinión e inducen a creer que una parte de aire eminentemente respirable permanece en los pul-

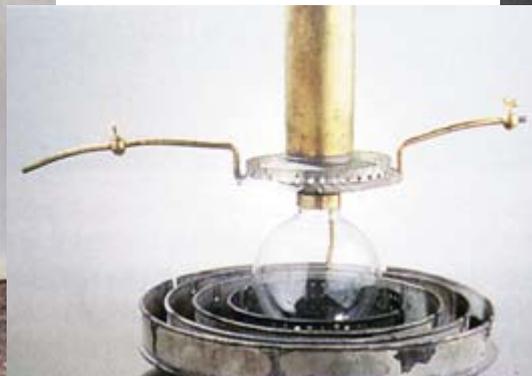
mones y se combina con la sangre. Es sabido que el aire eminentemente respirable tiene la propiedad de comunicar el color rojo a los cuerpos y, sobre todo, a las sustancias metálicas con las que se combina: mercurio, plomo y hierro nos sirven de ejemplo.»

No deja de resultar sorprendente que Lavoisier, sin poseer noción alguna de fisiología animal o de anatomía microscópica, pudiera explicar de una forma tan cercana a la verdad el fenómeno de la respiración animal. Sin embargo, como se desprende del pasaje citado, el científico francés tenía en las manos algo más que un mero descubrimiento. Había captado, en efecto, que la respiración poseía las mismas características químicas que la calcinación y la combustión. Las tres operaciones mostraban el papel central del oxígeno, que se estaba revelando como el verdadero *deus ex máchina* de la nueva teoría lavoisierana.

Reafirmado con tales descubrimientos, Lavoisier comenzó a pensar que había llegado el momento de plantearse los fundamentos de la teoría del flogisto de Stahl. En colaboración con su ayudante Jean Baptiste Michel Bucquet (1746-1780), a primeros de septiembre de 1777 depositó en la Academia de las Ciencias veintiséis memorias en las que presentaba una serie impresionante de experimentos sobre los gases, la mayoría de los cuales concernían a la naturaleza y función del oxígeno. En noviembre de ese mismo año, Lavoisier leyó una memoria sobre la combustión, donde mostraba que los gases no eran otra cosa que cuerpos sólidos (bases) combinados con una cantidad de un fluido imponderable (la mate-



Calorímetro ideado por Lavoisier y por Pierre Simon de Laplace (*retrato*), utilizado para ensayos sobre el calor específico de los cuerpos.



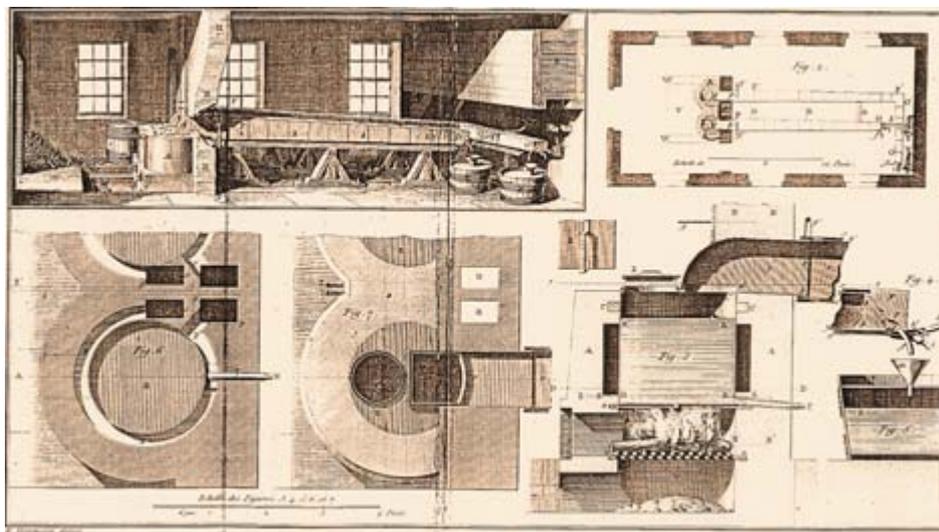
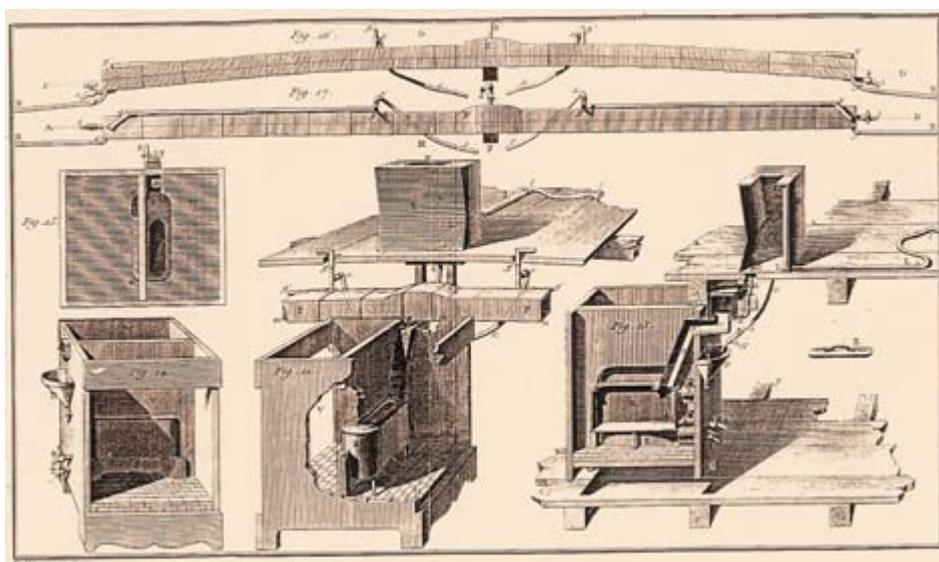
LE SCIENZE (bajorrelieve y retrato); © CONSERVATORIO NACIONAL DE ARTES Y OFICIOS, PARIS (calorímetro)

ria de fuego) que le llevaba al estado de vapor.

Esa hipótesis le permitía establecer que todas las sustancias podían encontrarse en la naturaleza en tres estados: sólido, fluido y aeriforme. Además de exponer el resultado de ensayos experimentales, Lavoisier atacaba el método utilizado por los químicos y por los naturalistas de su tiempo, quienes amontonaban hechos y observaciones sin un orden e impedían así una interpretación teórica coherente. «Los hechos —escribía—, las observaciones, los ensayos son los materiales de un gran edificio, pero es necesario evitar, reuniéndolos, formar un obstáculo para la ciencia; antes bien, es necesario clasificarlos, distinguiendo lo que pertenece a todo orden, a toda parte del todo.» Copiar los protocolos de laboratorio, como acostumbraba Priestley en sus obras, no podía conducir a una ampliación real de los conocimientos químicos, sino limitarse a suministrar un catálogo caótico de datos y experimentos. Más que de hechos, la química andaba menesterosa de una nueva filosofía de la materia, capaz de guiar la actividad experimental en nuevos dominios de la investigación.

En 1779, la teoría del oxígeno recibió un ulterior refinamiento cuando Lavoisier leyó una memoria titulada *Consideraciones generales sobre la naturaleza de los ácidos y sobre sus principios componentes*. Los ácidos constituían una clase de sustancias que, junto con la de las sales, había sido objeto de profundización sistemática desde los tiempos de Paracelso. Pese a la asiduidad de tales estudios y los centenares de experimentos que cada año se publicaban, el conocimiento químico de dichos compuestos se limitaba, por lo común, a los datos sensoriales. Los ácidos seguían identificándose a partir de su sabor y de sus cualidades secundarias, más que por su composición química efectiva. De los dieciocho ácidos conocidos, solo cuatro habían sido descompuestos por vía química en sus partes integrantes.

A despecho de esos límites objetivos, la memoria de Lavoisier introdujo algunas novedades reseñables. El químico francés había avanzado la hipótesis de que el oxígeno, presente en el ácido sulfúrico, constituía el principio universal. Por ese motivo, Lavoisier decidió designar a tal sustancia con el nombre de *principe oxygine* («principio oxígeno»), a partir del griego *oxys* (acidez) y *geinomai* (generar). El oxígeno se definía, pues, en razón de su propiedad de hallarse presente en todos los ácidos y no por su capa-



Instrumentos utilizados por Lavoisier para la destilación del agua de mar y del alcohol (espíritu de vino).

cidad, considerada menos esencial por Lavoisier, de garantizar la respiración, la calcinación y la combustión. La elección de Lavoisier era errónea, como se vería andando el tiempo, dado que no todos los ácidos (pensemos, por ejemplo, en el clorhídrico, HCl) contienen oxígeno, pero tenía el mérito de subrayar la importancia de ese gas en las combinaciones químicas. Gracias a esta nueva caracterización, el oxígeno se había convertido en principio unificador que explicaba un número de fenómenos mayor que los explicados por el flogisto de Stahl. Además, el oxígeno poseía la ventaja de ser una sustancia aislable experimentalmente, mientras que la identidad química del flogisto permanecía en el reino de las especulaciones teóricas.

Pierre Joseph Macquer (1718-1784), uno de los miembros con mayor prestigio de la Academia, valedor decidido de Lavoisier, comenzaba a temer seriamente que la vieja teoría de Stahl quedara arrumbada. El 4 de enero de 1778 escribía lo siguiente: «El Señor Lavoisier me asustaba desde hace tiempo con un gran descubrimiento que conservaba in pectore y que arruinaría nada menos que toda la teoría del flogisto o del fuego combinado: el aire de su confianza me hacía temblar de miedo. ¡Adónde iremos a parar con nuestra vieja química si tuviéramos que construir un edificio completamente distinto!».

Los temores de Macquer, compartidos por la mayoría de los químicos europeos, no tardaron en confirmarse. □



Aparato de Lavoisier para el análisis y la combustión de los aceites, construido por Fortin en 1788.

al agua. Puesto que se trataba de demostrar la combustión del hidrógeno, el científico lombardo no concedió importancia alguna a esa suerte de rocío que se formaba sobre el fondo del recipiente, atribuyéndolo a un vapor procedente del exterior. La dificultad para ver que el agua resultaba de la combustión del hidrógeno en presencia de oxígeno se agudizaba considerando el hecho de que, en línea de principio, la manipulación química de dos gases no podía originar un cuerpo líquido, salvo que se adoptara la teoría lavoisieriana de los tres estados de la materia.

Hasta que, en 1783, y siguiendo un itinerario experimental completamente independiente del trazado por Volta, el físico inglés Henry Cavendish, quien había descubierto ya en 1766 el hidrógeno, realizó una serie de experimentos que prevenían la combustión del hidrógeno en presencia de oxígeno. Pese a cuán inverosímiles parecían los resultados, la reiteración de los ensayos llevó a Cavendish a concluir, en 1784, que el agua era combinación de aire deflogistizado (oxígeno) y aire inflamable o flogisto (hidrógeno). De ese modo, el nuevo descubrimiento de que el agua estaba constituida por dos

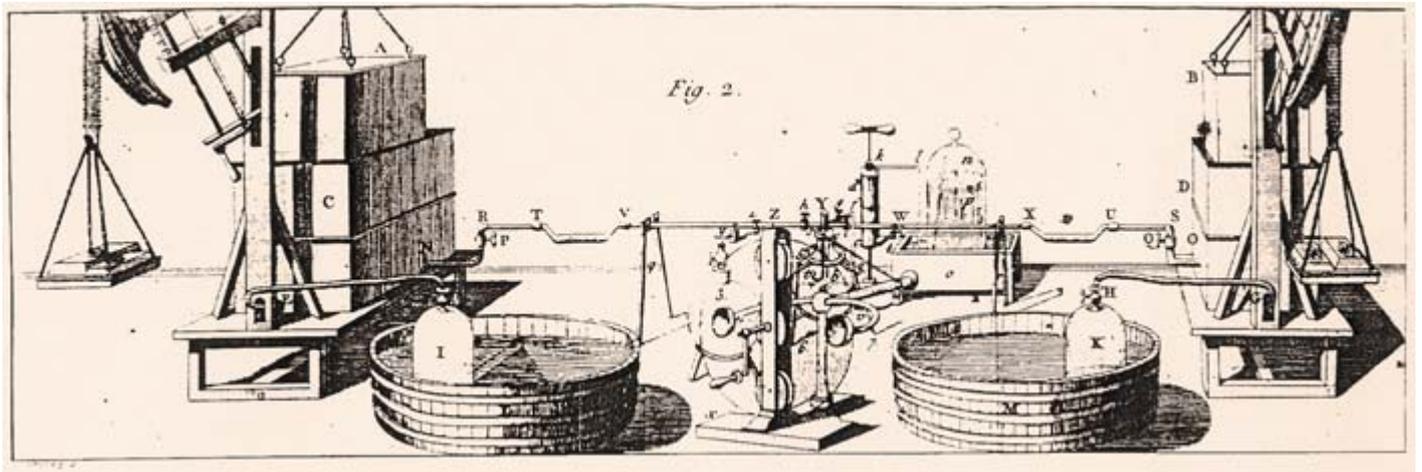
aires venía insertada por Cavendish en los parámetros reafirmados de la teoría del flogisto.

Hasta 1776, en efecto, el físico inglés había defendido que el flogisto de Stahl debía identificarse con el hidrógeno. Sin embargo, tal identificación distaba de ser compartida. La mayoría de los seguidores de Stahl reconocía el flogisto en otras sustancias inflamables, de vez en cuando diferentes, creando así una confusión creciente. En los comienzos de los años ochenta del Setecientos, la teoría del flogisto recibía, pues, interpretaciones muy distintas, contradictorias incluso; el descubrimiento de la composición del agua no hizo más que alimentar la aparición de nuevas hipótesis, cada vez más atrevidas, sobre la identidad de tan misteriosa sustancia. Para Lavoisier, por el contrario, el significado de las observaciones de Cavendish confirmaba ulteriormente la validez de la teoría del oxígeno.

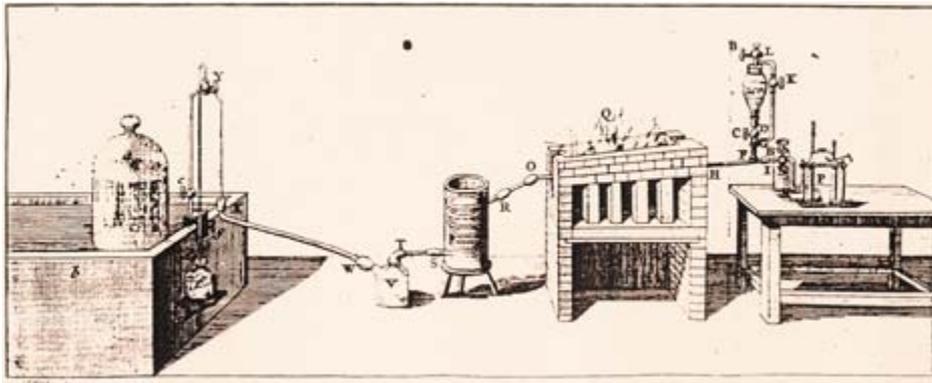
El 23 de junio de 1783, Lavoisier reunió en su laboratorio del Arsenal lo más granado de los científicos de la Academia de las Ciencias para repetir, con nuevos instrumentos y recursos técnicos, los experimentos de Cavendish. Apenas un año después, Lavoisier acometía un nuevo ex-

perimento gracias al cual se posibilitó la descomposición del agua en hidrógeno y oxígeno, confirmando de ese modo la naturaleza compuesta del agua. El 19 y el 28 de febrero de 1785, Lavoisier reunió más de treinta científicos, físicos, geómetras y naturalistas, ante los cuales repitió los nuevos experimentos. La relación de ese episodio crucial se publicó en el primer número del *Journal Polytype* de 1786. La reseña se cerraba con la afirmación de que el agua constaba de 85 partes de oxígeno y 15 de hidrógeno.

A tal cuantificación había arribado Lavoisier mediante la aplicación de un método de análisis sumamente riguroso, apto para medir con exactitud los pesos específicos de los cuerpos. La conclusión de aquella breve memoria subrayaba no tanto los resultados obtenidos cuanto la metodología que había permitido que la nueva química se afirmara como ciencia rigurosa. «Terminaremos este extracto —concluía Lavoisier— con una sucinta reflexión sobre la exactitud que debe introducirse en los ensayos de química. Esta ciencia, separada de las demás a lo largo del tiempo, creía poder dejar de lado los pesos y medidas a los que la física general debe sus descubrimientos más elegán-



Representaciones de Lavoisier de los experimentos sobre el análisis y la síntesis del agua, publicadas en el *Journal Polytype* del 27 de febrero de 1786.



tes. Obtenía resultados por cualquier vaga relación entre determinadas propiedades de los constituyentes y las del compuesto. Un método tal no puede ser seguro, porque las sensaciones no nos dan cuenta cabal de cuánto nos afecta hasta que nos ofrecen relaciones susceptibles de precisión. Ahora bien, las relaciones de este tipo no se manifiestan en absoluto entre sabores, olores, etcétera. Tales propiedades pueden, todo lo más, servir para distinguir y reconocer de pronto una sustancia, mas ¿cómo podrían asegurarnos que hemos aprehendido todos los principios del cuerpo que nos habíamos propuesto analizar? Se impone recurrir a medios menos engañosos, es decir, a la determinación del volumen y del peso de cada parte constituyente del cuerpo cuya naturaleza se investiga y acudir, asimismo, a la comparación de estos volúmenes y pesos entre sí y con los de los cuerpos mismos. Estos instrumentos son los únicos con capacidad para revelarnos los principios de las sustancias naturales; por esa razón, los químicos deberían exigir su utilización rigurosa en todos los ensayos.»

Las cualidades secundarias que hasta entonces habían gobernando el edificio de la química eran despojadas por Lavoisier de cualquier valor cognoscitivo. El

modelo de esa toma radical de postura metodológica lo constituía, sin duda, Galileo. En el *Saggiatore* (1623), el científico de Pisa había mostrado las insuficiencias de la física aristotélica poniendo en cuestión el valor científico de las cualidades secundarias. El estudio de los cuerpos debía ceñirse al examen de las relaciones numéricas de sus movimientos y configuraciones geométricas. Los olores, sabores y colores de los cuerpos no podían tomarse en consideración, por tratarse de manifestaciones variables y subjetivas de la percepción. Más de siglo y medio después, Lavoisier adaptaba las indicaciones metodológicas de Galileo a las exigencias de la química. El análisis de las cualidades secundarias que había dominado la actividad de los químicos durante siglos se sustituía con el examen rigurosamente cuantitativo de los pesos y los volúmenes de los cuerpos. Hemos visto que ese programa había sido pergeñado ya por Lavoisier en 1764, si bien solo ahora, con los experimentos cuantitativos sobre la composición y descomposición del agua, encontraba una sólida confirmación experimental.

Los resultados obtenidos por Lavoisier y su resonancia internacional le indujeron a lanzar un ataque directo contra la

teoría del flogisto de Stahl. El 18 de junio de 1785 presentó ante la Academia de las Ciencias una extensa memoria titulada *Reflexiones sobre el flogisto*, donde mostraba que todas las operaciones y descubrimientos químicos modernos admitían perfecta explicación, en muchos casos mejor, sin necesidad de recurrir a la hipótesis del flogisto. Lavoisier reconocía que Stahl había realizado «una suerte de revolución en la ciencia», había unificado gracias al flogisto operaciones químicas consideradas distintas, como la combustión y la calcinación. Sin embargo, la admiración y la deuda que todos los químicos habían justamente expresado con respecto a Stahl y su teoría habían cristalizado, en los últimos decenios, en una defensa ciega de sus principios fundantes.

A los ojos de Lavoisier, tal defensa a ultranza resultaba tanto más inexplicable cuanto mayor era el número de descubrimientos realizados desde 1770 sobre los gases, un ámbito de investigación del que no se ocupó Stahl en absoluto. Justamente porque el médico alemán consideraba el aire como un instrumento químico pasivo e irrelevante, resultaba inevitable que para conciliar los descubrimientos pneumáticos con la teoría del flogisto hubiera



Redoma de vidrio utilizada por Lavoisier durante el ensayo sobre la síntesis del agua y gasómetro para la recogida de gases secos mediante mercurio.



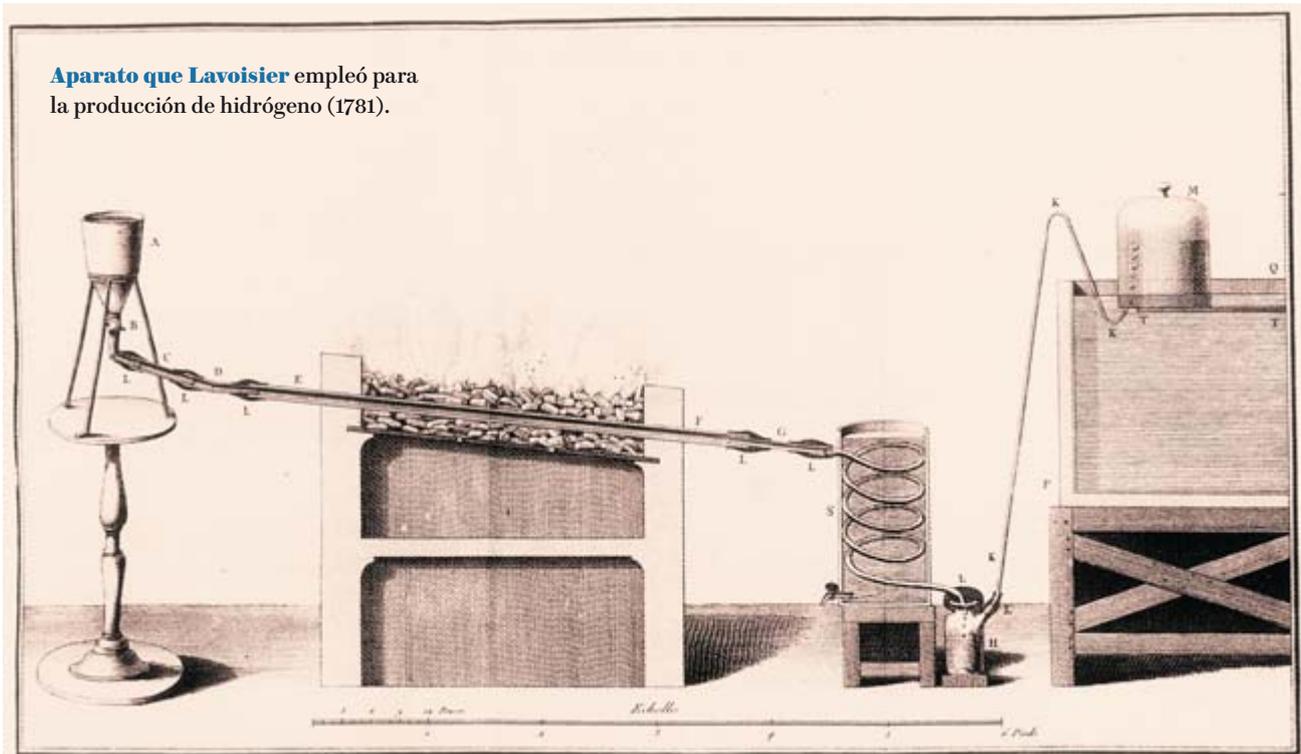
que sortear muchas dificultades y a un precio de onerosos retorcimientos conceptuales. «De ese modo, los seguidores de la doctrina de Stahl, tras sentirse obligados a afirmar que el flogisto era ora pesado, ora ligero, se ven forzados a admitir que el flogisto ora penetraba a través de los recipientes más compactos, ora no era capaz de penetrarlos: todas estas cualidades son incompatibles en un mismo ser y demuestran cada vez más que se ha

venido atribuyendo un mismo nombre a cosas muy distintas.» Sin atenerse ya a las cautas declaraciones del pasado, Lavoisier traía a colación las diferentes interpretaciones que sus contemporáneos habían dado del flogisto, poniendo de manifiesto las contradicciones, los errores interpretativos y la falta de coherencia experimental. Si todos los fenómenos pneumáticos podían explicarse, fácilmente y sin contradicciones, con la nueva teoría

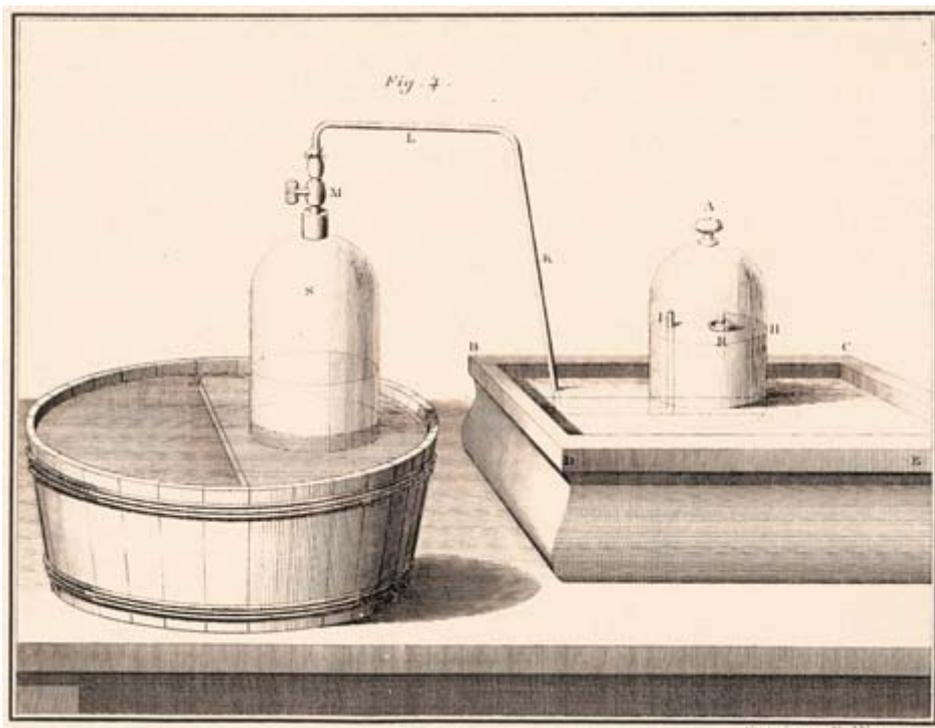
del oxígeno, ¿por qué cansarse en conciliar los descubrimientos con una teoría que ni siquiera los había previsto?

Otra razón, no menos importante, para abandonar el flogisto estribaba en el enfoque cualitativo adoptado por Stahl en su valoración de las reacciones químicas. Si, durante la calcinación, el metal adquiría peso, en vez de perderlo como creía Stahl, no podía resolverse la cuestión recurriendo a la hipótesis absurda de

Aparato que Lavoisier empleó para la producción de hidrógeno (1781).



© CONSERVATORIO NACIONAL DE ARTES Y OFICIOS, PARÍS (redoma de vidrio y gasómetro); LE SCIENZE (dibujo)



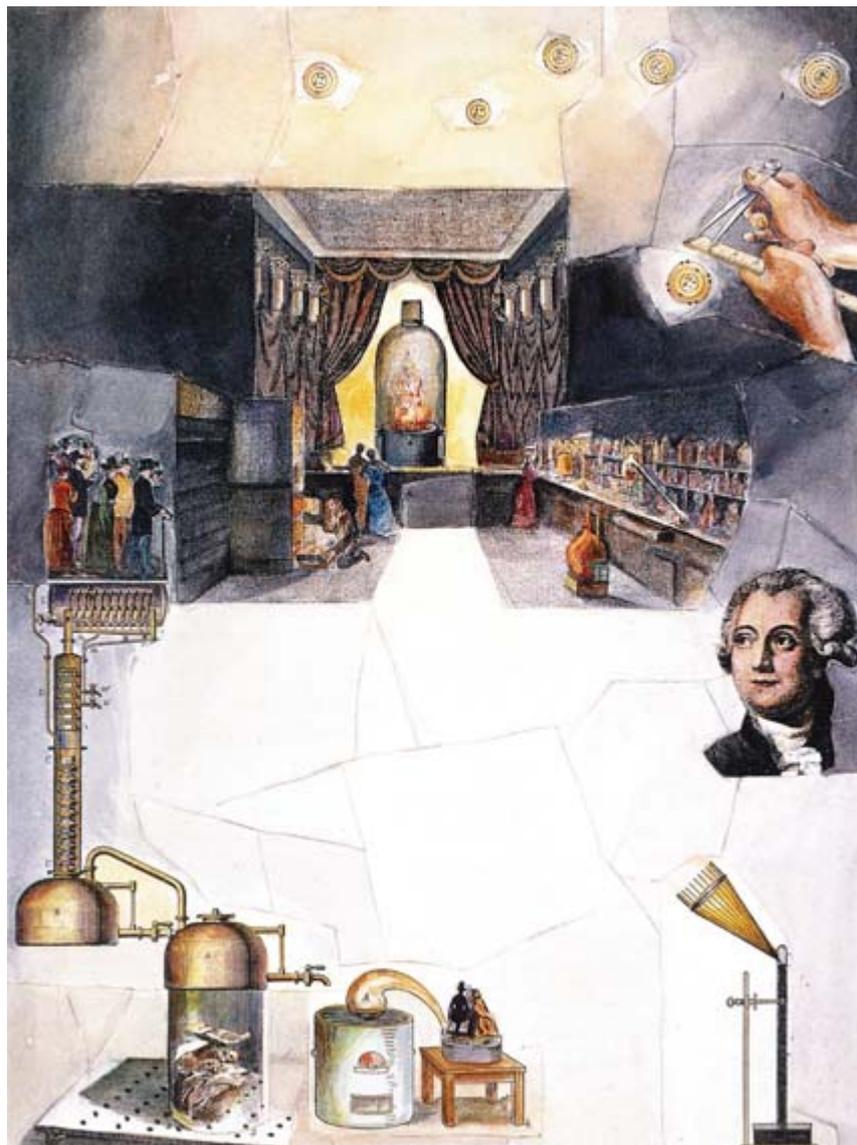
los químicos y naturalistas que habían intentado con obstinación adaptar la vieja teoría a los nuevos fenómenos penumáticos. No se exculpó a nadie. Las hipótesis de Priestley, Cavendish, Macquer y otros científicos reputados que seguían fieles al flogisto recibieron una crítica durísima. Para el químico francés, la resistencia a abandonar la tradición stahlina obedecía a la costumbre de contemplar la naturaleza desde una perspectiva adquirida y reafirmante. «Mientras tanto —concluía Lavoisier— veo con gran satisfacción que los jóvenes que comienzan a estudiar la ciencia sin prejuicios, los geómetras y físicos que tienen la mente abierta a las verdades químicas no creen en el flogisto en el sentido en que fue presentado por Stahl y consideran esa doctrina como un andamiaje más turbador que útil para los fines de la ampliación del edificio de la ciencia química.» □



Aparatos ideados por Lavoisier para la producción de alcohol (espíritu de vino). A la derecha, representación alegórica de la revolución química de Lavoisier realizada por el nóbél de química de 1981 Roald Hoffmann y la pintora norteamericana Vivian Torrence.

que el flogisto poseía peso negativo y que, liberándose del metal calcinado, le hiciera aumentar de peso. Si la cal metálica aumentaba de peso, significaba que se había combinado con otra sustancia cuya identidad podía descubrirse a través del peso específico.

El ataque de Lavoisier contra la teoría del flogisto iba dirigido sobre todo contra



LE SCIENZE (arriba y centro); ROALD HOFFMANN Y VIVIAN TORRENCE (abajo)

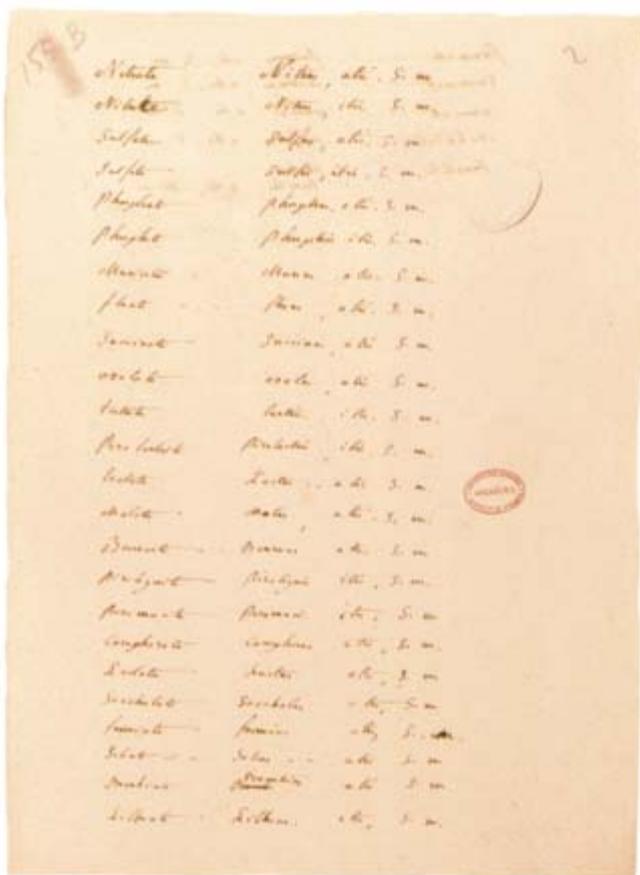
1787-1788

Un nuevo lenguaje para la química

Lavoisier avanza un paso fundamental al proponer un sistema de nomenclatura química que permite por vez primera organizar los resultados experimentales en una teoría general y coherente

SI EL FLOGISTO PARECÍA DERROTADO, SUS DEFENSORES habían afilado las armas, viendo en las memorias de Lavoisier una seria amenaza contra la conservación de la tradición. Hasta 1785, la lucha de Lavoisier contra el flogisto había sido empresa llevada prácticamente en solitario. Ningún miembro de la Academia de las Ciencias con autoridad se había adherido en público a las ideas expresadas por Lavoisier sobre la combustión, la respiración, el papel del oxígeno y la nueva teoría sobre la acidez. La clase de química, en particular, constituía un bloque compacto en la defensa de la teoría de Stahl, hasta el extremo de hacer caso omiso del contenido innovador de las memorias de Lavoisier. Pero, tras la publicación de las *Reflexiones sobre el flogisto*, resultaba ya difícil disimular las brechas que se estaban abriendo en el edificio de la química levantado por Stahl y sus seguidores.

Los primeros en percatarse de la caída del flogisto y en adherirse a la teoría de Lavoisier fueron los físicos y los matemáticos. Pierre Simon de Laplace (1749-1827), Alexandre Théophile Vandermonde (1735-1796), Gaspard Monge (1746-1818), Jacques Antoine Joseph Cousin (1739-1800) eran todos físicos y matemáticos de la Academia. A partir del experimento público sobre la composición y descomposición del agua en la primavera de 1785, quedaron convencidos de la superioridad de la teoría de Lavoisier. Entre los químicos, solo un joven médico de Montpellier, Jean Antoine Claude Chaptal (1756-1832), escribió a Lavoisier en 1784 declarándole su adhesión personal a la nueva química. En 1785, Claude Louis Berthollet (1748-1822), miembro de la Academia, seguía a su más joven colega. Por fin, los ayudantes de laboratorio de Lavoisier, en particular el constructor de instrumentos Jean Baptiste Meusnier (1754-1817), se numeraban entre los defensores más



Nomenclatura química francesa y latina.

activos, aunque menos influyentes, en la difusión de los nuevos principios.

Si se considera que Lavoisier había comenzado a presentar al público los elementos de su propia teoría en 1774, no podría reconfortar mucho comprobar que, transcurridos diez años, ningún químico

de postín se le había adherido. No obstante, conviene recordar que, tras el volumen *Opuscules physiques et chimiques*, Lavoisier había dado a la imprenta solo memorias y artículos, renunciando a formular sus propios descubrimientos en una obra de mayor empaque.

Una laguna que colmó en los primeros meses de 1787, cuando decidió acometer la publicación de una obra que resolviese la cuestión secular del lenguaje químico. En las primeras notas manuscritas de 1772 y 1773, Lavoisier había ya subrayado la urgencia de reformar de raíz

Retrato de Jean Antoine Chaptal, médico de Montpellier, uno de los primeros seguidores de la teoría de Lavoisier.



LE SCIENCE

Ecuación estequiométrica publicada por Lavoisier (*derecha*). Abajo, retrato de Antoine François Fourcroy.



deux parties d'eau, et que la dissolution s'opère à froid, c'est-à-dire à la température moyenne de l'atmosphère, et aux environs de 10 degrés, on aura en fractions décimales, la quantité d'acide étant supposée d'une livre,

$$(0^{\text{livre}},2 \text{ ♂} + 0^{\text{livre}},058 \text{ ⊕}) + 2^{\text{livres}},5 \text{ ▽} + (0^{\text{livre}},25 \text{ ⊕} + 0^{\text{livre}},25 \text{ △} - 0^{\text{livre}},058 \text{ ⊕} - 0^{\text{livre}},058 \text{ △}),$$

ce qui se réduit à

$$(0^{\text{livre}},2 \text{ ♂} + 0^{\text{livre}},058 \text{ ⊕}) + (2^{\text{livres}},5 \text{ ▽}) + (0^{\text{livre}},192 \text{ ⊕} + 0^{\text{livre}},192 \text{ △}),$$

et en fractions vulgaires,

$$\left(\frac{1^{\text{livr.}}}{5} \text{ ♂} + \frac{29^{\text{livr.}}}{500} \text{ ⊕}\right) + \left(2^{\text{livr.}} \frac{1}{4} \text{ ▽}\right) + \frac{24^{\text{livr.}}}{125} \text{ ⊕} + \frac{24^{\text{livr.}}}{125} \text{ △}.$$

Le tableau ci-après présente le résultat de toute cette opération, en livres, onces, gros et grains.

Les quantités de matière, avant l'expérience, étaient :

EN FRACTIONS VULGAIRES.				EN FRACT. DÉCIM.	
Livres.	Onces.	Gros.	Grains.	Livres.	

la nomenclatura de la química, eliminando todos los nombres de origen alquimista y creando nuevos, derivados de los descubrimientos sobre los gases. La ocasión para desarrollar este tema fundamental vino propiciada por la presencia en París de Guyton de Morveau, químico que en 1782 había publicado una propuesta de reforma de la nomenclatura de la química inorgánica.

Tras largos encuentros, mantenidos probablemente en la residencia de Lavoisier

en el Arsenal, Guyton fue ganado para la causa y convertido en adepto de la nueva química. En abril de 1787, Lavoisier reunió a Berthollet, Guyton, el farmacéutico parisiense Antoine François Fourcroy (1755-1809) y sus jóvenes ayudantes de laboratorio Jean Henri Hassefratz (1755-1827) y Pierre Auguste Adet (1763-1832) para proponerles presentar ante la Academia un nuevo método de nomenclatura y publicar en un volumen los resultados obtenidos. La nueva nomenclatura

quedó ilustrada en mayo de 1787 y el libro, titulado *Méthode de nomenclature chimique*, vio la luz en agosto de ese mismo año.

La obra giraba en torno a la definición del oxígeno, que, como hemos visto, se fundaba sobre dos reglas: la primera —y más importante— establecía que el nombre portara un significado conforme con la naturaleza química del objeto que definía; la segunda adoptaba la etimología griega como vehículo privilegiado para la formación de futuros nombres químicos. El recurso a una lengua muerta, como el griego, no mermaba la impetuosa vitalidad de la concepción lingüística de Lavoisier. La definición del oxígeno, además de suministrar una explicación plausible de la acidificación, se encontraba en la base de la interpretación de operaciones y fenómenos comunes, tales como la calcinación, la combustión y la respiración.

Pero la definición del oxígeno tenía una vertiente lingüística de interés. Lavoisier no se limitó a introducir, de una manera convencional, un nombre descriptivo para una sustancia recién descubierta. Antes bien, el químico francés sostenía desde un comienzo que el nombre *oxígeno* se había acuñado a partir de la convicción de su correspondencia ontológica con la sustancia designada. No se alejaba del naturalista sueco Carl Linneo, quien consideraba la botánica una ciencia esencialmente taxonómica y lingüística: Lavoisier había dotado de gran alcance cognoscitivo la definición de los objetos de la química. El

The table is divided into several sections:

- Table A: Nomenclature of Chemistry** - Lists elements and compounds with their corresponding symbols.
- Table B: Combinations of Colors** - Lists combinations of colors and their corresponding symbols.
- Table C: Oxygen and Carbon** - Lists combinations of oxygen and carbon with their corresponding symbols.

Símbolos químicos utilizados por Lavoisier.

M É T H O D E D E N O M E N C L A T U R E C H I M I Q U E,

*Proposée par MM. DE MORVEAU,
LAVOISIER, BERTHOLET,
& DE FOURCROY.*

ON Y A JOINT

Un nouveau Systême de Caractères Chi-
miques, adaptés à cette Nomenclature,
par MM. HASSENFRATZ & ADET.



A P A R I S,

Chez CUCHET, Libraire, rue & hôtel Serpente.

M. DCC. LXXXVII.

Sous le Privilège de l'Académie des Sciences.

Frontispicio del *Méthode de nomenclature chimique* (1787).

científico francés, sin embargo, apuntaba mucho más allá de la concepción que le había inspirado la reforma de la nomenclatura botánica de Linneo. Mientras que el estudioso sueco habría considerado el nombre de las plantas como vehículo cognoscitivo principal de sus propiedades morfológicas, pero no habría elaborado ningún sistema o método de nomenclatura, el objetivo de Lavoisier era, por el contrario, crear una combinatoria de nombres ligados unos a otros en razón de la dinámica de las principales reacciones químicas.

Los nombres, pues, no solo debían describir una sustancia o un compuesto tomados en sí mismos, sino que, a la par que parámetros numéricos, debían poder combinarse entre sí y formar lo que nosotros habríamos de denominar ecuaciones estequiométricas.

La ambición de matematizar una ciencia que —como hemos visto— en el plano experimental, más allá del descubrimiento de nuevos gases, había producido escasas novedades con respecto al siglo anterior, representaba una innovación

metodológica sumamente arriesgada. Lavoisier, convencido como estaba de que el descubrimiento del oxígeno representaba un acontecimiento revolucionario de relevancia teórica excepcional, se atrevió, en cualquier caso, a emprender un programa de investigación capaz de reinterpretar sobre nuevas bases lingüísticas y epistemológicas la química tradicional.

Un primer ensayo de esta concepción renovada de la terminología técnica había sido suministrado por el químico francés en una memoria intitulada *Considérations générales sur la dissolution des métaux dans les acides*, presentada ante la Academia de las Ciencias de París ya en 1782. En este ensayo, Lavoisier se proponía demostrar que un metal disuelto en ácidos diversos debería liberar siempre la misma cantidad de oxígeno. Para demostrar este asunto de partida, el químico francés se había servido de una balanza de alta precisión, formulando los resultados obtenidos a través de la utilización de un sistema de símbolos que «a primera vista podían considerarse fórmulas algebraicas». Mediante la aplicación de parámetros cuantitativos y expresiones numéricas a los resultados de laboratorio, Lavoisier logró presentar la primera ecuación estequiométrica que jamás apareciera en una obra de química. La novedad introducida por el químico francés no residía solo en la representación de una serie de reacciones químicas de una misma clase en una ecuación algebraica; también los mismos símbolos utilizados para designar el oxígeno y otras sustancias químicas eran enteramente nuevos.

La publicación del *Méthode de nomenclature chimique*, un texto por muchas razones revolucionario, simplificaba, amplificando el significado innovador, las reformas lingüísticas esbozadas en los años precedentes. Lavoisier, autor de los dos ensayos principales, se proponía con ese texto ofrecer un modelo de racionalización de la materia que, basándose en resultados de la experiencia inductiva, permitiría organizarlos en un cuadro teórico general y coherente. La verdad, en efecto, no podía emerger de un elenco aleatorio de observaciones y experimentos, sino solo «a partir del orden en que estas venían presentadas». Inspirado en la filosofía sensista de Etienne Bonnot de Condillac, Lavoisier subdivide los conocimientos científicos en tres fases: en la primera se dispone de una visión inmediata y sintética de los fenómenos que nos aprestamos a estudiar; en la segunda, se pasa a un análisis descomponedor de los hechos en

cuestión; en la tercera, con el auxilio de la razón, se los reconstruye sintéticamente en una teoría. Solo y únicamente la tercera fase ofrecía, según Lavoisier, la integridad conjuntada de lo que se había observado (fase I) y enriquecido por las determinaciones experimentales (fase II).

Lavoisier acusaba a sus predecesores de haber ignorado la tercera fase del conocimiento, aquella en la cual el fenómeno se reconstruye mentalmente. Solo los físicos y los matemáticos, en su opinión, habían logrado alcanzar verdades positivas, justo porque habían adoptado el ordenamiento metódico y racional de los datos.

La razón, so pena de su disolución en la imaginación, debía someterse a algunas reglas que, según Lavoisier, venían dictadas por la propia naturaleza. La ciencia no era más que «una serie de hechos; las ideas que los recuerdan; las palabras que los expresan. La palabra debe provocar la generación de la idea y la idea debe describir un hecho». El lenguaje cumplía, pues, la misión privilegiada de ser el espejo de la naturaleza, o mejor, el punto de correspondencia biunívoca entre las ideas y los hechos.

Esa filosofía racionalista y aparentemente alejada de los laboratorios de química tenía para Lavoisier una finalidad muy concreta, la de plantear un método de nomenclatura in fieri y una nueva nomenclatura *tout court*. La diferencia es esencial. Un método de atribución de los nombres presupone una gramática y una sintaxis precisas, reglas unificadoras de las designaciones escogidas y un léxico que se adaptase a ese nuevo método. La reforma del lenguaje de la química, por tanto, exigía también la reforma del método hasta entonces adoptado en esa ciencia.

Los fundamentos de la nueva nomenclatura estaban constituidos por la definición de los cuerpos simples o por aquellas sustancias que no podían descomponerse ulteriormente mediante el análisis químico. Lavoisier se había resistido a debatir lo que hasta entonces se había considerado el tema más importante de la química del Setecientos, a saber, el número y la naturaleza de los elementos simples. Para el químico francés, tales discusiones habían quedado obsoletas. Por un lado, porque con frecuencia creciente se iban descubriendo nuevos elementos y, por otro, porque la insuficiencia de los instrumentos en uso en los laboratorios



Louis Bernard Guyton de Morveau, autor en 1782 de una propuesta de una nueva nomenclatura de la química inorgánica.

dejaba prever que, en un futuro no muy lejano, las disputas sobre los cuatro elementos de Aristóteles y los tres principios de Paracelso habrían desaparecido por entero. Pragmáticamente, pues, Lavoisier llamaba elemento a cualquier sustancia que hasta entonces no hubiera podido ser descompuesta químicamente.

Las sustancias que respondían a esa característica eran 55. Lavoisier las dividía en cinco clases. La primera estaba formada por la luz, el calórico, el oxígeno, el hidrógeno y el nitrógeno. Esta clase representaba el núcleo semántico del cual dependía el entero edificio lingüístico de la química lavoisieriana. La segunda clase de sustancias constaba de 25 bases acidificables, aunque las únicas bases aisladas experimentalmente habían sido el nitrógeno, el azufre, el carbono y el fósforo. El nomenclador de las bases seguía un sistema sencillo, aunque eficaz; se espejaba en la denominación binomial empleada por Linneo para designar los nombres de los organismos. Por ejemplo, si el azufre era la base acidificable del ácido vitriólico, combinado con el oxígeno generaba dicho ácido, que, por consiguiente, debía tomar su nombre del de la base y llamarse *ácido sulfúrico*. Este ácido podía presentarse en dos estados de saturación, manifestando propiedades químicas completamente distintas; se requerían,

pues, dos nombres que, al conservar una raíz común, evidenciaran la diferencia característica. El *ácido sulfúrico* designaba el azufre enteramente saturado por el oxígeno; el *ácido sulfuroso* indicaba el azufre combinado con una cantidad menor de oxígeno; *sulfato* era el nombre genérico de la sal formada por el ácido sulfúrico; *sulfito* era el nombre de la sal formada por el ácido sulfuroso; *sulfuro*, por fin, designaba a las restantes combinaciones del azufre no llevado al estado ácido. La enorme novedad de este sistema de denominación estaba constituida por el uso de los sufijos (-ico, -oso, -ato, -ito, -uro), que, añadiéndose a la raíz indicativa de la identidad de la sustancia, señalaban también la proporción cuantitativa de sus ingredientes.

La tercera clase de sustancias simples presentada en el *Méthode* eran los metales. Retenían los nombres tradicionales con una innovación significativa: los metales calcinados, o combinados con el oxígeno, recibían el apelativo de *óxidos*, destacando así la centralidad del papel semántico del oxígeno. La cuarta y la quinta clase de sustancias correspondían a las tierras y a los álcalis.

En su conjunto, dadas las 55 sustancias simples admitidas por Lavoisier, combinando los nombres dos a dos y tres a tres (por ejemplo, nitrato de potasio y óxido hidro-carbónico), se obtenía una nomenclatura de más de 320.000 nombres. A estos correspondían compuestos que, en su inmensa mayoría, no habían sido aislados experimentalmente, pero que Lavoisier preveía obtener cuando las técnicas analíticas se refinaran y potenciaran. Si reparamos en que antes de la aparición del *Méthode de nomenclature chimique* las sustancias y los compuestos químicos conocidos experimentalmente apenas superaban el millar, comprendemos en su plenitud el valor revolucionario de la nueva nomenclatura. La combinatoria de los nombres químicos la esquematizó Lavoisier en un *Tableau de la nomenclature chimique*, que ofrecía, en un espacio limitadísimo, un mapa lingüístico general de la química y de sus operaciones principales. Para comprimir ulteriormente el lenguaje y realizar el viejo sueño de matematizar la forma, Lavoisier proponía un nuevo sistema de símbolos geométricos, por fin desvinculados de cualquier tradición alquimista.

Los nombres de la nueva nomenclatura eran, en su mayor parte, derivados del

Retrato de Lavoisier con su esposa,
pintado por Jacques Louis David en 1788.



MUSEO METROPOLITANO DE ARTE, NUEVA YORK

griego y del latín, solo en porción mínima de lenguas vernáculas. Aunque el texto de las memorias de Lavoisier fuera escrito en francés, se había optado por una transliteración del término griego en vez de crearlo partiendo directamente del francés. Fue, sin duda, una decisión afortunada porque, aun tratándose de una nomenclatura ideada y concebida por químicos franceses poco avezados en lenguas clásicas, el uso sistemático del griego garantizaba un carácter y un alcance universales y cosmopolitas. Pero las razones que indujeron a Lavoisier a emplear el griego eran también de naturaleza técnica y heurística. Podía emplearse el griego como una suerte de lenguaje formal y abstracto, cuyas palabras podían combinarse de acuerdo con reglas de tipo matemático. Uno de los propósitos explícitos de la nueva nomenclatura química era la creación de un sistema de signos funcionales para la investigación y para la definición de la materia estructurada sobre un modelo matemático. Al ofrecer su nomenclatura como una combinatoria de principios de tipo algebraico, Lavoisier había comprendido que la matemática era un lenguaje de inagotable finura y amplitud, así como un instrumento insuperable para conferir precisión y transparencia a los datos.

La publicación del *Méthode de nomenclature chimique* sacudió a la comunidad química europea. En países que poseían una tradición de estudios químicos, como Alemania, Gran Bretaña y Suecia, el nuevo lenguaje se consideró un ultraje al pasado y a la riqueza expresiva de la química tradicional. A tales resistencias se añadían los problemas vinculados con la traducción de los nuevos nombres en los distintos idiomas europeos. Mientras los ingleses se limitaron a adaptar los nombres franceses al genio de la propia lengua, sin alterar la sustancia y la eficacia del sistema combinatorio ideado por Lavoisier, los alemanes adoptaron una solución más difícil, traduciendo los nombres griegos al alemán. Así el término *oxygène*, que los ingleses vertieron por *oxygen*, en alemán pasaba a ser *sauerstoff*. La solución adoptada por los alemanes y luego por escandinavos y holandeses comportaba necesariamente la pérdida de los sufijos, con las ventajas a ellos asociadas.

Mas, cualquiera que fuera la solución adoptada por los diversos traductores, la nueva nomenclatura química constituía un lenguaje universalmente comprensible y de fácil aprendizaje. Pese a la uná-

III. Tafel.

II. Tafel der Verbindungen des Wärmestoffes mit verschiedenen einfachen Substanzen, um den dreifachen Zustand der Körper: den festen, flüssigen und luftförmigen darzustellen.

	Fest.	Flüss.	Luftf.		Fest.	Flüss.	Luftf.		Fest.	Flüss.	Luftf.
<i>Säurestoff</i>	/	✓	/	Kopfer	⊙	⊙	⊙	Radikal Zinn	⊙	⊙	⊙
<i>Wasser</i>	△	△	△	Blei	⊙	⊙	⊙	— Sauerstoff	⊙	⊙	⊙
<i>Säure</i>	△	△	△	Eisen	⊙	⊙	⊙	— Kohlenstoff	⊙	⊙	⊙
<i>Basen / Salze</i>	▽	▽	▽	Zinn	⊙	⊙	⊙	— Stickstoff	⊙	⊙	⊙
<i>Kalk</i>	▽	▽	▽	Magnesium	⊙	⊙	⊙	— Phosphor	⊙	⊙	⊙
<i>Alumina</i>	▽	▽	▽	Nickel	⊙	⊙	⊙	— Schwefel	⊙	⊙	⊙
<i>Alumina</i>	▽	▽	▽	Wismuth	⊙	⊙	⊙	— Arsenik	⊙	⊙	⊙
<i>Kalk</i>	▽	▽	▽	Spiegelglas	⊙	⊙	⊙	— Zinn	⊙	⊙	⊙
<i>Wasserstoff</i>	⊙	⊙	⊙	Antimon	⊙	⊙	⊙	— Zinn	⊙	⊙	⊙
<i>Kohlenstoff</i>	⊙	⊙	⊙	Wolfram	⊙	⊙	⊙	— Zinn	⊙	⊙	⊙
<i>Schwefel</i>	⊙	⊙	⊙	Radikal Kohlenstoff	⊙	⊙	⊙	— Zinn	⊙	⊙	⊙
<i>Phosphor</i>	⊙	⊙	⊙	— Zinn	⊙	⊙	⊙	— Zinn	⊙	⊙	⊙
<i>Gold</i>	⊙	⊙	⊙	— Zinn	⊙	⊙	⊙	— Zinn	⊙	⊙	⊙
<i>Platina</i>	⊙	⊙	⊙	— Zinn	⊙	⊙	⊙	— Zinn	⊙	⊙	⊙
<i>Silber</i>	⊙	⊙	⊙	— Zinn	⊙	⊙	⊙	— Zinn	⊙	⊙	⊙
<i>Amalgam</i>	⊙	⊙	⊙	— Zinn	⊙	⊙	⊙	— Zinn	⊙	⊙	⊙
<i>Zinn</i>	⊙	⊙	⊙	— Zinn	⊙	⊙	⊙	— Zinn	⊙	⊙	⊙

Los nuevos símbolos químicos de Lavoisier conocieron una rápida difusión por toda Europa.

nime resistencia inicial, el éxito obtenido por el nomenclátor de Lavoisier no tiene precedentes en la historia de la ciencia. Antes de 1785, solo Lavoisier se servía del término *oxígeno* y sus derivados. Diez años más tarde, eran ya contados los científicos que no se habían plegado a la fuerza persuasiva del nuevo lenguaje. En ese intervalo se encendió una controversia científica sin precedentes, durante la cual los contendientes llegaron a intercambiarse palabras muy duras. Desde las primeras escaramuzas, sin embargo, el éxito de la disputa parecía cantado y, como diría un naturalista italiano refiriéndose a la obra de Lavoisier, «es esta revolución química un torrente vertiginoso que, ciertamente, encuentra obstáculos, pero los supera y arrastra victoriosamente todo consigo».

La expresión «revolución química» se convirtió en locución de referencia para designar el valor innovador de la nueva teoría y nomenclatura, lo mismo entre quienes se oponían a la nueva química que entre quienes defendían con entusiasmo creciente sus principios. Pese al éxito de la obra de Lavoisier y de sus colaboradores, en 1787 el célebre mineralogista irlandés Richard Kirwan (1735-1812) publicó una obra titulada *An Essay on Phlogiston*, en la cual se aprestaba a defender, sobre

la base de nuevas pruebas experimentales, la teoría del flogisto. El libro fue recibido por los partidarios de Stahl con gran entusiasmo y reavivó la esperanza de un pronto rescate del *empasse* en que se hallaba confinado el flogisto. En los primeros meses de 1778 Lavoisier publicó la traducción francesa de la obra. Puesto que Lavoisier no sabía inglés, la traducción habría sido realizada por su mujer.

La edición francesa llevaba un número considerable de notas críticas que habían sido confiadas por Lavoisier a Guyton, Monge, Laplace, Berthollet y Fourcroy, el grupo de sus valedores más fieles. Lavoisier se había reservado comentar las partes más controvertidas de la obra de Kirwan, desmontando pieza a pieza la lógica de sus argumentaciones en pro del flogisto. Las críticas a Kirwan fueron tan precisas y acotadas que, pocos meses después de la publicación de la obra, el científico irlandés escribía a Lavoisier declarándose convencido de la solidez de las objeciones y dispuesto a abandonar el flogisto. La capitulación de Kirwan, ampliamente reclamada por Lavoisier, tuvo una resonancia enorme y desencadenó una auténtica reacción en cadena. La era del flogisto había pasado al olvido y una nueva concepción de la química se estaba asentado con rapidez. □

1780-1788

Ciencia y reformas

Llamado a presidir diversas comisiones académicas sobre proyectos de reforma social, Lavoisier se esfuerza en aplicar su propia experiencia científica a la mejora de las condiciones en hospitales y cárceles

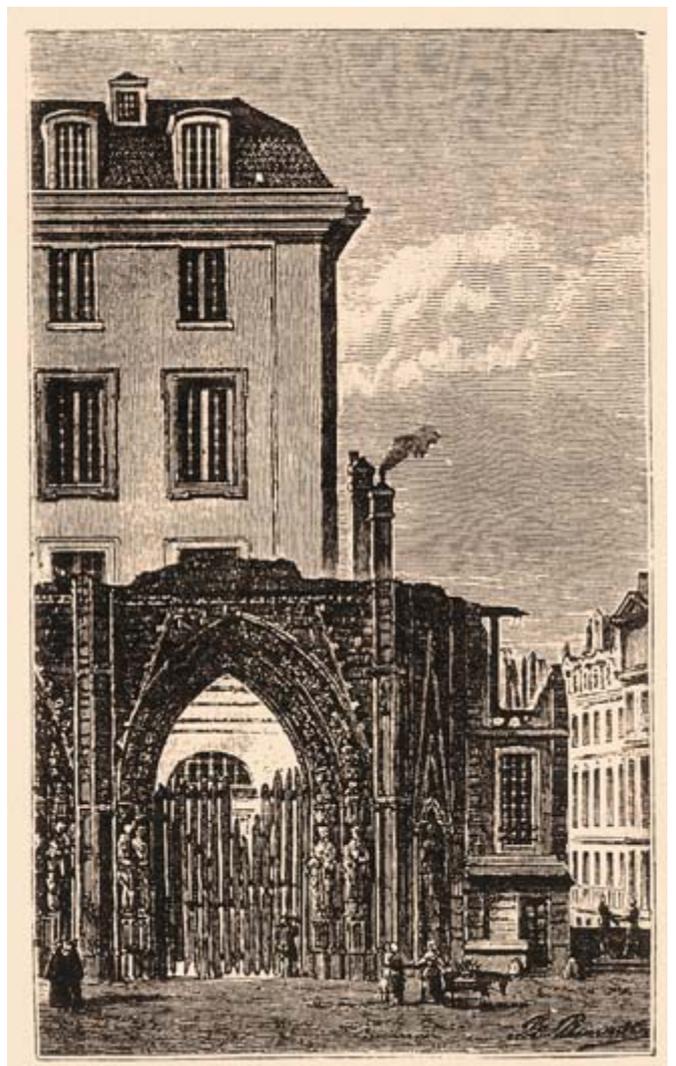
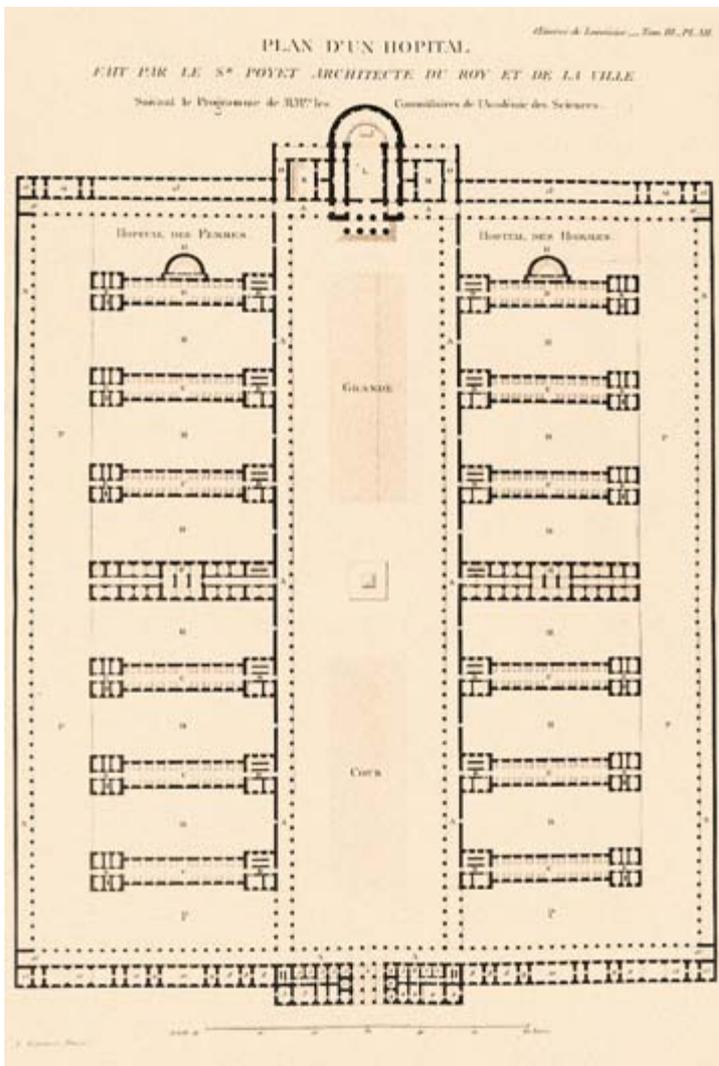
EN LOS AÑOS CRUCIALES DE SU CARRERA CIENTÍFICA, Lavoisier no había abandonado otras actividades. Antes bien, desde 1780 el químico francés venía intensificando su implicación en la reforma de numerosas instituciones públicas. En la segunda mitad de los años setenta adquirió 127 hectáreas de tierra de labor en Fréchines, una finca rústica entre Vendôme y Blois. Allí preparó algunos experimentos de agronomía, adoptando nuevos sistemas de estercolado y cultivos diferenciados. Esos experimentos le servían a Lavoisier no solo para extender las aplicaciones de los descubrimientos recientes en química pneumática, sino sobre todo para establecer nuevas técnicas en el desarrollo de la agricultura, el principal recurso económico del país.

Tras la colaboración con Turgot en los años 1774 y 1775, Lavoisier había manifestado un interés creciente en la economía, profundizando en la corriente de pensamiento conocida bajo el nombre de fisiocracia. De acuerdo con esa doctrina económica, la riqueza de una nación viene regulada por la productividad de la agricultura; asimismo, los productos de la tierra, amén de los manufacturados y comerciales, constituyen el parámetro principal para medir el bienestar y el desarrollo económico de una nación. Lavoisier tenía una visión económica menos rígida, que adscribía un papel no secundario a las manufacturas. Al menos, los experimentos agronómicos de Fréchines revelan con qué dedicación se había esforzado en confirmar las ideas de los fisiócratas.



Lavoisier en un busto de Jean Antoine Houdon.

MUSEO DEL LOUVRE, PARIS



Tras el incendio que en 1772 destruyó el viejo hospital parisiense del Hôtel-Dieu, la Academia de las Ciencias recibió el encargo de emprender un estudio para proyectar un nuevo hospital; la planta aquí ilustrada muestra la disposición de las salas en el proyecto de Lavoisier y B. Poyet.

el que, con su acostumbrada claridad, enumeraba las reformas que se debían introducir en el sistema carcelario. Para evitar peligrosos equívocos en la interpretación del texto, en la introducción a la relación el científico francés aclaraba aspectos de ese problema social delicado que, en su integridad, pertenecían al ámbito de la investigación científica, precisando que «todo lo que concierne a la circulación del aire y aireación; los medios para oponerse a la putrefacción o para prevenir sus efectos; en suma, todo lo que concierne a la salubridad de los lugares y a la salud de quienes que deben habitarlos: tales sujetos son de la competencia de la Academia».

La misión que Lavoisier se había propuesto era la de establecer las causas de

la insalubridad del aire de tres cárceles parisienses, cuya situación venía retratada con despiadada precisión del modo siguiente: «Las tres prisiones abarcan en conjunto quinientos veintidós tesas y media de superficie; albergan, en total, de seiscientas a ochocientas personas, a veces llegan al millar; si entramos en los detalles de su distribución, ofrecen el cuadro siguiente: patios extremadamente pequeños, edificios muy altos que se oponen a la circulación del aire, celdas minúsculas y muy bajas, donde se apiña un número muy elevado de prisioneros, celdas tan contiguas que ni el aire ni la luz encuentran fácil acceso y que de unas a otras pasa un aire infecto y ya viciado; ventanucos extremadamente estrechos y mal emplazados; jergones donde los pri-

LE SCIENCE



Vue perspective du nouvel Hôtel Dieu proposé par le S^r Poyet, prise du Chemin de Versailles.



Coupe en perspective de la Cour, du centre et des Salles du nouvel Hôtel Dieu.

Los vistas del proyecto de B. Poyet para el nuevo hospital del Hôtel-Dieu (1780). Abajo, los hospitales de París en 1818.



sioneros yacen más amontonados que tendidos; paja a menudo podrida que hace funciones de lecho; letrinas y urinarios que atraviesan la mayor parte de las celdas; cloacas de las que emergen vapores infectos que impregnan las habitaciones; calabozos donde el agua se filtra por la bóveda, donde las ropas de los prisioneros se pudren sobre el cuerpo, donde hacen sus propias necesidades; el suelo y el terreno inundados por doquier por un agua corrompida, porque a menudo no puede fluir con rapidez; por todas partes fango, piojos y corrupción. Tal es el espectáculo horrible que ofrecen las prisiones; es urgente destruirlo y reformarlo».

Resulta interesante advertir que, en las frías consideraciones científicas de Lavoisier sobre el estado de las cárceles,

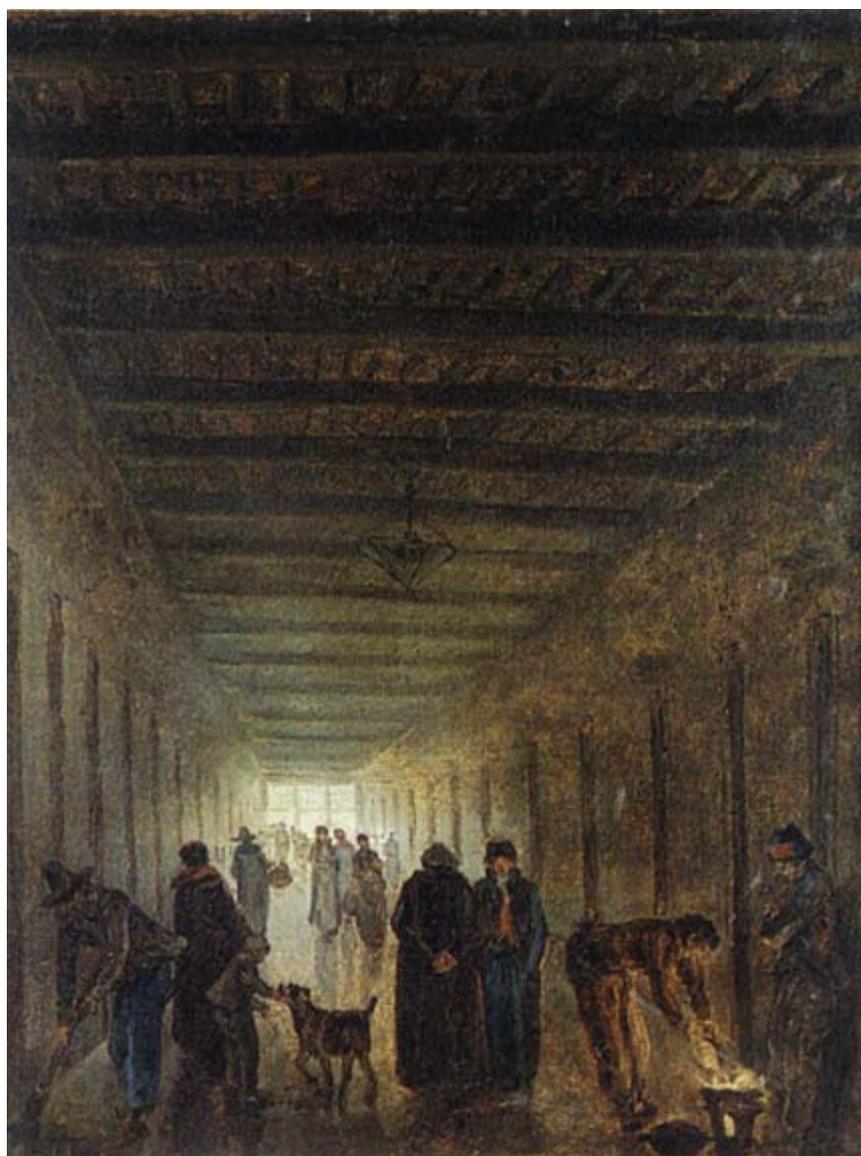
se desliza también una denuncia política y un programa de reformas sociales que debían guiarse por la ciencia. Si bien el científico francés no deseaba entrar en el valor del sistema jurídico que consentía la persistencia de tales sistemas de detención, su desánimo científico sobre las deficiencias de naturaleza técnica, arquitectónica e higiénica de las prisiones parisienses alcanzaba a formular una condena severísima y sin apelación al Estado absoluto. Por lo demás, Lavoisier había leído *Dei delitti e delle pene*, de Cesare Beccaria, con quien compartía su planteamiento ilustrado y reformador.

En el cuadro desolador que emerge del informe, Lavoisier oponía como remedios más urgentes la desinfección de las celdas y su ventilación constante. De las investigaciones eudiométricas se

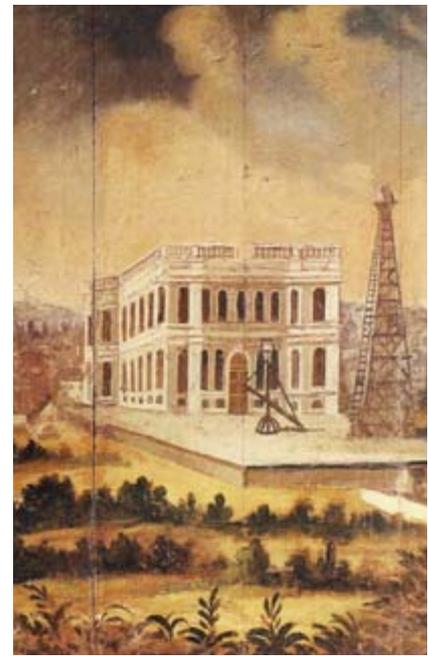
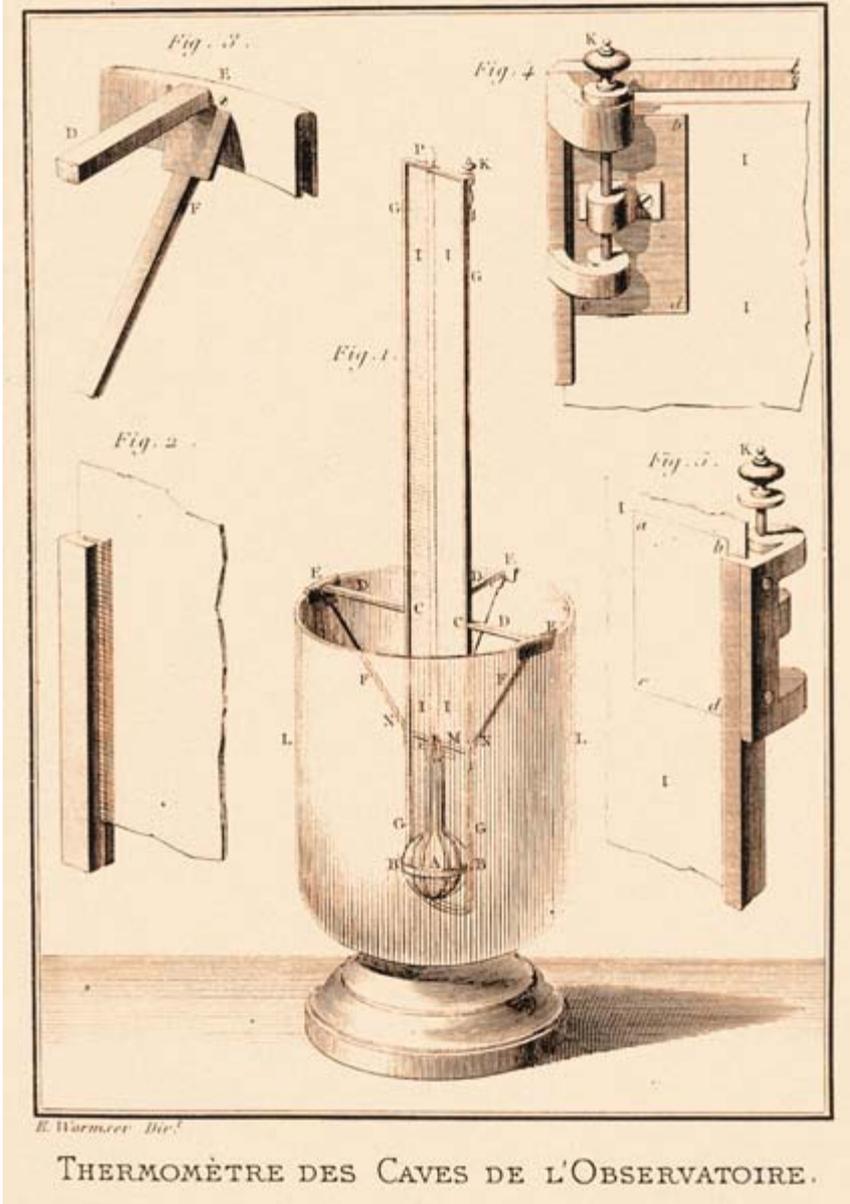
deducía con claridad que la causa preponderante de la difusión de epidemias y enfermedades entre los prisioneros residía en el estancamiento del aire pútrido y nocivo en las celdas. Pese a que los resultados que de Lavoisier hubieran merecido el reconocimiento de miembros ilustres del Estado y de la administración, el informe no comportó las resoluciones esperadas y, cuando, en la vigilia de su propia ejecución, en el mes de mayo de 1794, fue conducido a la Conciergerie, la célebre prisión del centro de París, encontró allí las mismas condiciones miserables que había observado en la inspección de 1780.

La dramática experiencia vivida durante el desarrollo del informe sobre las prisiones impulsó a Lavoisier a profundizar en sus investigaciones sobre la salubridad del aire, que consideraba por entonces un tema fundamental, no solo desde el punto de vista químico, sino también social y médico. A diferencia de Volta, quien ante las limitaciones del eudiómetro había cuestionado cualquier aplicación suya a la medicina, Lavoisier comprendió muy bien la potencialidad de tales investigaciones: el 15 de febrero de 1785 presentó ante la Real Sociedad de Medicina de París una importante y ambiciosa *Memoria sobre las alteraciones súbitas del aire, en las diversas circunstancias en las que los hombres se reúnen en sociedad*. Como se desprende del mismo título, las investigaciones eudiométricas se colocaban, por vez primera, en relación directa y explícita con los elementos sociales y las situaciones ambientales que contribuían a alterar la salubridad del aire. Lavoisier consideraba prioritario realizar las investigaciones sobre salubridad del aire en cárceles, hospitales y teatros, lugares donde la presencia de un gran número de personas podía modificar sustancialmente la composición del aire común.

Las investigaciones quimiofísicas sobre los principios constitutivos del aire respirable revestían particular importancia en medicina en la explicación de la fisiología pulmonar. Lavoisier había comprendido, en efecto, que las alteraciones del aire común en los lugares masificados debían comportar necesariamente consecuencias sobre los órganos de la respiración y que tales consecuencias condicionarían indirectamente el resto del organismo. El científico francés abordaba el tema de la salubridad del aire partiendo de la respiración y de las nociones ciertas que podían recabar-



La prisión de Saint-Lazare en 1793 en un cuadro de Hubert Robert.



Arriba, el Observatorio Astronómico de París; a la izquierda, termómetro instalado por Lavoisier en el sótano del Observatorio. Abajo, barómetro ofrecido por Lavoisier a la Academia de las Ciencias de Dijon.



se sobre esa función fundamental; recordaba que ya en 1777 había establecido que un animal podía sobrevivir en una determinada cantidad de aire solo durante un tiempo limitado y que, por analogía, un hombre podía sobrevivir solo una hora en una estancia de 0,1 metros cúbicos de aire común.

Lavoisier había observado, además, que, en condiciones normales, las proporciones entre oxígeno y nitrógeno en el aire permanecían constantes; por último, que el oxígeno, aislado del aire común, ejercía un efecto tóxico en los animales. Por consiguiente, lo que Volta y Landriani consideraban un gas eminentemente respirable, el único sin flogisto en su contenido, constituía en realidad una sustancia con efectos tóxicos, leta-

les en algunos casos. Apuntalado sobre tales datos fundamentales, el científico francés acometió una serie de ensayos eudiométricos en teatros y hospitales, con el fin de comprender los efectos que la reunión de muchas personas en un lugar cerrado podía ejercer sobre el aire. Dotado de un eudiómetro de aire nitroso, similar al empleado por Priestley, Lavoisier lo colocó en una sala de hospital llena de pacientes: comprobó una disminución de oxígeno y un aumento considerable de dióxido de carbono y nitrógeno. Idénticos resultados se habían recogido en una representación teatral en la *Comédie Française*. Resulta extraordinario que, a partir de contados experimentos realizados además con un instrumento poco fiable e impreciso, Lavoisier



Uno de los primeros lanzamientos de un globo Montgolfier, acontecido el 4 de junio de 1783 en Annonay.

acertara a extraer indicaciones útiles y nuevas, no solo sobre la naturaleza del aire común, sino también sobre diversos grados de salubridad.

En 1786, Lavoisier, junto con Laplace, De Assone, Jean Sylvain Bailly (1736-

1793), Louis Jean Marie Daubenton (1725-1801), Jacques René Tenon (1724-1816), Charles Auguste Coulomb (1736-1806) y Jean Darcet (1725-1801), había sido llamado a dirigir una comisión académica para proyectar la construcción

del nuevo hospital Hôtel-Dieu de París: una empresa tan difícil cuan necesaria, considerando que el hospital parisiense ocupaba la triste primacía de la tasa más alta de mortalidad, con más de un paciente por cada cuatro. También en esta ocasión, con su acostumbrada claridad y precisión, Lavoisier situaba la insalubridad del aire de las salas en el centro de su onerosa requisitoria. Por ejemplo, las salas de operación estaban circundadas de infraestructuras de plomo que, bajo la acción del calor ambiente, emanaban exhalaciones infectas. El primer remedio, y el más urgente, que se debía tomar contra este y otros problemas que afligían la vida de los pacientes hospitalizados estribaba en introducir un sistema eficaz de ventilación y de renovación del aire. En ausencia de ello, en cualquier circunstancia, el hombre se encontraría sometido al riesgo de sofocación, un riesgo que se vería agravado en el hospital por la presencia continua de exhalaciones y aires infectados por contagios y enfermedades. Una vez más, la esperanza de medidas inmediatas para la higienización del Hôtel-Dieu se frustró. El Estado, que en un comienzo había promovido y estimulado tales investigaciones, dejó morir la iniciativa.

Mayor éxito se cosechó en otra empresa: la construcción y el lanzamiento de globos aerostáticos, una iniciativa ideada por los hermanos Montgolfier y promovida por Lavoisier y la Academia de las Ciencias, desde 1783. El sueño antiquísimo de encontrar medios que le permitieran al hombre volar había adquirido visos de realidad con los descubrimientos de la química neumática. Tras haber observado que el hidrógeno era más ligero que el aire atmosférico, los hermanos Montgolfier comenzaron, en los años setenta, a emprender experimentos con globos pequeños de papel lleno de «aire inflamable». En la onda de los éxitos de esos primeros ensayos, la Academia de las Ciencias, con Lavoisier a la cabeza, financió ulteriores investigaciones y estableció laboratorios para la producción de hidrógeno. El 4 de junio de 1783 levantaba vuelo el primer globo aerostático, sin personas a bordo; en los meses siguientes, científicos, nobles y miembros de la alta burguesía francesa contendieron por subirse a esas máquinas maravillosas. Entre 1783 y 1784 se efectuaron en Europa centenares de lanzamientos, inaugurando así una nueva época para la historia de la aviación. □

1778-1784

Química, magnetismo y electricidad

La resonancia de los nuevos progresos en el sector de la química pneumática inspiró «descubrimientos» fantasiosos a personajes singulares. El más célebre de tales casos fue Mesmer, con su fluido magnético

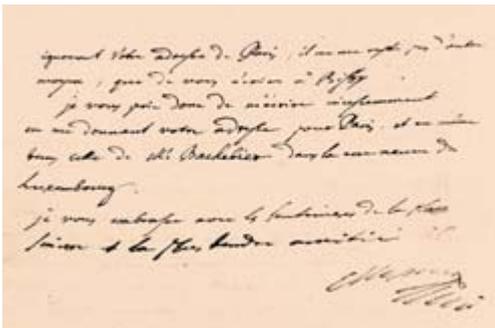
L ENTUSIASMO QUE SIGUIÓ AL DESCUBRIMIENTO DE tantos gases nuevos dio vida, en las postrimerías del siglo XVIII, a un programa intenso de investigaciones encaminado a determinar su posible aplicación en la terapia de diversas patologías. La posibilidad de combinar artificialmente el aire fijo con algunas aguas minerales dio vida al descubrimiento de numerosos fármacos nuevos capacitados para eliminar los cálculos biliares. Resaltemos el ejemplo del médico inglés Thomas Beddoes (1760-1808), uno de los más entusiastas a la hora de aplicar los gases a la curación de enfermedades muy dispares. A tal fin había preparado diversas medicinas de aire fijo, aptas, según afirmaba, para tratar el asma, los cálculos, las enfermedades venéreas, la tuberculosis y otros males muy extendidos en la época. En 1797 fundó también la Institución Pneumática, una suerte de fábrica de gases terapéuticos, destinada a la venta y difusión de nuevos fármacos. Sin embargo, los esfuerzos empeñados en Inglaterra en difundir y comercializar los gases para la cura de enfermedades tuvieron un éxito magro; la ciencia oficial, representada por la Royal Society, desanimaba su producción y uso, reputándolos remedios carentes de la seguridad necesaria.



Franz Anton Mesmer, inventor del «fluido magnético», disfrutó de una popularidad extraordinaria en la sociedad parisiense y fue protagonista de una áspera controversia con la Academia y con Lavoisier, que negaban sus pretensiones científicas.



LE MAGNÉTISME ANIMAL
 Importante Découverte par M^r Mesmer, Docteur en Médecine, de la Faculté de Vienne en Autriche.



Una sesión terapéutica en el estudio parisiense de Mesmer. Abajo, carta de Mesmer escrita durante su estancia en París.

La popularidad disfrutada por los hallazgos de tantos fluidos elásticos había inspirado a diversos naturalistas y charlatanes la invención de otros nuevos. El caso más espectacular fue, sin duda, el representado por el «descubrimiento» del fluido magnético por el médico austriaco Franz Anton Mesmer (1734-1815). Nacido en un villorrio de las cercanías del lago Constanza, Mesmer se inscribió en la facultad de medicina de Viena; en 1776 obtuvo el grado de doctor con una tesis titulada *Dissertatio physico-medica de*

plantarum influxu. En ese breve tratado se nos revelan los rasgos esenciales de su personalidad. Tras una sumaria descripción del sistema newtoniano sobre la atracción universal, Mesmer se proponía demostrar las posibles aplicaciones en medicina, defendiendo la teoría paracelista de la correspondencia entre macrocosmos y microcosmos.

Lo mismo que Paracelso doscientos cincuenta años antes, también Mesmer consideraba que el conocimiento de los astros resultaba fundamental para comprender las principales enfermedades que afligían al cuerpo humano. Un ejemplo tan famoso cuan antiguo era el del influjo de la Luna sobre los ataques de epilepsia —que no por azar recibía el nombre de «enfermedad de la Luna»—. La idea de la influencia de los astros sobre el hombre se encontraba tan enmohecida que,

al retomarla en pleno siglo de las Luces, la tesis de Mesmer cobró un éxito discreto. Por otro lado, el médico austriaco no se había ceñido a resucitar una doctrina en boga durante el Renacimiento, sino que se había preocupado también de adaptarla a las exigencias de cientificidad propias de la medicina del Setecientos. De ese modo, engarzando la ley de la gravitación universal de Newton con las observaciones publicadas por médicos prestigiosos (Thomas Bartholin, Bernardino Ramazzini y Thomas Sydenham), la tesis de Mesmer no solo respondía a criterios normativos de la ciencia oficial sino que, al menos en apariencia, ofrecía un modo original para ligar las doctrinas del matemático y físico más célebre del Seiscientos con las adquisiciones más recientes de la medicina. Esta estrategia, cuyo grado de conciencia desconocemos, consti-

tuirá el *leitmotiv* de toda la obra de Mesmer.

En 1772, el médico austriaco comenzaba a experimentar el magnetismo en el tratamiento de las enfermedades. El origen de esos intentos cabe remitirlo también a la concepción paracelsista que preveía la existencia de una relación de polaridad magnética entre el cuerpo humano y la calamidad. En realidad, la idea de que el magnetismo pudiera influir en el curso de algunas enfermedades había sido ya sostenida con anterioridad. En 1679, el médico escocés William Maxwell había publicado una obra, *De medicina magnetica*, en la que se presentaban muchas ideas que habría de sostener Mesmer.

Sin embargo, el médico austriaco se esforzaba en presentar esa vieja doctrina bajo una forma nueva: el mundo se hallaba rodeado por un fluido magnético, el cual, pese a su invisibilidad, podía reconocerse en sus efectos naturales. Tales efectos se hacían particularmente visibles durante las enfermedades de los seres vivos, que, en opinión de Mesmer, no eran otra cosa que la manifestación de un exceso o de un defecto de fluido magnético. Misión del médico era restablecer el equilibrio del fluido. Para lograrlo, Mesmer recurrió una vez más a Newton. En analogía con la gravitación universal que mantiene a los planetas en equilibrio armónico entre sí, el médico, dotado de la capacidad de atraer y repeler el fluido de los pacientes, podía restablecer su estado de equilibrio originario.

Habida cuenta de la presencia difusa del fluido, resultaba obvio que todas las enfermedades podían curarse con el remedio así ideado, que el médico austriaco tuvo cuidado en enriquecer con algunos interesantes recursos coreográficos, como el acompañamiento musical y el uso de dos varitas de hierro o de cobre. En su juventud, Mesmer había sido amigo de Mozart y le había inspirado algunos fragmentos de la *Flauta mágica*; él mismo había sido un violonchelista discreto. Las sesiones se desarrollaban del modo siguiente: el médico se situaba cerca del paciente, en la mayoría de los casos de sexo femenino, al objeto de crear un sistema bipolar; luego, apoyaba los pulgares sobre la cavidad del estómago del paciente sin ejercer presión alguna, realizando solo movimientos circulares. En razón de la localización de los dolores, Mesmer repetía este tipo de acción sobre otras partes del cuerpo, manteniendo



Grabado que representa a Lavoisier en su laboratorio (siglo XIX).

la mirada fija sobre el paciente y recorriendo, en determinadas ocasiones, a la hipnosis. Para agilizar el flujo del fluido magnético, Mesmer situaba algunas varillas de hierro en la proximidad de los pacientes, quienes, en casos extremos, eran rodeados de cadenas de hierro. Durante la sesión, un músico tocaba el clavicémbalo.

Cuando, en febrero de 1778, Mesmer hizo su ingreso en París, sus excéntricos métodos terapéuticos, acompañados del eco de los resultados obtenidos, habían extendido su fama por toda Europa. Pero el éxito clamoroso que esperaba en la ca-

pital francesa habría dejado en segundo plano todas las actividades y obras precedentes. Las noticias sobre la virtud milagrosa de la terapia mesmeriana se esparcieron raudas por la capital de la ciencia; en pocos meses, Mesmer podía contar con una clientela selecta y nutrida. Los aristócratas, y algunos científicos también, esperaban pacientemente ser recibidos por el sanador milagroso para experimentar personalmente la existencia y la virtud del tan ponderado fluido. La masonería parisiense, entonces poderosísima, tomó a Mesmer bajo su protección; también la reina María Antonieta mos-



Laboratorio de finales del Setecientos para la producción y la manipulación de los gases.

tró, por un breve período, vivo interés en la teoría del médico austriaco, prestándose a intervenir en su reconocimiento oficial.

En la onda de esas celebraciones clamorosas, que no se habían reservado a ningún científico francés, Mesmer sintió la exigencia de ser reconocido también por las principales instituciones científicas parisienses, en particular por la Academia de las Ciencias. Pero no tardaron en llegarle las primeras desilusiones. Diversas comisiones científicas, la más autorizada de las cuales estaba compuesta por Lavoisier y Benjamín Franklin (1706-1790), fueron llamadas a examinar los fundamentos de la doctrina de Mesmer. Tras varios experimentos, a los que se sometieron los propios científicos, Lavoisier y sus ilustres colegas no hallaron ningún elemento que pudiese comprobar la existencia de un

fluido magnético. En el mejor de los casos se reconocía en Mesmer la capacidad de sugestionar a los pacientes hasta el extremo de hacerles creer en los efectos beneficiosos de la terapia.

Los requerimientos reiterados instados por la comisión para que aislara experimentalmente el fluido magnético eran sistemáticamente ignorados por Mesmer porque, según este, estaban condicionados por un prejuicio negativo de partida contra la teoría del magnetismo animal. En realidad, los requerimientos de Lavoisier y Franklin no eran tan absurdos. A Mesmer se le solicitaba solo que demostrara experimentalmente la existencia del fluido magnético en el cuerpo humano. Se trataba de un presupuesto obvio para cualquiera que hubiera hecho propios los principios del método científico. La ciencia del Setecientos se había liberado, por fin, tras siglos de extenuan-

tes controversias, de los entes metafísicos y de todo lo que no podía recibir verificación experimental.

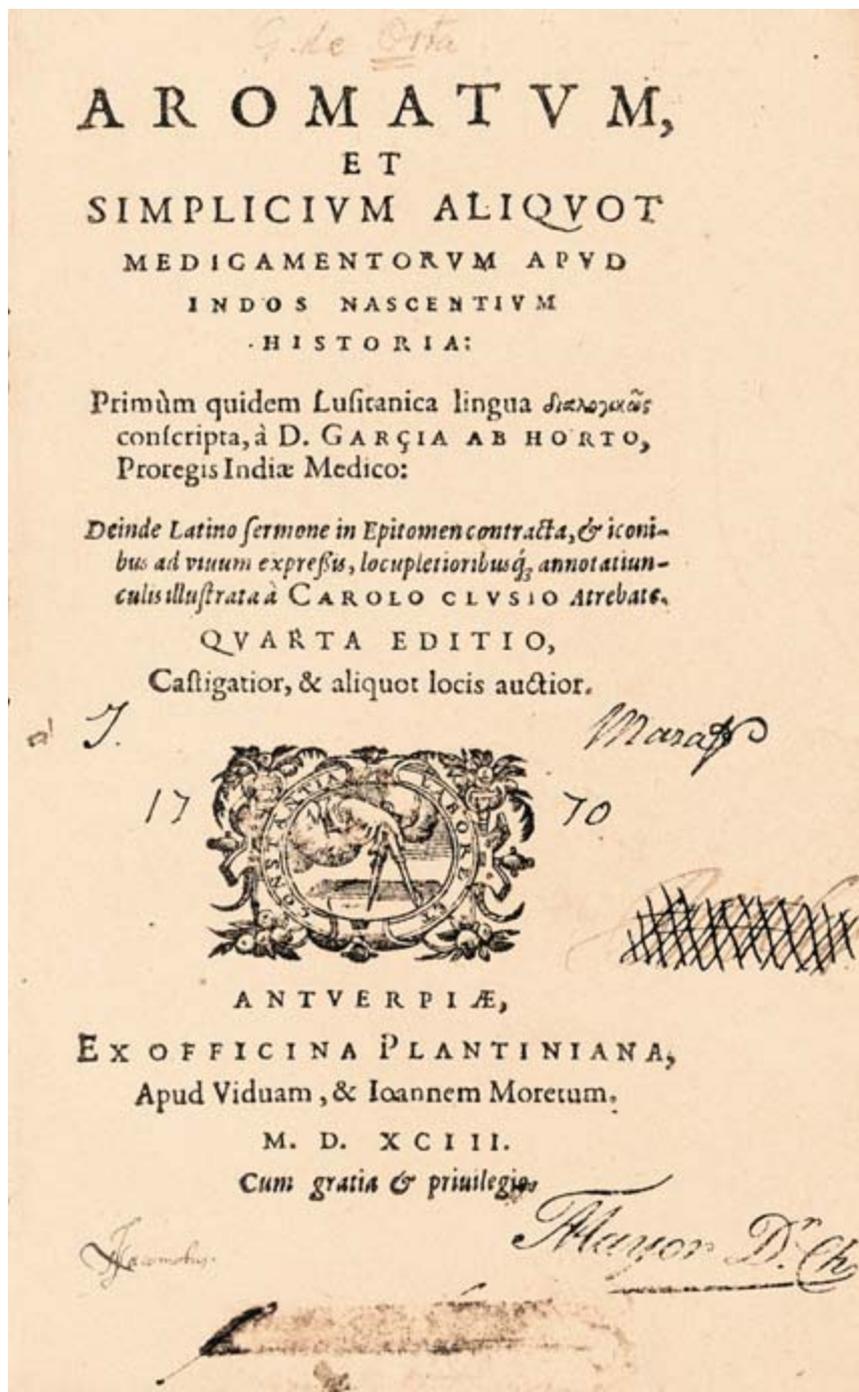
Nada, sin embargo, podía hallarse más alejado de la práctica terapéutica del médico austriaco que la demostración inductiva de un asunto. La existencia del fluido magnético se demostraba simplemente sobre la base de las curaciones, establecidas naturalmente por el propio Mesmer, de sus pacientes. La respuesta de Mesmer no podía sorprender, tan enraizada se hallaba en la tradición de las ciencias ocultas. Sí sorprende, en cambio, el esfuerzo que les costó a Lavoisier y a sus colegas rechazar las peligrosas insidias de ese charlatán y restablecer el papel que la ciencia había adquirido tras siglos de lucha contra la superstición y la credulidad. De pronto, el prestigio cultural de la institución científica más reputada de Europa, la Academia de las Cien-

cias, aparecía superado por un hombre solo. La popularidad y la autoridad de científicos de la talla de Franklin y Lavoisier parecían impotentes frente a la celerísima expansión de la doctrina de Mesmer.

La desventaja del método científico de Lavoisier sobre el propugnado por Mesmer había sido perspicazmente percibida por un matemático de la Academia de las Ciencias, quien —según cuenta su compañero Lacroix— a propósito de los charlatanes «pensaba que son tomados demasiado en serio, o no lo suficientemente en serio. Si los crédulos les dan una fe ilimitada, la gente culta suele despreciarlos sin escucharlos». En los primeros veía una ignorancia ciega; en los segundos, el deseo de castigar un éxito que llega con suma facilidad y les irrita. A tales consideraciones añadía que «todo error que se encuentra constituye una suerte de progreso en la investigación de la verdad, si, como parece sugerir la historia del pensamiento humano, somos incapaces de descubrir lo que es verdadero hasta que no hemos pasado lista de todos los absurdos posibles».

Ante el bochorno súbito, Mesmer pasó al contraataque. Sintiendo fuerte con la protección que había conseguido obtener de la masonería parisiense, de aristócratas y de la misma reina, replicaba al fracaso de sus experimentos públicos declarando que el fluido constituía «una verdad esencial para la felicidad de la humanidad». Si los científicos no se daban cuenta, explicaba en una epístola al médico Felix Vicq d'Azir, era culpa entera de ellos: «No basta que yo quiera ser el benefactor de los hombres; es necesario también que acepten el don. Sobre todo, es necesario que crean». He ahí se explicaba por qué los experimentos no podían producir su fruto si los pacientes eran miembros de una institución científica con prevención ante el magnetismo.

A lo largo de varios años, todavía la disputa entre Mesmer y la ciencia oficial continuó polarizando los debates periódicos de París. En julio de 1782, por invitación de la marquesa de Fleury, Mesmer aceptó abandonar París, instalándose en Spa para fundar una clínica. Mas la historia del fluido magnético no terminó con el exilio. Durante decenios, los seguidores del magnetismo animal prosiguieron en su defensa, con fanatismo religioso, de las doctrinas del maestro, hasta el extremo de que en 1783 se fundaría una Sociedad de la Armonía, cuyo fin principal era la contemplación de la armonía del uni-



Libro de farmacología que perteneció a Marat, con su ex libris.

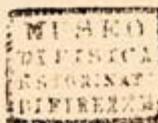
verso a través de la observación de las influencias recíprocas de los cuerpos. A la manera de una secta religiosa, la Sociedad establecía preceptos morales, y naturalmente económicos, sobre el modo en que los adeptos deberían conducir su vida. Por tanto, si la naturaleza de las cosas no se adecuaba a la doctrina de Mesmer, había llegado el momento de que los hombres se adaptaran a esta para ser sus testigos vivos.

Los resultados de la comisión científica que se habían ocupado de las terapias mesmerianas fueron publicadas en 1784 en un volumen colectivo titulado *Informe sobre el examen del magnetismo animal*, donde se establecía que el método era un mero truco, cuyo éxito venía alimentado por la combinación de credulidad popular y carisma del médico austriaco. No obstante ello, y más allá de las políticas y embelecos de Mesmer, que

RECHERCHES PHYSIQUES SUR L'ÉLECTRICITÉ;

Par M. MARAT, Docteur en Médecine, &
Médecin des Gardes du Corps de Monseigneur
le Comte d'ARTOIS.

Prix 5 liv. Broché.



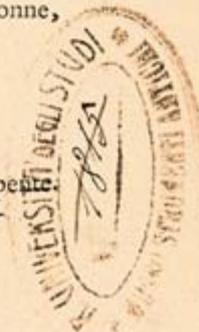
A P A R I S ,

De l'Imprimerie de CLOUSIER, rue de Sorbonne,
attenant celle des Mathurins.

Chez { NYON, l'aîné, rue du Jardinier.
NYON, le cadet, quai de Conti.
BELIN, rue Saint-Jacques.

Et au Bureau du Journal de Physique, rue & Hôtel Serpente.

M. DCC. LXXII.
Avec Approbation, & Privilège du Roi.



Retrato de Jean Paul Marat y frontispicio de sus *Recherches physiques sur l'électricité* (1782)

escrito numerosos tratados. Entre 1766 y 1775 tuvo abierta una farmacia en Church Street de Londres, donde, en calidad de médico, suministraba medicinas de origen químico con las que se ganó cierto predicamento.

En 1776, Marat había publicado un tratado de título *An enquiry into the nature, cause and cure of singular disease of the eyes*, donde, entre otras cosas, explicaba haber logrado relajar los músculos del ojo de una paciente afligida de graves problemas de vista, sirviéndose de electricidad. A partir de esa experiencia, pasó a establecer que siete de cada diez enfermedades podían curarse con el uso del fluido eléctrico. Lo mismo que Mesmer, Marat quería legitimar su propia teoría y buscó la intercesión de Franklin, sin conseguir nunca el respaldo esperado. Más infructuosos todavía fueron los intentos de Marat, de vuelta en París en 1776, de obtener el reconocimiento de su terapia por la Academia de las Ciencias y, en particular, por Lavoisier, a quien se le había pedido un informe sobre la teoría del joven médico.

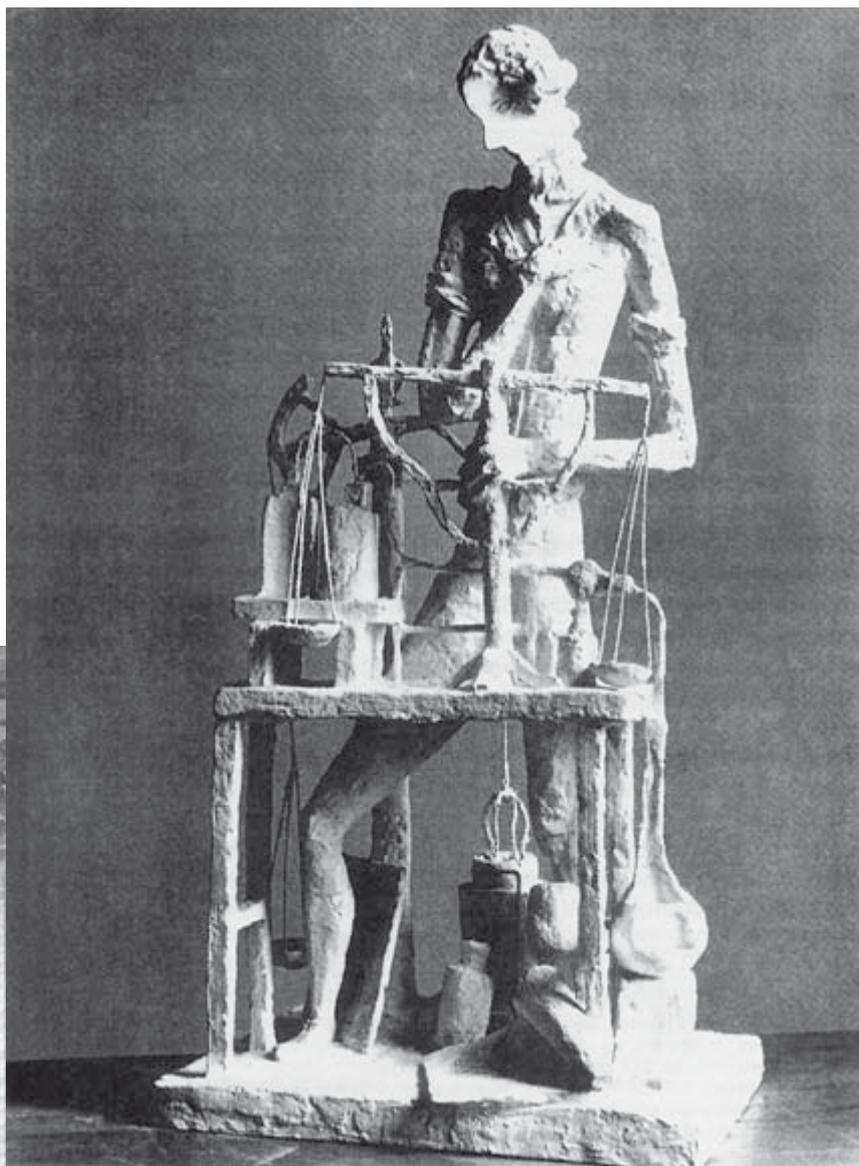
El 10 de mayo de 1779, la Academia emitió una respuesta lapidaria sobre las experiencias de Marat: «Sería inútil entrar en detalles para darla a conocer; para los comisarios se trata de una doctrina contra natura y no pueden, por consiguiente, otorgarle el respaldo académico». La carrera científica de Marat sufrió una con-

tuvieron una escasa continuidad, la fe en la existencia de un fluido magnético con propiedades taumatúrgicas volvió a presentarse en nuevas oleadas en los siglos XIX y XX. Tales intentos, sin embargo, fueron quedando progresivamente marginados por la comunidad científica internacional hasta convertirse, en el día de hoy, en una práctica cuya credulidad no supera la de la cartomancia u otras ciencias ocultas.

Otro caso, mucho menos ruidoso, de charlatanería ligada al descubrimiento de nuevos fluidos fue el protagonizado por Jean Paul Marat (1743-1793), muy pronto uno de los personajes clave de la Revolución Francesa. Antes de ocuparse de política y convertirse en uno de los periodistas más famosos de la Francia revolucionaria, a lo largo de varios decenios, Marat, que a la sazón residía en Inglaterra, había cultivado la medicina y

dena humillante y sin apelación. Algunos historiadores sostienen que, por culpa de tales frustraciones, Marat comenzó a alimentar una profunda animosidad contra la comunidad científica de París, y han interpretado sus célebres ataques contra la Academia de las Ciencias como el efecto más palmario de las frustraciones sufridas en calidad de científico. Aun cuando el nexa nos parezca excesivo, no cabe duda de que el *Ami du peuple* (título de su famoso periódico revolucionario) no se comportó de manera indulgente contra sus censores, en particular contra Lavoisier, manteniendo una campaña dura de deslegitimación de la ciencia oficial.

El éxito clamoroso de la teoría del magnetismo animal y los ataques de Marat



Lavoisier en una escultura de 1957 de Ossip Zadkine (*arriba*) y la estatua a él dedicada en París, obra de L. E. Barrias, demolida durante la ocupación nazi (*izquierda*).



MAISON DE LA CHIMIE, PARIS (escultura)

contra la Academia no pudieron, pues, superarse sino con un gran esfuerzo, sembrándose en muchos la sospecha de que el prestigio de la Academia de las Ciencias se regía más por la autoridad que por el valor real científico de su actividad. Lavoisier se contó entre los más decididos en la defensa de la institución, atacando sin medias tintas la incoherencia teórica y experimental de las nuevas interpretaciones sobre fluidos elásticos. Tal planteamiento, coherente con su concepción de la ciencia, suscitó la antipatía de numerosos científicos y filósofos y, como veremos, en las fases tardías de su vida le sería imputado como un grave cargo de acusación. □

1789-1790

La revolución química

La actividad científica de Lavoisier culmina con la publicación del *Traité élémentaire de chimie*, obra fundamental que, a la luz de los descubrimientos sobre los gases, abre una nueva era para la química

DESPUÉS DE MÁS DE TREINTA AÑOS DE CARRERA científica, Lavoisier no había publicado todavía una obra completa. Los *Opuscules physiques et chimiques* de 1774 anunciaban en su frontispicio una continuación que nunca se llevó a término. El *Méthode de nomenclature chimique* había sido un trabajo de equipo en el que se presentaba la nueva nomenclatura más que los principios de la nueva teoría. La traducción francesa del *Essay on phlogiston*, de Richard Kirwan, representaba una ocasión para desatar el ataque final de la teoría del flogisto de Stahl. Para tener un cuadro de conjunto de los contenidos de la teoría del oxígeno, los químicos se veían, pues, obligados a leer todas las memorias publicadas por Lavoisier de 1775 a 1788, reconstruyendo una trayectoria sumamente compleja y pluriforme.

Lavoisier había comenzado muchas veces la redacción de un tratado general de química, donde sintetizara su propia teoría. Se han rastreado esbozos manuscritos que se remontan a 1780. Sin embargo, las actividades frenéticas en que siempre se hallaba involucrado y la rápida extensión de los conocimientos experimentales sobre los gases se habían interpuesto en su voluntad de llevar a término la obra tantas veces incoada. El 17 de enero de 1789, Lavoisier publicó los dos volúmenes del *Traité élémentaire de chimie*, una obra destinada a abrir una nueva época para la química; con ello revolucionó todo lo que en el pasado parecía construido sobre sólidos fundamentos teóricos. La obra presentaba los descubrimientos neumáticos, según un orden audaz e innovador, que colocaba la definición y la función química en el marco de la nueva teoría del oxígeno.

Frontispicio del *Traité élémentaire de chimie* (1789), la primera obra conocida de Lavoisier.



Manuscrito de la tabla de las sustancias simples. Abajo, correcciones autógrafas de Lavoisier al *Traité*.

Un largo discurso preliminar permitía a Lavoisier precisar el origen y el significado general de la obra. El químico francés declaraba que había nacido de una ulterior profundización en los principios que le habían guiado en 1787 hasta la reforma de la nomenclatura química. Los principios de filosofía del lenguaje de Condillac —según los cuales «nosotros pensamos solo con la ayuda de las palabras; las lenguas son genuinos métodos analíticos; el arte de razonar se reduce a un lenguaje bien construido»— llevaron a Lavoisier a reformar la química en sus fundamentos teóricos, amén de experimentales. En efecto, «la imposibilidad de aislar la nomenclatura de la ciencia y la ciencia de la nomenclatura deriva del hecho de que toda ciencia física está formada necesariamente por tres componentes: el elenco de hechos que constituyen la ciencia; las ideas que los reclaman; y las palabras que los expresan. La palabra debe generar la idea; la idea debe representar el hecho: se trata de tres improntas de un mismo sello».

Tal filosofía de la ciencia, aplicada al caso particular de la química, inducía a Lavoisier a denunciar la carencia total de reflexiones teóricas y filosóficas sobre la constitución de la materia. La química, en efecto, parecía hallarse constituida única y exclusivamente por la «serie de

Premier tableau.

Tableaux des Substances Simples, ou de ceux qui l'état actuel de nos Connoissances, nous ont été considérés comme telles.

<p style="text-align: center;">Substances Simples qui se trouvent dans la Nature.</p> <p>Substances Simples qui se trouvent dans la Nature, qui ont été considérées comme telles, par Lavoisier & Laplace.</p> <p>Substances Simples qui ont été considérées comme telles, par Lavoisier & Laplace.</p>	<p style="text-align: center;">Substances Simples qui ont été considérées comme telles, par Lavoisier & Laplace.</p> <p>Substances Simples qui ont été considérées comme telles, par Lavoisier & Laplace.</p>
---	---

de la constitution de l'atmosphère.

DE LA FORMATION DES ATMOSPHÈRES.

145. — CHAPITRE II.

C. P. Lavoisier & Laplace.

Sur les principes généraux de la formation de l'atmosphère de la terre.

LES considérations que je viens de présenter sur la formation des fluides élastiques aériens ou gazeux, jettent un grand jour sur la manière dont se sont formées, dans l'origine des choses, les atmosphères des planètes, & notamment celle de la terre. On conçoit que cette dernière doit être le résultat & le mélange 1°. de toutes les substances susceptibles de se vaporiser ou plutôt de se dissoudre dans l'état aérien, au degré de température dans lequel nous vivons, & 2°. d'une portion égale au poids d'une colonne de mercure de 28. pouces de hauteur & 2°. de toutes les substances fluides ou coagulables susceptibles de se dissoudre dans cet assemblage de différents gaz.

Pour mieux fixer nos idées relativement à cette matière sur laquelle on n'a point encore assez réfléchi, considérons au moment où qui arriveroit aux différentes substances qui composent le globe, si la température en étoit brusquement changée. Supposons, par exemple, que la terre se trouvât transportée tout à coup dans une région beaucoup plus chaude du système solaire; dans la région de mercure, par exemple, où la chaleur habituelle est probablement fort supérieure à celle de l'eau bouillante; bientôt l'eau, tous les fluides susceptibles de se vaporiser, & de se transformer en fluides aériens ou gazeux, qui deviendroient parties de l'atmosphère. Ces nouvelles espèces d'air se mélangeroient avec celles déjà existantes, & il en résulteroit des décompositions réciproques, des combinaisons nouvelles, jusqu'à ce que les différentes affinités se trouvant satisfaites, les principes qui composeroient ces différents airs ou gaz, arrivassent à un état de repos. Mais une considération qui se doit pas échapper, c'est que cette vaporisation même avoit des suites: en effet à mesure que la quantité des fluides élastiques augmenteroit, la pesanteur de l'atmosphère s'accroîtroit en proportion; or, puisqu'une pression quelconque est un obstacle à la vaporisation, puisque les fluides les plus évaporables peuvent résister, sans se vaporiser, à une chaleur très-forte, quand on y oppose une pression proportionnellement plus forte encore; en sorte que l'eau elle-même & tous les liquides, peuvent éprouver dans la machine de



El gasómetro de Lavoisier, construido en 1787 por Mégnié.

naturaleza de los elementos se agota, en mi opinión, en discusiones puramente metafísicas: se trata de problemas indeterminados que se propone resolver, que son susceptibles de una infinidad de soluciones, pero de las cuales es probable que ninguna concuerde con la naturaleza. Me limitaré, pues, a decir que, si con el nombre de elementos queremos designar las moléculas simples e indivisibles que componen los cuerpos, es probable que no los conozcamos. Por el contrario, si vinculamos al nombre de elementos o principios la idea de término último al que llega el análisis, todas las sustancias que no hayamos podido descomponer las consideraremos elementos; no porque podamos asegurar que esos cuerpos que consideramos simples no estén compuestos de dos o incluso de un número mayor de principios, sino porque estos principios no se separan o, por mejor decir, porque no tenemos medio de separarlos.»

La definición instrumentalista de elemento dada por Lavoisier se hallaba, pues, subordinada a los resultados experimentales del análisis químico que, en 1789, habían permitido aislar 33 elementos considerados simples. La tabla de esas sustancias, sensiblemente puesta al día con respecto a la presentada dos años antes, la subdividía Lavoisier en cuatro clases. La primera estaba constituida por las cinco sustancias simples: a saber, la luz, el calórico, el oxígeno, el hidrógeno y el hidrógeno, que podían considerarse elementos genuinos. La segunda clase la integraban sustancias simples no metálicas oxidables y acidificables, como el azufre o el fósforo. La tercera clase, la más nutrida, estaba representada por las sustancias metálicas acidificables y oxidables; a la cuarta clase, por fin, se adscribían las sustancias simples terrosas, la arcilla por ejemplo.

hechos» empíricos y experimentales, mientras que las ideas que debían representarlos resultaban inadecuadas, y las palabras para definirlos, ausentes. Partiendo de un examen detenido del lenguaje químico, Lavoisier había arribado a explorar un horizonte de investigación enteramente nuevo.

Apuntalado sobre ese enfoque, Lavoisier afirmó que las investigaciones seculares sobre el número y la naturaleza de los elementos eran especulaciones metafísicas, privadas de cualquier fundamento científico. Las encendidas controversias que de Aristóteles a Stahl habían caracterizado la naturaleza misma química, se iban arrumbando a favor de una

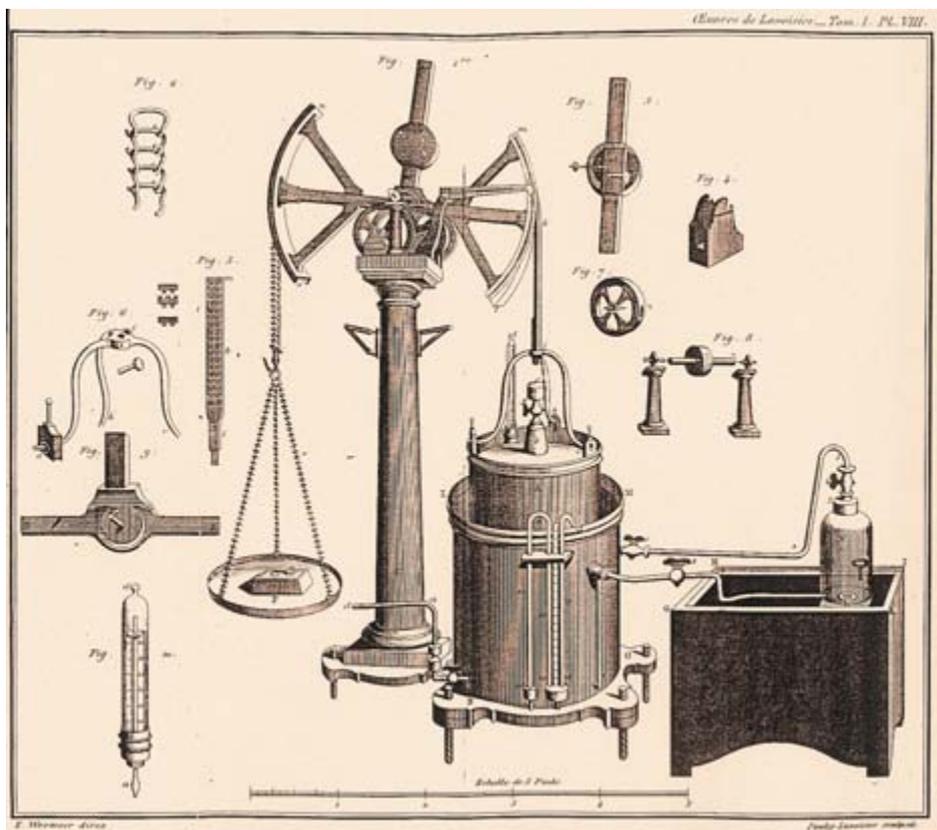
nueva noción de elemento. Los cuatro elementos de Aristóteles, los tres principios de Paracelso, las tres tierras de Becher, el flogisto de Stahl, así como todos los elementos o sustancias que se habían supuesto principios constituyentes de la materia, en el examen experimental del laboratorio manifestaron ser cuerpos compuestos y, en algunos casos, fantasmagorías.

La definición de elemento de Lavoisier, por el contrario, ponía fin al empeño extenuante de reducir la complejidad de la materia a un número limitado de elementos simples. «Lo que se puede decir —escribía en el discurso preliminar— sobre el número y sobre la

La consecuencia natural de esa revolucionaria física de la materia era una nueva definición de la química. En el costado de la tabla de las sustancias simples, Lavoisier dejó escrito: «La química, sometiendo los distintos cuerpos de la naturaleza al examen de ensayo, tiene por objeto descomponerlos y ponerlos en situación de poder examinar por separado las diferentes sustancias que entran en su combinación». Tal definición comportaba un corolario: la introducción en los experimentos de medios e instrumentos rigurosos. En la tercera parte del *Traité élémentaire de chimie*, Lavoisier presentaba un número impresionante de instrumentos, muchos de los cuales absolutamente nuevos, para su empleo en un laboratorio de química. Algunos, como el areómetro para medir los pesos específicos de los cuerpos, el termómetro, las balanzas de alta precisión, el pirómetro y otros instrumentos de física, los habíamos encontrado ya en las obras juveniles del químico francés. Otros, como el calorímetro y el gasómetro, eran resultado de descubrimientos más recientes sobre los gases y otros fluidos elásticos.

Con el auxilio de estos instrumentos, Lavoisier había cuantificado con exactitud las modificaciones de cantidades específicas y generales de materia, poniendo a disposición de sus contemporáneos resultados numéricos difícilmente rebatibles. Para adquirir su instrumental, Lavoisier no había ahorrado en gastos. Su laboratorio del Arsenal contenía instrumentos cuyo coste individual podían valer 12.000 euros de hoy. Con respecto a medio siglo antes, los costes de la investigación científica habían aumentado enormemente; solo quien disponía de una ingente fortuna personal, o de un sustantivo apoyo financiero por parte de academias e instituciones científicas, podía esperar realizar nuevos descubrimientos. Lavoisier había sido el protagonista de esa transformación radical de la función y de la estructura del laboratorio químico, invirtiendo en la investigación científica una buena parte de la fortuna que había amasado en su cargo de recaudador general. Para hacerse una idea de la riqueza del laboratorio del Arsenal, baste mencionar la presencia de diecisiete termómetros con diferentes graduaciones, adaptados para registrar las variaciones de temperatura de diferentes reacciones químicas.

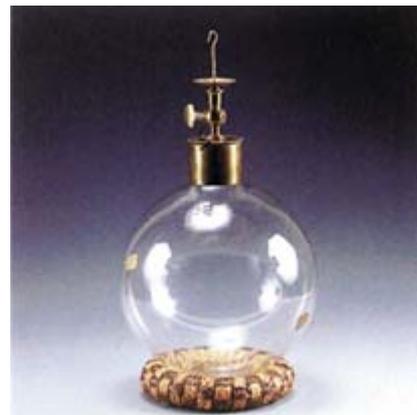
La importancia de los instrumentos se nos muestra nítida cuando observa-



Láminas del *Traité*; aparecen ilustrados el gasómetro (arriba) y el calorímetro.

mos con atención los detalles del famoso retrato del matrimonio Lavoisier, pintado por David en 1788 (véase la ilustración de la página 56), donde se distinguen sobre la mesa del lado del químico francés un gasómetro de mercurio y un eudiómetro, además de varias campanas de vidrio para recoger los fluidos elásticos. La concepción cualitativa de las experien-

cias químicas indujo a Lavoisier a establecer en el *Traité* el principio de conservación de la masa, conocido hoy por ley de Lavoisier: «Se puede poner por principio que en toda operación hay una cantidad igual de materia antes y después de la operación; que la cualidad y la cantidad de los principios es la misma y que solo se dan algunos cambios y algunas



A la izquierda, detalle del famoso retrato del matrimonio Lavoisier pintado por David en 1788. Arriba, el instrumento original correspondiente, que hoy se encuentra en el Conservatorio Nacional de Artes y Oficios de París.

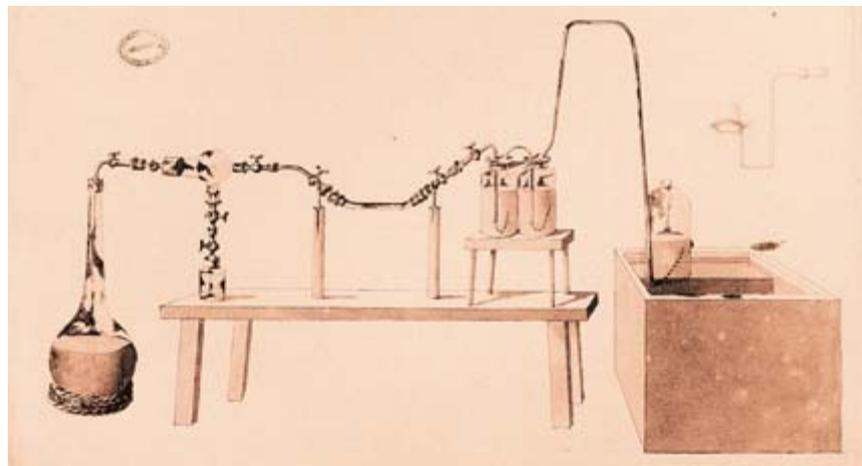
modificaciones. Sobre este principio se funda el arte entero de realizar experimentos en química: en todos estamos obligados a suponer una verdadera igualdad, o ecuación, entre los principios del cuerpo que se examina y los que se sacan del análisis».

La ley de Lavoisier parece evocar el axioma materialista expresado por Lucrecio en su *De rerum natura* unos 2000 años antes, según el cual los cuerpos «no pueden ser creados de la nada, ni, una vez nacidos, retornar a la nada». Sin la menor duda, el poeta latino había expresado con

gran claridad y en más de un pasaje la imposibilidad de que los átomos de materia se disolvieran en la nada, pero Lavoisier precisaba el significado de ese principio mediante la agregación de las pruebas científicas de ensayos de laboratorio. En oposición a cuantos, de Aristóteles a Stahl, habían visto en las reacciones químicas un cambio cualitativo, Lavoisier estableció que, durante las mismas reacciones, se asistía a transformaciones puramente cuantitativas. Pese a permanecer constante la masa, el peso específico de los reactivos cambiaba al generarse la reacción

química. Anclar la química en factores puramente ponderales y cuantitativos representaba una innovación que apenas unos años antes parecía inconcebible. Además de esas novedades teóricas y metodológicas, Lavoisier retomaba en el *Traité* más de veinte años de investigación experimental, acabando por poner de manifiesto los principios que presidían la teoría del oxígeno.

Las novedades del *Traité élémentaire de chimie* no afectaban solo a los contenidos, sino también a la disposición de las materias. Los manuales de química tradicionales comenzaban con el análisis de los instrumentos de laboratorio; seguía una breve digresión teórica sobre el número de los elementos, para concluir con una lista de análisis de sustancias de origen vegetal, animal y mineral cuyas cualidades terapéuticas se indicaban. Este tipo de dependencia de la química con respecto de la investigación farmacológica venía motivado por el hecho de que quienes cultivaban la química en la segunda mitad del Setecientos se halla-



Instrumentos utilizados por Lavoisier para los ensayos sobre la fermentación, en dibujo original de su esposa.

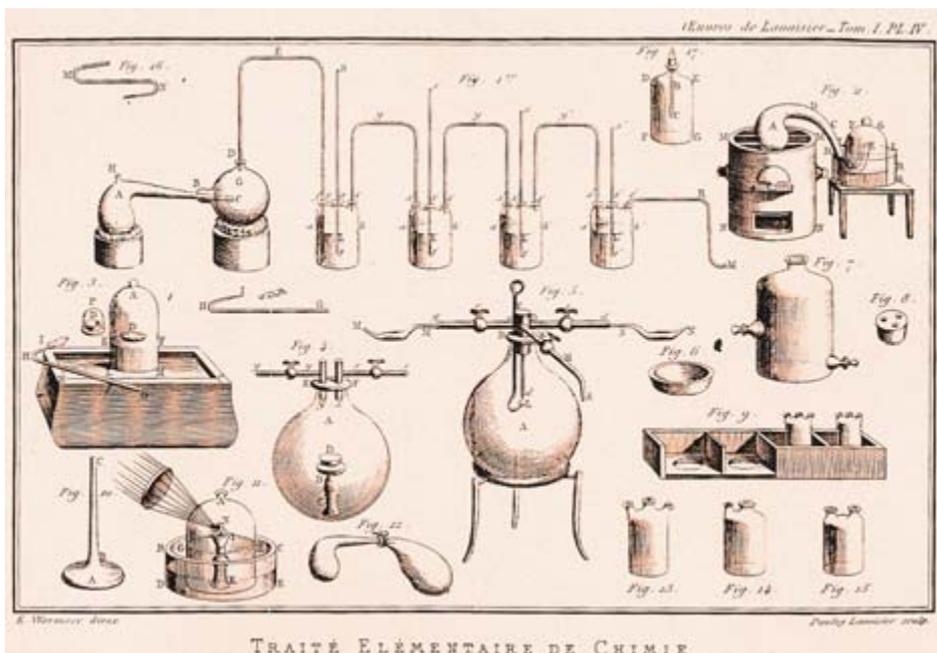
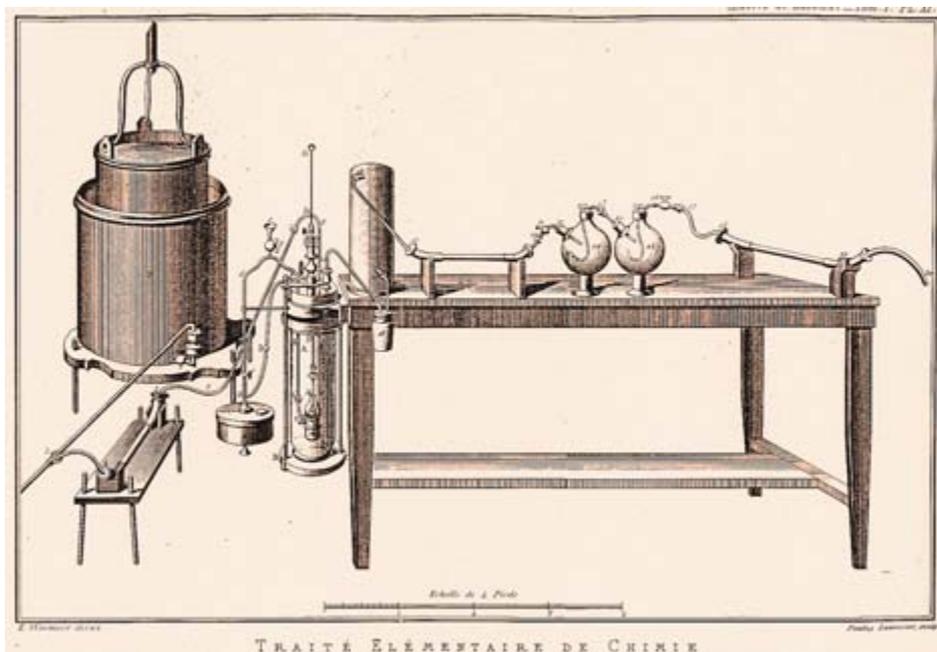
MUSEO METROPOLITANO DE ARTE, NUEVA YORK (arriba, izquierda); © CONSERVATORIO NACIONAL DE ARTES Y OFICIOS, PARÍS (arriba, derecha); ARCHIVOS DE LA ACADEMIA DE LAS CIENCIAS, PARÍS; DOSIER LAVOISIER 429 (abajo)

ban en buena medida estrechamente ligados a las exigencias de médicos y boticarios. Stahl era médico; Rouelle, maestro de Lavoisier, farmacéutico, igual que la inmensa mayoría de los químicos profesionales.

Lavoisier, como sabemos, no era químico profesional y, por consiguiente, no tenía por qué compartir las costumbres literarias y las prioridades científicas de sus contemporáneos. Una vez entendido que los descubrimientos sobre los gases y, en particular, sobre el oxígeno podían cambiar el concepto tradicional de combinación química, no quedaban obstáculos para que se procediera a una reforma total del saber. Estas circunstancias favorables le permitían ensayar una nueva forma a través de la cual presentar el objeto de la química. El *Traité* se subdividía en tres partes. En la primera, Lavoisier abordaba las causas de la formación de los fluidos elásticos mediante el examen de diversos métodos de descomposición de los gases. Se ilustraban también las causas de la combustión y de la acidez que, según hemos visto, guardaban una estrecha relación con la definición de oxígeno.

Resulta significativo que el *Traité* fuera la primera obra que fundamentaba el edificio entero de la química sobre la definición de los gases. Entre los fluidos aeriformes, Lavoisier atribuía un papel especial al «calórico», que se consideraba el principio de los diversos estados en que podía presentarse una sustancia. Los cuerpos eran sólidos, líquidos o se hallaban en estado elástico en razón de la «relación existente entre la fuerza atractiva de sus moléculas y la fuerza repulsiva del calor, o según el grado de calor al que se encontraban sometidos». Puesto que con el aumento de la temperatura los cuerpos tendían a adquirir el estado gaseoso, el calor se convertía en la condición indispensable, si no la causa principal, de la existencia de los gases.

La dificultad de esa hipótesis ingeniosa estribaba en la dificultad de cuantificar el peso y, por ende, la función química del calórico. Pese a los esfuerzos de Lavoisier y los experimentos efectuados con el calorímetro, el calor parecía un fluido imponderable que, lo mismo que el flogisto de Stahl, desempeñaba un papel crucial sin apenas existir. Lavoisier deshizo esa contradicción atribuyendo al calor el valor de una hipótesis matemática capaz de explicar, de una manera del todo instrumental, el decurso de las principales



Láminas del *Traité* con aparatos para la combustión del alcohol (arriba) y para experimentos sobre la fermentación.

reacciones químicas. No era ya necesario demostrar la existencia del calor para adoptarlo como principio, sino que bastaba emplearlo a modo de instrumento conceptual convencional. El modelo de esta arbitrariedad aparente procedía, una vez más, de la física. Los físicos recurrían con frecuencia creciente a modelos matemáticos abstractos para explicar fenómenos reales. Pese a que tales modelos no fueran reales, permitían definir y describir la realidad de una manera mucho más

satisfactoria que cuanto pudieran hacerlo los sentidos.

En los capítulos subsiguientes a la definición de los gases, Lavoisier presentaba, en tablas sinópticas, la nomenclatura de las combinaciones de los gases con otras sustancias. En esta sección, extraída del *Méthode de nomenclature chimique*, ofrecía un esbozo de nomenclatura de ácidos de origen orgánico, anunciando que, gracias a las reglas de sintaxis, en el futuro resultaría sumamente sencillo

TRATTATO ELEMENTARE DI CHIMICA

PRESENTATO IN UN ORDINE NUOVO DIETRO
LE SCOPERTE MODERNE;
CON FIGURE:

DEL SIG. LAVOISIER dell' Accademia delle Scienze,
della Società Reale di Medicina, delle Società d' A-
gricoltura di Parigi, e di Orleans, della Società Rea-
le di Londra, dell' Istituto di Bologna, della Società
Elvetica di Basilea, di quella di Filadelfia, Harlem,
Manchester, Padova, ec.

RECATO DALLA FRANCESE NELL' ITALIANA FAVELLA
E CORREDATO DI ANNOTAZIONI
D A

VINCENZO DANDOLO VENETO

EDIZIONE SECONDA

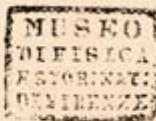
Corretta, ed ampliata di due Dissertazioni inedite dell' Autore
sulla respirazione e sulla traspirazione, e di nuove
annotazioni del Traduttore.

TOMO PRIMO.

IN VENEZIA,

DALLE STAMPE DI ANTONIO ZATTA E FIGLI.

CIO-1800.XCII.



Frontispicio de la traducción italiana del *Traité élémentaire de chimie*.

Areómetro utilizado por Lavoisier en sus estudios sobre las variaciones de densidad.

crear nombres para las nuevas sustancias descubiertas. Podía afirmarse que los nombres precedieron a las cosas. Lavoisier había desplegado un mapa de la química preanunciando la existencia de sustancias y compuestos que solo los límites del análisis químico de laboratorio no habían permitido todavía aislar. Los ácidos de origen orgánico se numerarían entre tales sustancias. Nadie había logrado aún aislarlos en sus principios constituyentes, pero Lavoisier había acotado exactamente su lugar en la tabla de la nomenclatura química.

La segunda parte del *Traité* se consagraba al examen de la combinación de los ácidos con las bases salinas y a la formación de sales neutras. Según hemos reseñado, Lavoisier creía que el oxígeno constituía el principio acidificante universal y que, no obstante su diversa cuantía, se hallaba siempre presente en todos los ácidos. Había formulado esa hipótesis a partir de un número extremadamente exiguo de análisis. Hasta 1787, en efecto, los químicos conocían los principios constituyentes de menos de una decena de ácidos. En 1787, un colaborador y seguidor de Lavoisier, Claude Louis Berthollet, aislaba los principios del ácido clorhídrico (HCl), sin que observara allí presencia alguna de oxígeno. En un primer momento no se concedió gran importancia al descubrimiento en cuestión, aunque resultaba difícil para Lavoisier defender con la misma firmeza inicial, la teoría del oxígeno. La reiteración de los experimentos demostró que algunos ácidos carecían de oxígeno y que tal denominación, cuyo étimo significaba «generador de acidez», les resultaba impropia.

Podríamos preguntarnos, a la luz de tales experimentos, por qué los químicos han conservado hasta hoy el término *oxígeno*. Una posible respuesta de la cuestión reside en la naturaleza compleja de esa sustancia. Al definir el oxígeno, Lavoisier no solo había asignado un nombre a una sustancia determinada, sino —considerando el papel extenso que se le venía atribuyendo en el curso de las principales reacciones— a clases enteras de sustancias que dependían de dicha definición inicial. Por ejemplo, los óxidos derivaban su propia definición del oxígeno y no hubiera sido posible cambiar el nombre de este último sin modificar el nombre de millares de otras sustancias compuestas. La nomenclatura propuesta por Lavoisier en 1787 se había mostrado de una eficacia tal que no bas-

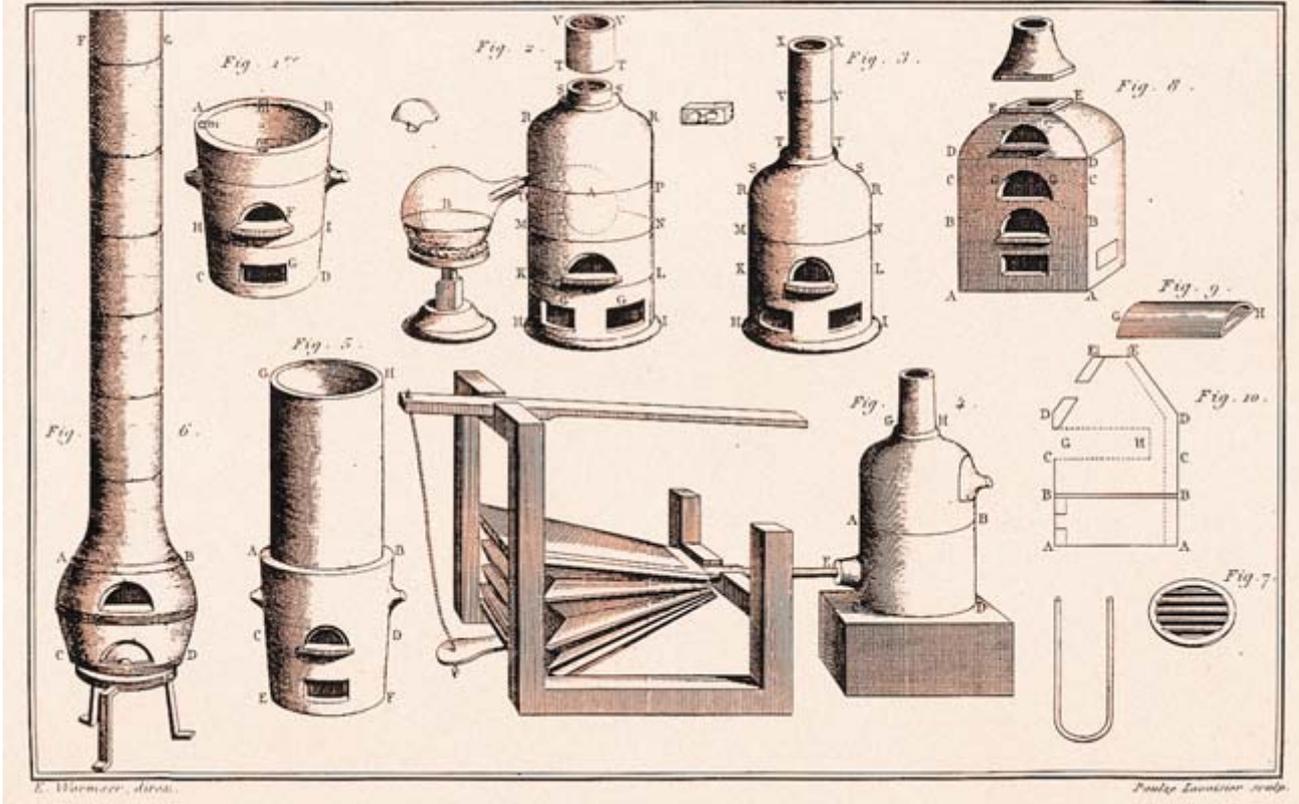


Lámina del *Traité* con diversos tipos de hornos.

taba el descubrimiento de un error, por significativo que fuere, para ponerla en cuestión. Paradójicamente, los nombres habían adquirido más importancia que las cosas.

La tercera y última parte del *Traité* se dedicaba a la descripción analítica de los instrumentos de laboratorio. Los diseños originales de las tablas, incluidas en el volumen, habían sido realizadas por la esposa de Lavoisier, quien había seguido cursos de dibujo con el famoso pintor David para ayudar al marido a ilustrar con la máxima fidelidad posible los pormenores técnicos de los instrumentos y las máquinas. Así, pues, la descripción del laboratorio aparecía al final de la obra, no al comienzo, según costumbre de los manuales de química tradicionales. Eso no significa que para Lavoisier los instrumentos careciesen de importancia, sino que en la química subsistía una clara jerarquía de funciones.

Por lo demás, que los instrumentos se detallaran después de la ciencia constituía, en el caso de Lavoisier, una conclusión más que lógica. Solo después del descubrimiento de los gases pudo Lavoisier concebir la modalidad de construcción

de una máquina, el gasómetro, capaz de aislarlos y cuantificarlos. Lo mismo cabe decir de otros instrumentos importantísimos, como el calorímetro y el eudiómetro. Sin duda, también la teoría había sufrido el influjo de la técnica y de los instrumentos; bástenos recordar la importancia atribuida por el joven Lavoisier a la aplicación en la técnica de un instrumento antiquísimo, el areómetro. Sin embargo, resulta manifiesto que la disposición jerárquica querida por Lavoisier subordinaba la experimentación a la elaboración teórica. Un planteamiento que encaja de pleno con la carrera experimental de Lavoisier. Pese a disponer del laboratorio mejor equipado de la Europa de su tiempo, el científico francés no realizó descubrimientos sensoriales de la categoría de los realizados por Cavendish, Black, Priestley o Scheele, mientras que sus interpretaciones teóricas del significado atribuido a tales descubrimientos fueron, de lejos, las más elaboradas e incisivas.

Por último, conocemos, por los protocolos de laboratorio, que Lavoisier no tenía tiempo material para repetir y modificar un experimento, hasta el extremo de

que en la mayoría de los casos se permitía corregir las incongruencias numéricas obtenidas en el curso de un ensayo, convencido de que, repitiéndolo, el resultado exacto acabaría verificándose antes o después. En otras circunstancias, Lavoisier se vio inducido a formular hipótesis de experimentos conceptuales. En el caso de la fermentación alcohólica, por ejemplo, Lavoisier consideraba las sustancias sometidas a fermentación y los productos de la operación como entidades algebraicas de una ecuación. Cambiando, en razón de los resultados que ansiaba obtener, las incógnitas, Lavoisier podía contar con resultados sumamente precisos. Este método, que necesariamente debía abstraer a partir de los datos experimentales inmediatos, había sido empleado por Lavoisier «muy a menudo y con éxito».

Las numerosas innovaciones sustanciales y formales contenidas en el *Traité* no pasaron inadvertidas. Ninguna obra sobre química supo suscitar tantas reacciones y tanta oposición en un lapso temporal brevísimo. Antes de que estallara la Revolución Francesa, en Europa se impuso con gran rapidez la revolución química. □

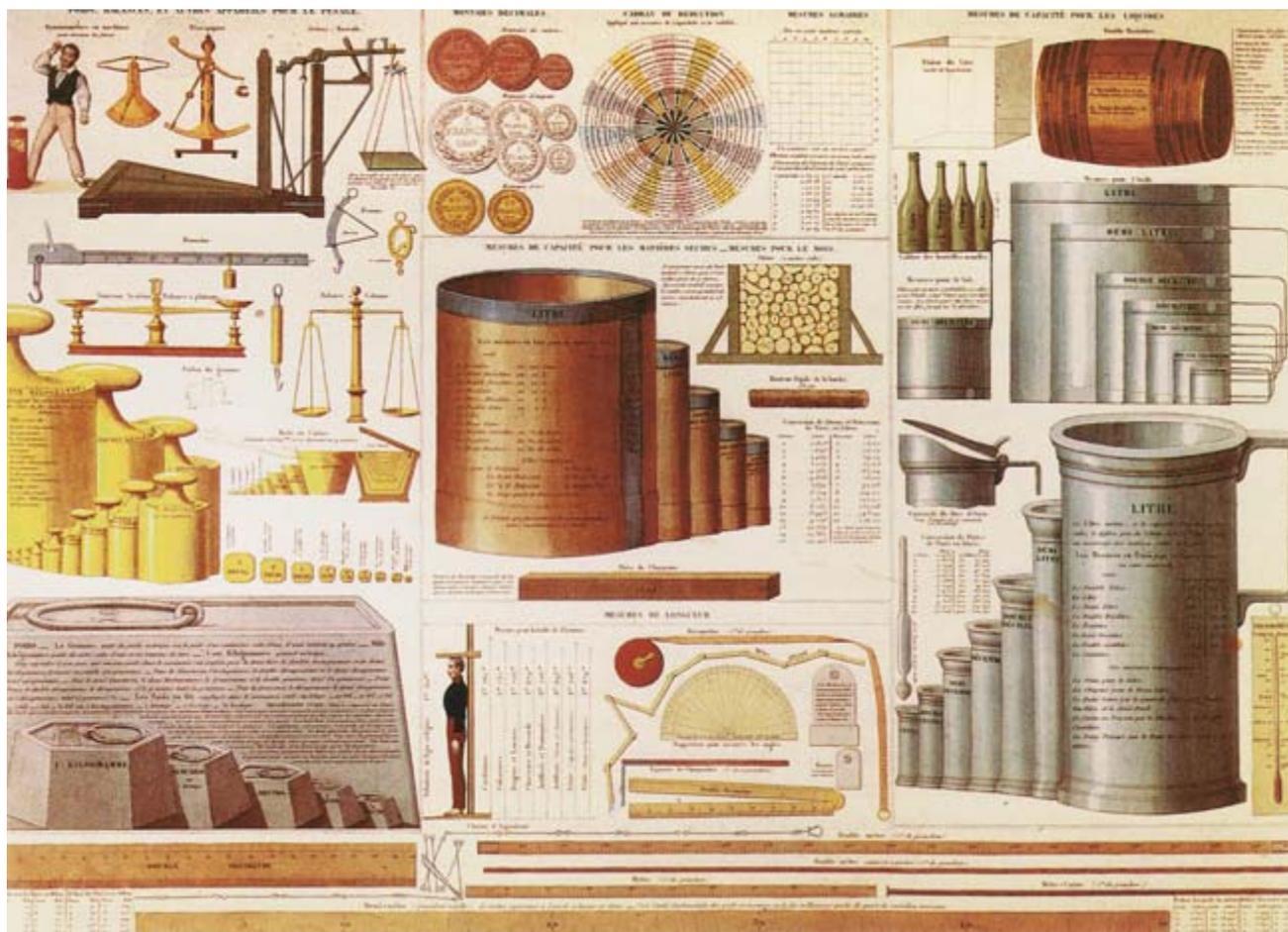
1789-1792

La ciencia revolucionaria

Desde el momento de la proclamación de la República, los científicos tomaron parte activa en las reformas encaminadas a la modernización de la sociedad francesa, como la de los pesos y medidas o la del calendario

CON EL ESTALLIDO DE LA REVOLUCIÓN FRANCESA, LOS CIENTÍFICOS FUERON CONVOCADOS por diversos órganos gubernamentales para hacerse cargo de asuntos de valor estratégico y militar. La urgencia de reformar la estructura administrativa, política y social del Antiguo Régimen ponía, por fin, sobre los focos el valor potencial de la ciencia y de sus aplicaciones. El papel de Lavoisier en tales reformas fue de grandísimo relieve.

Representación, con fines divulgativos, de la reforma decimal de los pesos y medidas.



LE SCIENCE

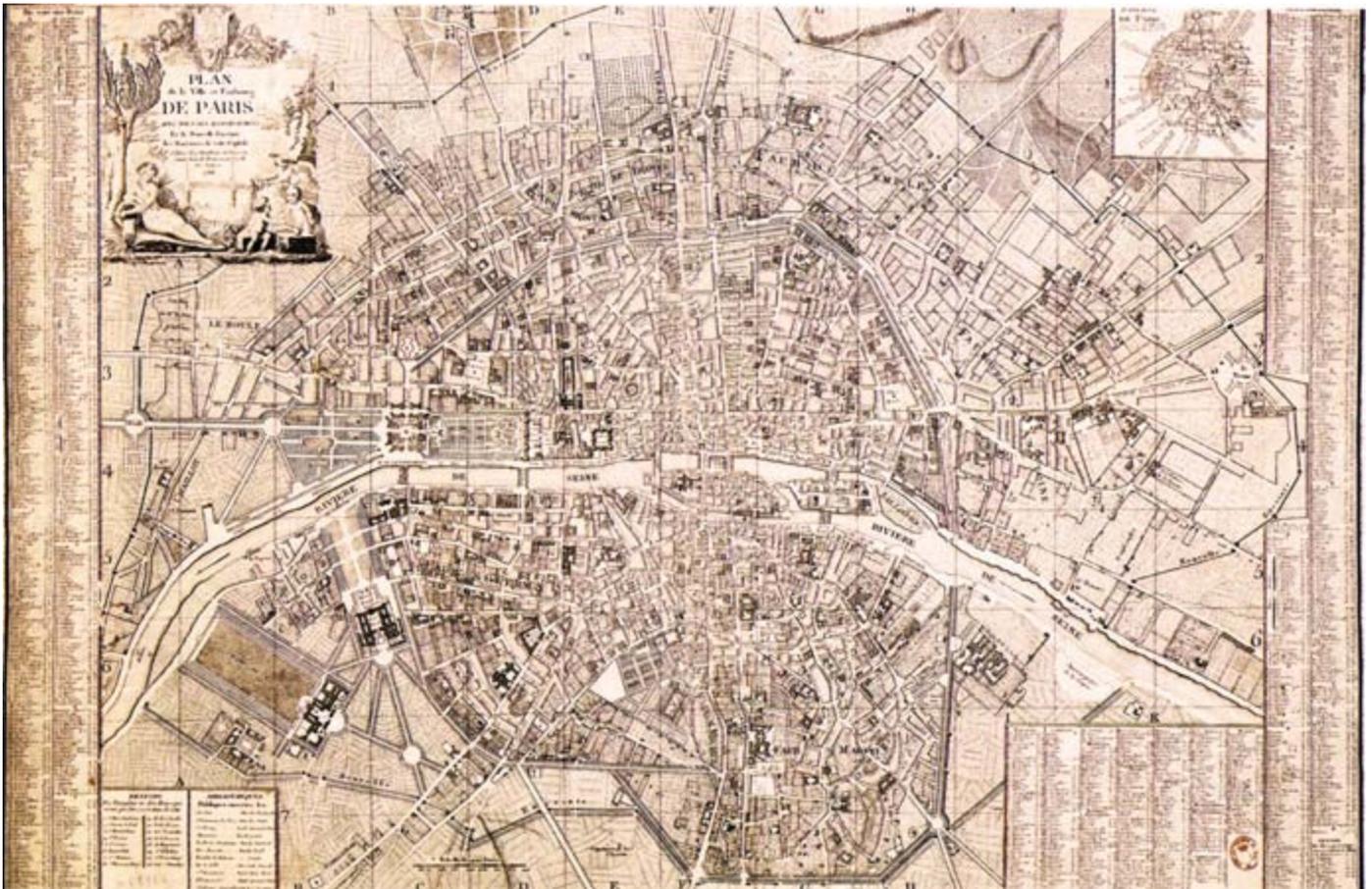
Desde 1789, el científico francés venía tomando parte activa en la reforma de pesos y medidas, convirtiéndose en uno de los protagonistas de la Comisión establecida por la Academia de las Ciencias. Las actividades de la Comisión, compuesta, además de Lavoisier, por Borda, Lagrange, Laplace, Condorcet y Monge, resolvieron el secular problema de uniformar los diferentes sistemas de pesos y medidas entonces en uso en diversas regiones de Francia. El resultado de los tres años de intensa actividad de la Comisión fue la introducción del sistema métrico decimal, un sistema extraordinariamente innovador, pero cuya complejidad hacía presagiar una escasa aceptación.

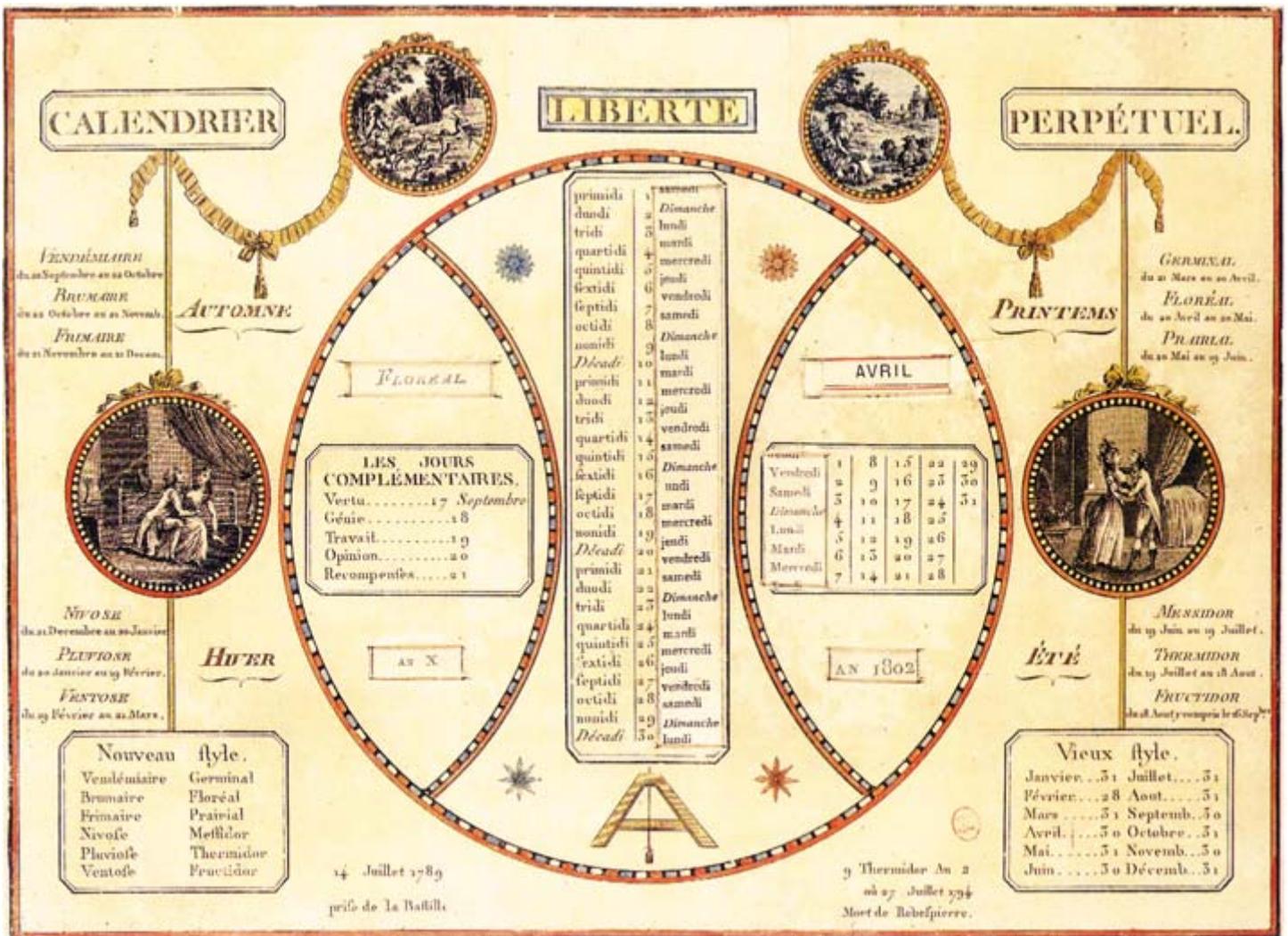
La unidad de longitud (el metro) había sido establecida a partir de la simple constatación de que constituía la cuadragintamillonésima del meridiano terrestre. La utilización del meridiano como unidad natural de referencia no representaba ninguna novedad y, como había observado el propio Lavoisier, también los astrónomos de la Antigüedad se habían apoyado en el cálculo del meridiano terrestre para elaborar sus sistemas de medida. La innovación principal del sistema adoptado por la Comisión de la

Academia era la introducción de la decimalización de las unidades de medida, cuyos múltiplos y submúltiplos poseían las mismas propiedades que los números empleados en aritmética. La escala deci-

mal, además, era considerada no solo más sencilla, sino también más natural y, por ende, universal. «En general observamos —se lee uno de los numerosos informes de la Comisión de Pesos y Medi-

Casa donde Lavoisier habitaba en 1792, en el bulevar de la Madeleine (*arriba*). Abajo, mapa de París en 1788, donde se distinguen los muros en voluta de la Ferme Générale.





Resumen esquemático del nuevo calendario republicano que estuvo en vigor de 1792 a 1815.

das— que la aritmética decimal está presente en todas las civilizaciones cuya memoria nos ha transmitido la historia. Es probable que la forma de la mano haya determinado una suerte de predilección por el número diez que cada uno tenía en sus dedos y que ese número se haya convertido, de manera natural, en la base de la escala aritmética adoptada por todos los países.» La universalidad del sistema métrico decimal quedaba garantizada, pues, por su origen natural.

La Comisión introdujo una innovación ulterior, al adoptar una nueva nomenclatura de pesos y medidas enteramente derivada del griego. Los términos *metro*, *gramo*, *kilo*, etcétera, hicieron su aparición por vez primera en 1790. La utilización de prefijos para múltiplos y submúltiplos de las diversas unidades seleccionadas anclaba su origen en la solución adoptada por Lavoisier en su *Méthode de nomenclature chimique*. En efecto, un coitejo analítico entre la tabla de la nomenclatura química y la de los pesos y medi-

das nos revela, con nitidez, tal relación de continuidad.

Muchos consideraron con escepticismo el ambicioso proyecto de la Comisión de demoler un sistema de medidas tradicionales firmemente asentado en las costumbres de las poblaciones. De hecho, la Royal Society de Londres, que se encontraba en un principio ente los promotores de la iniciativa, se retiró en 1790, previendo un fracaso seguro del proyecto. Sin embargo, gracias a la Revolución y luego a las guerras napoleónicas, el sistema decimal conoció un éxito muy superior al esperado por los mismos Comisarios. En 1815, en vísperas de la Restauración, no solo Francia sino también muchos países europeos habían adoptado el sistema métrico decimal, que se convirtió en el sistema de medida más difundido del mundo.

Otras reformas que se inspiraban, más o menos directamente, en la revolución lingüística introducida por Lavoisier en química concernieron al calendario republicano y a la toponimia parisiense. De

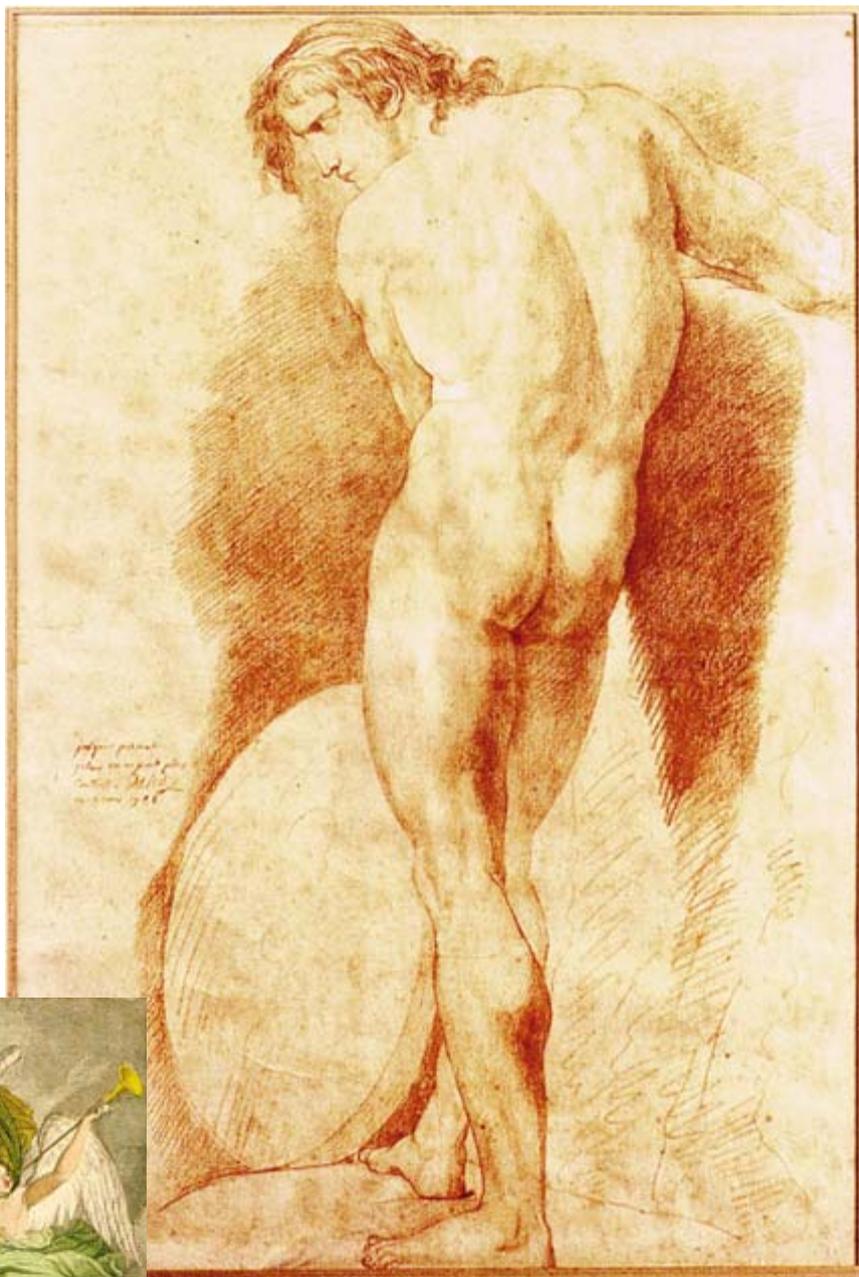
1792 a 1815, un nuevo calendario republicano sustituyó al calendario eclesiástico, cambiando costumbres milenarias y creencias de imposible desarraigo aparente. También en esta circunstancia la innovación principal consistía en la introducción del sistema digital: la semana era remplazada por la década y el domingo, día de culto religioso y símbolo del Antiguo Régimen, desaparecía del calendario. Los nombres de los días y de los meses se extrajeron de acontecimientos naturales, suprimiendo cualquier referencia a festividades o cultos religiosos. Esa reforma radical del calendario no podía implantarse sin resistencia, creando enormes dificultades para quienes estaban habituados a la medida tradicional del tiempo. Pero hubo que esperar a la Restauración, en 1815, para que Francia volviera otra vez al uso del calendario eclesiástico.

Por tanto, según la clase de objetos a renombrar, así sería el éxito de la nueva nomenclatura. Desde nuestro punto de vista, resulta significativo que el lengua-

je propuesto por Lavoisier en 1787 se había afirmado como lengua franca de la química, conservándose casi inalterado hasta nuestros días.

Aunque absorbido por un número creciente de compromisos, en 1790 Lavoisier reemprendía sus ensayos sobre la respiración, abandonados en 1777. En colaboración con el joven asistente de laboratorio Armand Seguin (1767-1835), el químico francés acometió algunos experimentos, por primera vez directamente sobre el hombre, para ilustrar la relación entre respiración, digestión, temperatura y alimentación. Con esos ensayos, Lavoisier esperaba calcular el coste energético de cualquier actividad humana, intelectual incluida, como por ejemplo, «los esfuerzos de una persona que pronuncia un discurso, de un músico que toca un instrumento [...] Se podría evaluar también lo que hay de mecánico en el trabajo del filósofo que reflexiona, del hombre de letras que escribe y del músico que compone».

Los resultados de los experimentos, con tanta eficacia ilustrados por Madame Lavoisier en sus célebres láminas, mostraban que el consumo de oxígeno en reposo de Seguin era de 1210 pulgadas cúbicas (unos 400 mililitros) por minuto.



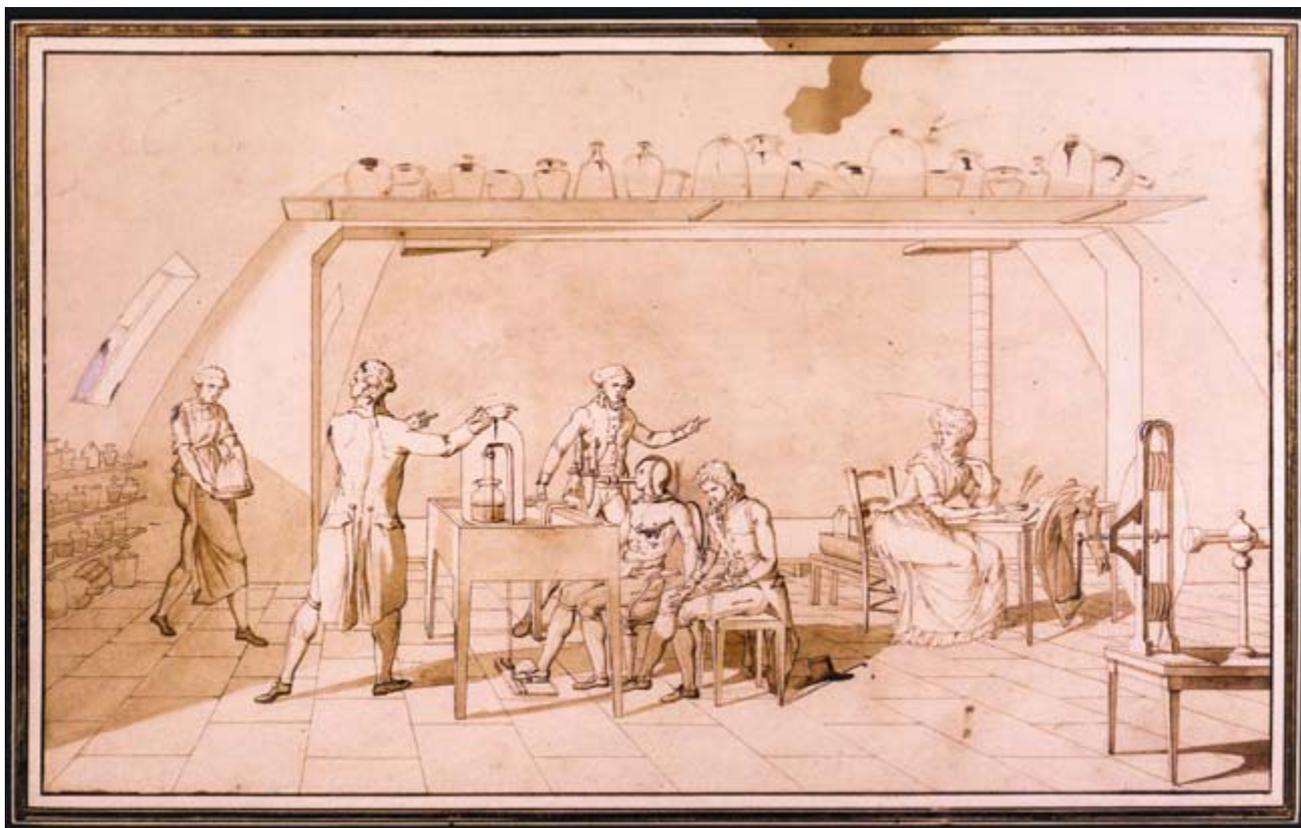
Alumna del célebre pintor David, Madame Lavoisier dibujó las láminas del *Traité*, e ilustró también temas clásicos de acuerdo con el gusto de la época. Abajo, frontispicio de una colección de mapas geográficos que perteneció a Lavoisier.

Durante la digestión, la caída brusca de temperatura o el ejercicio físico, el consumo podría aumentar hasta triplicarse. Gracias a esos experimentos, Lavoisier identificó los reguladores biológicos de la salud, mostrando la relación subsistente entre respiración, transpiración, calor animal y nutrición. «Obsérvase que la máquina animal está gobernada por tres reguladores principales: la respiración, que consume hidrógeno y carbono y que aporta calor; la transpiración, que aumenta o disminuye según la cantidad de calor necesaria; y la digestión, por último, que confiere a la sangre lo que pierde en la respiración y en la transpiración.»

Las memorias de Lavoisier sobre la respiración, además de abrir el camino hacia la correcta interpretación de ese proceso fisiológico fundamental, ilustra-



Láminas, pintadas por Madame Lavoisier, que figuran los ensayos sobre la respiración del hombre en reposo.



ban, por vez primera, la importancia de una nueva disciplina, la ergonomía, poniendo de ese modo la ciencia al servicio de la sociedad. Como veremos en el próximo capítulo, las investigaciones sobre la

respiración y la alimentación llevaron a Lavoisier a ahondar en sus proyectos de reforma política y social.

En 1792, Lavoisier comenzaba a trabajar en un nuevo tratado de química, del

que han perdurado algunos fragmentos, pero muy pronto los prestigiosos encargos financieros y administrativos que le habían sido confiados le impedirían dedicarse a la ciencia. □

1789-1794

Lavoisier y la Revolución

Pese a su adhesión entusiasta a los ideales revolucionarios, Lavoisier aparece ante los ojos de muchos jacobinos como una personalidad comprometida con el Antiguo Régimen: su aventura vital termina trágicamente en la guillotina

EN VÍSPERAS DE LA REVOLUCIÓN FRANCESA, LAVOISIER SE HALLABA EN LA vanguardia de los promotores de un cambio radical del estatuto político, social y económico de la sociedad francesa. Igual que muchos de sus compañeros de la Academia de las Ciencias, había intuido a tiempo las contradicciones existentes entre el poder político centralizado en la figura del monarca y la emergencia de una nueva cultura económico-social basada en el estímulo del desarrollo técnico, agrícola y manufacturero.

Como hemos visto en capítulos precedentes, Lavoisier había contribuido en numerosas iniciativas para reformar la estructura inmóvil de la monarquía absoluta. Llamado por el ministro de finanzas Turgot a dirigir la Régie des Poudres en 1776, se había dedicado con pasión y óptimos resultados al diseño de la reforma financiera promovido por Turgot, manifestando capacidades extraordinarias en la administración y en la organización de las instituciones nacionales. En los años siguientes, Lavoisier, poniendo a disposición sus propias investigaciones sobre la salubridad del aire, había colaborado en los proyectos de reforma de los hospitales, cárceles y cementerios de París.

La convocatoria por Luis XVI de los Estados Generales en 1787 no le encuentra, pues, sin preparación. Sus primeras reacciones, lejos de ser neutrales, evidencian hasta qué punto Lavoisier consideraba deseable un cambio radical en la sociedad francesa. Presente en la sesión inaugural de la Asamblea provincial del Orléanais el 6 de septiembre de 1787, durante la cual fue elegido representante suplente del Tercer Estado, Lavoisier con-

Primer arresto de Lavoisier, el 16 de agosto de 1789, en el puerto del Arsenal.





Los Assignats (billetes de banco) en una pintura de fines del Setecientos.

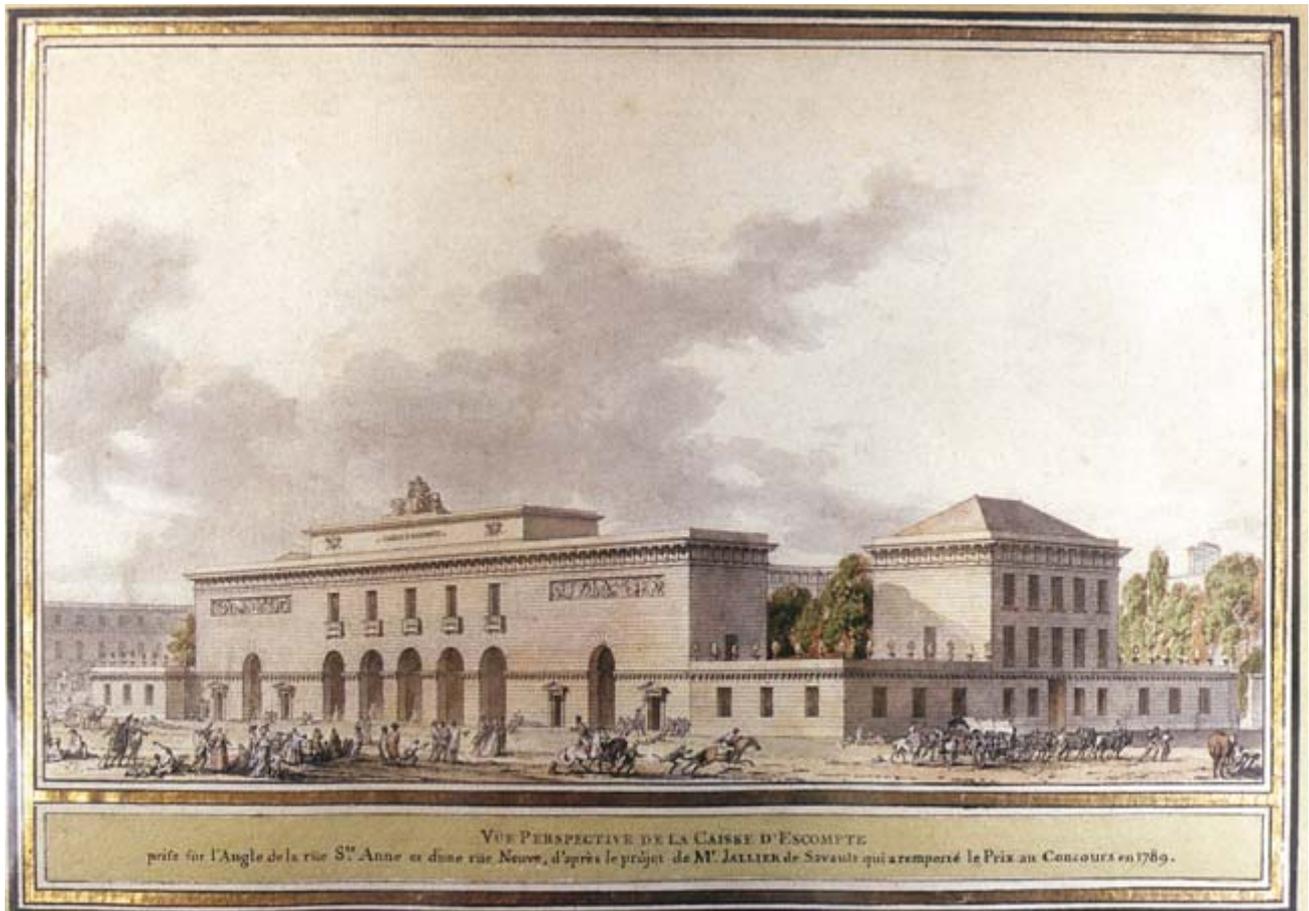
tribuyó activamente en los meses posteriores al desarrollo de la Asamblea. En febrero de 1788 pergeñó los principios de su filosofía política con la siguiente declaración pública: «La nación se encuentra hoy demasiado ilustrada como para que no deba ambicionar traer la felicidad para el mayor número posible de ciudadanos, porque si se permitiera hacer ex-

cepciones en favor de cualquier clase, sobre todo en materia de impuestos, estas no podrían hacerse sino a favor de los más pobres, y porque la desigualdad de la distribución no puede ser tolerable si no perjudica al rico».

Aunque expresado de una manera genérica, el ideal de igualdad de tratamiento fiscal entrañaba un estatuto jurídico

completamente diferente del sostenido por la monarquía. La protección de las clases más débiles en perjuicio de las más poderosas, y en particular de la aristocracia, constituía una sentencia de muerte del sistema de privilegios y ponía en cuestión la legitimidad jurídica y económica del sistema feudal de la renta de la tierra. No por azar Lavoisier se declaraba abiertamente a favor de la abolición de cortes, diezmos, *corvées* y demás tributos arbitrarios. En materia fiscal, Lavoisier se mostraba intransigente, pero ello no obstante, gracias quizás a la experiencia que había ido adquiriendo en cuanto recaudador general, sus propuestas fueron aprobadas por gran mayoría de la Asamblea.

La contribución de Lavoisier a los trabajos de la Asamblea no se redujo a sugerir soluciones técnicas a problemas circunscritos de naturaleza fiscal y administrativa, sino que se incardinaba en un esquema general de reforma política y constitucional del Estado. El 18 de febre-



La Banca de Descuento en 1791, en un cuadro de Claude Jallier de Savault.

MUSEO CARNAVALET, PARIS (billetes); COLECCIÓN PRIVADA (cuadro)



Dstrucción de la casa de Joseph Priestley, durante un motín antirrevolucionario en 1791. Abajo, Lavoisier en un grabado en color de 1793.

ro de 1789 declaraba que los Estados Generales debían convocarse regularmente, auspiciando que hubiera una distribución equitativa de la representativa y que se aumentara el número de diputados del Tercer Estado, en medida proporcional a su importancia creciente. Además, según Lavoisier, nadie tenía el derecho de imponer las leyes a la Asamblea Nacional, pues limitar los poderes de los representantes elegidos por sufragio popular significaba atacar la soberanía institucional que el rey les había reconocido. En otras palabras, limitar los poderes de los elegidos significa poner en cuestión la autoridad misma del monarca.

En otra memoria, leída unos meses más tarde ante la misma Asamblea, Lavoisier remachaba la importancia de la igualdad en la constitución de una sociedad más justa y democrática. «El fin de cualquier institución social —escribía— es el de hacer más felices a los que viven bajo sus leyes. La felicidad no debe quedar reservada a un número restringido de personas; pertenece a todos. No se trata de un privilegio exclusivo que necesite ponerse en cuestión, sino de un derecho común que es necesario preservar y repartir.»

Como se desprende claramente de esas declaraciones, al defender la constitución



de una sociedad democrática, guiada por principios de equidad e igualdad, Lavoisier preanunciaba la superación de la monarquía absoluta. El nuevo Estado que se estaba configurando tenía, además, la misión de ofrecer las garantías siguientes:

«Las libertades individuales, la supresión de los privilegios, la igualdad fiscal, la reorganización de la justicia, la abolición de los poderes arbitrarios, la abolición de los poderes especiales otorgados a la policía, la libertad de imprenta y el derecho de los representantes de modificar el presupuesto de la nación». Estas precisas reivindicaciones políticas, que minaban el orden tradicional de la convivencia de clases diversas de ciudadanos, venían reforzadas por algunas reflexiones notables sobre la reorganización del trabajo. Para Lavoisier, la existencia de la libertad individual no podía ser garantizada sin introducir en la legislación una serie de normas que aseguraran el derecho y la libertad del trabajo: en primer lugar, la supresión de todos los privilegios corporativos y comerciales existentes.

Inspiradas en una exigencia de cambio, profunda y genuina, algunas de las reformas propuestas por Lavoisier venían dictadas por un ciego optimismo más que por un proyecto político eficaz y capaz de responder a las preguntas que la naciente democracia francesa estaba planteando, a velocidad vertiginosa, a sus gobernantes. No hemos de olvidar, además, que mientras Lavoisier hablaba con pasión de derecho y democracia, sus actos de recaudador general le tenían firmemente an-

clado en la administración y en el mantenimiento del Antiguo Régimen.

Al estallar la Revolución, el 14 de julio de 1789, Lavoisier se encontraba fuera de París. Su residencia en el Arsenal, situada a pocas manzanas de la Bastilla, se salvó de milagro de la artillería de los cañones revolucionarios. Uno de sus compañeros en la Real Fábrica de Pólvoras, Clouet, tomado por director de la Bastilla, se salvó de la ejecución gracias a una liberación in extremis. Pese a tan lúgubres presagios, el químico francés se empeñó con entusiasmo creciente en animar los debates y las reformas. Tenemos un testimonio vívido de la atmósfera de aquellos días en una carta del primero de octubre de 1789 que Madame Lavoisier escribió al marqués milanés Marsilio Landriani: «La química está abandonada, solo los asuntos públicos ocupan nuestro tiempo. No se habla de otra cosa que de constitución, legislación, poder ejecutivo, libertad individual, etc., etc.». Manifestaciones de esa implicación progresiva eran las adhesiones de Lavoisier a la Société des Amis des Noirs, un club de 1789, que reunía a los principales políticos y economistas del momento: Condorcet, Lafayette, Sieyès y Brissot de Warville. Durante una de las sesiones del club, Lavoisier leyó una memoria célebre sobre el riesgo de inflación provocado por la introducción de billetes de banco, una



Caricatura de 1789 que representa a los recaudadores generales.

medida que algunos economistas habían pedido para contener los desequilibrios de la balanza nacional.

En noviembre de 1789, Lavoisier fue llamado para dirigir el Consejo de administración de la Banca de Descuento (Caisse d'Escompte), una suerte de banca nacional, con estatutos privados, creada en 1774 por Turgot. Pero la crisis del país había alcanzado un grado de paroxismo tal que no podía solucionarse en el plano financiero. Las grandes cuestiones y los grandes problemas pasaban por la Assemblée Nationale, el nuevo parlamento francés. Lavoisier, que había demostrada una capacidad extraordinaria en la administración ilustrada y reformista de los asuntos públicos, no alcanzó nunca a tomar parte activa del debate propiamente político en que entró Francia tras el estallido de la Revolución. En una carta famosa a Franklin, del año 1790, describía en estos términos la situación: «Paso a hablaros ahora de nuestra revolución política. La consideramos realizada, y cumplida sin vuelta atrás. Existe, sin embargo, todavía un partido aristocrático que desarrolla vanos esfuerzos y que es evidentemente el más débil, mientras que el partido democrático tiene de su parte no solo la mayoría, sino también la instrucción, la filosofía y las Luces».

El partido democrático guiado por las Luces y por la filosofía constituía más un desideratum de Lavoisier que una entidad política real o siquiera realizable. No

se trataba tanto de combatir el oscurantismo de una aristocracia ya en su fin, cuanto de formar una nueva clase dirigente y de echar las bases políticas para una reforma constitucional del Estado que fuera capaz de responder a las renovadas exigencias de la burguesía. Los principios abstractos de la filosofía ilustrada, que habían guiado a Francia hasta el umbral de la República, se evidenciaron insuficientes para fundar una filosofía de la política que fuera adecuada a la situación del todo inédita de un dominio institucional del Tercer Estado y de sus intereses. Los enemigos no eran, pues, la Iglesia ni el absolutismo, sino las incógnitas políticas y constitucionales ínsitas en un camino lleno de insidias y del todo imprevisible.

Lavoisier, que había compartido los principios de la filosofía de las Luces, no alcanzaba ahora a ver que sus aplicaciones concretas a la situación política de 1789 hubiera conducido inevitablemente a un conflicto de intereses. La dificultad de Lavoisier de tomar una posición precisa en la valoración de la evolución cada vez más acelerada de los acontecimientos viene atestiguada por una carta de 1792, dirigida a Luis XVI, en la que declaraba: «No soy ni jacobino ni girondino. No pertenezco a ningún partido político, sociedad o club. Habitado a ponderarlo todo con mi razón, no consentiré nunca abandonar mis propias ideas por las de un partido». Resulta por lo demás significativo que Lavoisier, tomando distancias ya de la izquierda jacobina como de los moderados girondinos, reivindicase un derecho de autonomía del intelectual, fuera de la realidad en aquellas nuevas circunstancias.



Elenco de libros de Lavoisier devueltos a su esposa tras la confiscación de bienes de los recaudadores generales en 1793.

Su incapacidad para comprender la función positiva de los partidos y de las agrupaciones políticas en la naciente democracia francesa le dejó al margen del debate político, debilitando su posición, que muy pronto quedaría comprometida.

En agosto de 1789, Lavoisier conoció el primer momento de grave riesgo. Con el fin de aprovisionar el almacén del Arsenal parisiense con nuevas reservas de pólvora, dio orden de transportarla por vía fluvial del depósito de Essonne a St. Paul, puerto del Arsenal. Teniendo conocimiento del transporte y temiendo un complot contra la Guardia Nacional, Lafayette y el síndico de París Bailly mandaron el secuestro de la nave hasta nueva orden. En cuanto responsable, Lavoisier fue arrestado y conducido ante Bailly en el Hôtel de Ville. En esa sede le era fácil a Lavoisier demostrar que el transporte no tenía nada de irregular; antes bien, serviría para garantizar que la Guardia Nacional dispusiera de una cantidad de pólvora suficiente para desarrollar su actividad. Por lo demás, Lavoisier había sido uno de los primeros en prestar servicio voluntario en la Guardia.

Pese a ese preocupante episodio, la carrera de Lavoisier en la Francia revolucionaria parecía destinarlo a encumbrarlo en los cargos más elevados. Y así, en 1791, recibió el nombramiento de la recién

creada Tesorería Nacional, una suerte de Ministerio de Hacienda que tenía por función regular la vida financiera del país. Solo la Asamblea Nacional gozaba de mayores poderes que la Tesorería. También por esos motivos, el encargo prestigioso le supuso a Lavoisier una siniestra impopularidad, que encendió la envidia de diputados, filósofos, economistas y hombres de Estado de las militancias políticas más dispares.

Las tareas financieras y la dirección de la Fábrica Nacional de Pólvoras no le impidieron ocuparse de numerosas reformas de instituciones culturales y sociales. En 1791, por ejemplo, redactó un escrito sobre la reforma de la instrucción pública para Talleyrand, en el que postulaba un cambio radical de la instrucción primaria y secundaria y atacaba los preceptos pedagógicos de la Iglesia católica que hasta entonces habían dominado la enseñanza. «La educación pública tradicional —escribía Lavoisier— no se instituyó con el fin de educar a los ciudadanos, sino de formar a los sacerdotes, monjas y teólogos. El espíritu de la Iglesia se ha opuesto siempre a cualquier innovación.» Según Lavoisier, durante el dominio cultural ejercido por la Iglesia católica, la evolución del espíritu humano no solo se había interrumpido, sino que había sufrido además un retroceso manifiesto, y solo con la Revolución llegó la

posibilidad de destruir esos «monumentos de ignorancia y barbarie».

La colaboración activa de Lavoisier en el Lycée des Arts, la primera institución científica con intenciones explícitamente ideológicas, le aproximó sensiblemente a la fracción más radical de la Revolución. Uno de los fundadores del Lycée, Antoine François Fourcroy, que había sido colaborador de Lavoisier en 1787, era un miembro prestigioso del club de los jacobinos, el ala más extremista de la Assemblée Nationale. Al mismo Fourcroy se debe el cierre, en 1793, de la Academia Real de las Ciencias, una clausura muy dolorosa para Lavoisier, pero juzgada necesaria tras la ejecución de Luis XVI y la proclamación de la República. Una institución que llevase el apelativo de Real carecía de razón de ser: caída la monarquía, resultaba obvio que cayeran las instituciones, científicas o no, asociadas a ella.

Entre 1791 y 1793, Lavoisier tomó parte en otros proyectos de reforma. Desde 1792 se convierte en miembro del Bureau de Consultation des Arts et Métiers, una institución revolucionaria cuyo objetivo era el de promover la educación técnica y científica, y favorecer el desarrollo de las manufacturas. En el verano de 1791, Lavoisier escribía una carta de apoyo a Joseph Priestley, quien, a causa de las propias convicciones republicanas y de su ad-

Vista ochocentista de la Rotonda de la Villette, construida por el arquitecto Claude Nicolas Ledoux.



LE SCIENZE



Arresto de Lavoisier en una reconstrucción de 1798.

hesión a los principios de la Revolución Francesa, había sufrido persecución hasta el punto de que su casa y su laboratorio fueron arrasados por un tropel de monárquicos enfurecidos. Lavoisier se ofreció para abrir una suscripción entre los científicos franceses para reconstruir el laboratorio del químico inglés. Este gesto de solidaridad política superaba la controversia científica entre Priestley, defensor tenaz de la teoría del flogisto de Stahl, y Lavoisier, su opositor principal.

Si la adhesión de Lavoisier a los principios de la constitución republicana le había sido compensada con cargos de primer rango, su posición relevante de recaudador general le había comprometido con los destinos de la monarquía, antes incluso del estallido de la Revolución. La Ferme Générale era, en efecto, una de las instituciones más odiadas del Antiguo Régimen y era considerada por el pueblo como el emblema de los abusos fiscales y de los privilegios, y por los economistas ilustrados, una inicua y derrochadora máquina burocrática, amén de un serio obstáculo contra el desarrollo tan deseado del *laissez faire*. Lavoisier había cumplido siempre su función de administrador de la Ferme con honradez y no sin intentar imponer a sus propios colaboradores algunas reformas cuya ejecución hubiera puesto fin al régimen corrupto de los monopolios de la sal y del tabaco.

Pese a tales iniciativas, el papel de Lavoisier se hallaba estrechamente vinculado a la historia y las actividades, incluidas las menos lícitas, de la Ferme. Los episodios de abusos y corrupción que se habían sucedido en la historia de esa institución no podrían permitir en absoluto apreciar las cualidades de un funcionario

honrado. Por lo demás, el propio Lavoisier se vio obligado a tomar en alguna ocasión decisiones impopulares y económicamente desastrosas. Tal fue el caso, por ejemplo, de la construcción de las murallas que rodearan París, ordenada por la Ferme en 1787 y encargada al famoso arquitecto Claude Nicolas Ledoux. Las murallas, que tenían por misión los derechos de entrada de la Ferme y el freno del contrabando clandestino de mercancías, se hicieron en seguida impopulares; su coste astronómico (de más de 18.000 euros en valor de la época) desencadenó la indignación de la mayoría de los ciudadanos. Contra esa iniciativa se publicaron decenas de *pamphlets* cuyo contenido puede sintetizarse en un juego de palabras tan eficaz cuan inteligible: *Le mur murant Paris rend Paris murmurant*. No fue por azar por lo que durante los últimos días de junio de 1789, en vísperas de la Revolución, las primeras señales de rebelión popular tuvieron como blanco las murallas de Lavoisier.

Tras el 14 de julio, la abolición de la Ferme Générale y la apertura de una investigación destinada a depurar los abusos perpetrados contra las clases menos favorecidas se consideraron objetivos políticos cuya urgencia y necesidad eran compartidas por la mayoría de los partidos y los movimientos políticos franceses. El 20 de marzo de 1790 quedó suprimida la Ferme, mientras se iniciaban las pesquisas sobre las responsabilidades administrativas. Se daba por descontado que todos los adscritos a la Ferme, incluido Lavoisier, habían acumulado sus excepcionales fortunas financieras gracias a los abusos e irregularidades administrativas en la gestión de la política fiscal. El pro-

ceso contra la Ferme Générale podía, pues, decirse concluido antes incluso de iniciarse. Lavoisier esperaba ingenuamente que su honradez indiscutible al tratar las cuestiones relativas a la reforma del monopolio del tabaco y que su fama adquirida en todo el mundo como uno de los principales científicos de Francia le salvarían de eventuales condenas. Tanto más cuanto que, en 1791, el químico francés recobraba cargos cuyo relieve político imposibilitarían su caída en desgracia.

En marzo de 1791, la Asamblea Nacional había ordenado a los recaudadores de la Ferme consignar, antes del primero de enero de 1793, todos los libros contables de la Ferme, con el fin de establecer las eventuales irregularidades. Pasado ese plazo, la Asamblea dispondría el arresto inmediato de los recaudadores, pero estos ignoraron la ordenanza del Parlamento; ni siquiera Lavoisier pareció preocuparse seriamente de las posibles consecuencias.

No hay testimonios sobre la forma en que Lavoisier recibió la noticia de la orden de arresto del 24 de diciembre de 1793. Con sorpresa llegaría al conocimiento de la larguísima lista de acusaciones que el Tribunal Revolucionario imputaba a los recaudadores generales. Lavoisier, junto con otros cargos de la Ferme, fue conducido a la prisión de Port Libre, reservada para los reclusos de las clases poderosas. Allí continuó trabajando, confortado por su mujer y los pocos compañeros de la Academia que se expusieron hasta el punto de interceder en su defensa.

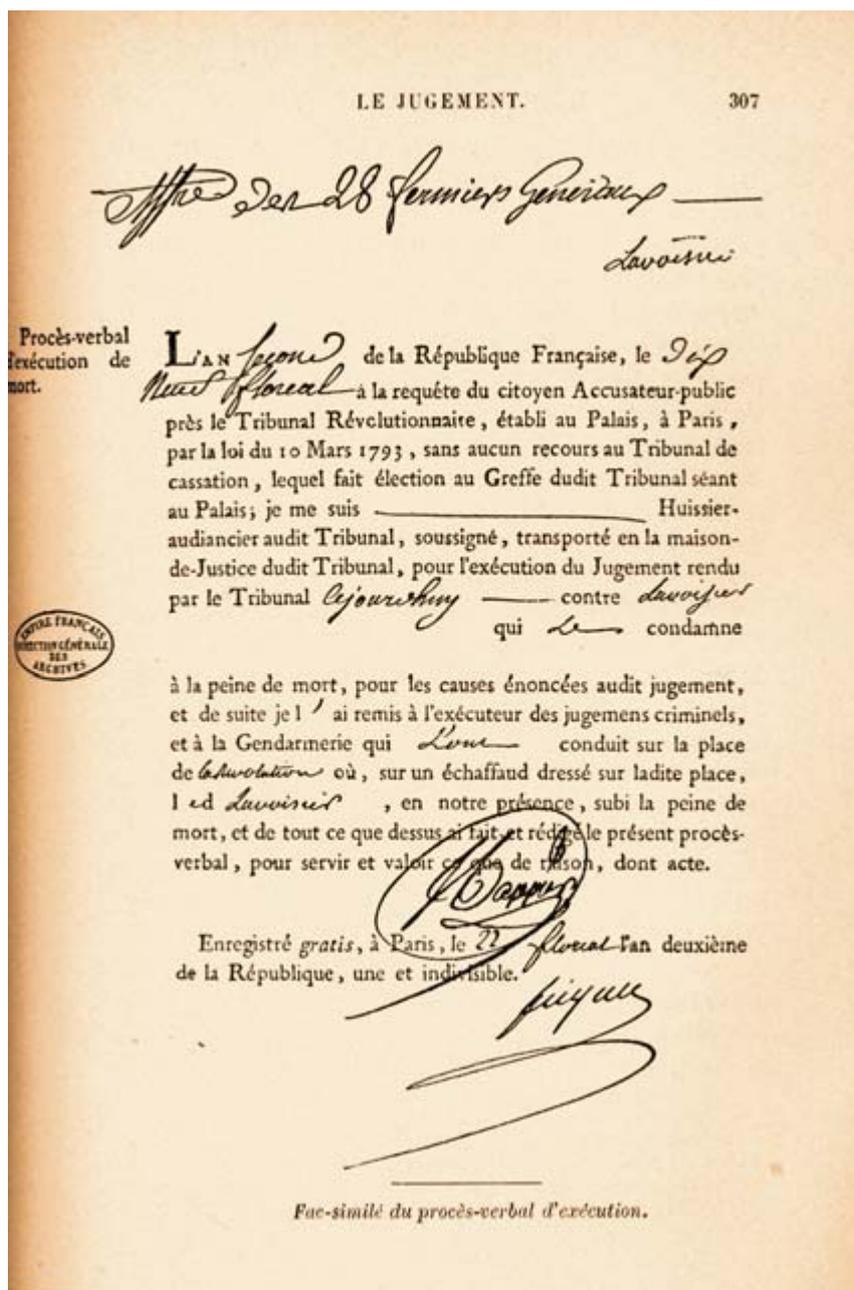
En los meses que siguieron a su detención, la residencia de Lavoisier en la rue de la Madeleine fue registrada sin resultado. Tras un proceso sumario, el ocho de mayo de 1794 Lavoisier, más otros 28 ad-

Acta de la orden de decapitación de Lavoisier.

critos a la Ferme Générale, fue llevado a la Place de la Révolution y decapitado en presencia de su mujer. Según el testimonio de un observador, Cheverny, Lavoisier se sometió al patíbulo manteniendo la propia dignidad hasta el último instante. Dos meses más tarde, la misma suerte correría Robespierre.

Suele aducirse a menudo que la detención y la imputación de Lavoisier fueron el resultado de una deliberada campaña contra la ciencia, astutamente guiada por Marat, Robespierre y los jacobinos. Pero una mirada más detenida nos revela que el período del Terror, de 1792 a 1794, no fue una época hostil contra los científicos, sino que, por el contrario, constituyó la premisa política de una fase histórica en la que la ciencia pasaría a ser una componente estratégica de la política francesa. Si, por un lado, las ejecuciones de Lavoisier, Bailly, Dietrich y el suicidio de Condorcet nos indican que durante el Terror hubo científicos perseguidos y víctimas de la Revolución, por otro lado conviene resaltar que en ningún otro período de la historia de Europa los científicos ocuparon cargos políticos importantes, sabiendo imprimir los propios conocimientos a los destinos de la nación.

Baste aquí recordar que, tras la declaración de guerra contra Austria, el 20 de abril de 1792, hubo una gran movilización de los científicos al servicio de los principales sectores militares y estratégicos, sin quedar rezagada la Fábrica Nacional de Pólvoras dirigida por Lavoisier. Los cien-



tíficos —piénsese solo en la vertiginosa carrera política del físico Lazare Carnot— fueron convocados para ocupar cargos de destacada responsabilidad política y militar. El Comité de l'Instruction Publique contaba en los puestos clave con científicos de la categoría de Condorcet, Romme, Carnot y Lacépède. No por azar fueron estos científicos quienes promovieron la institución de las célebres Écoles Centrales y de la École Polytechnique, dos sistemas de educación, primaria y secundaria, que ponían la enseñanza de las ciencias y de sus aplicaciones en el centro del sistema educativo francés.

Los recaudadores generales ante el Tribunal Revolucionario, el 8 de mayo de 1794.



Prisión de Port Libre, donde Lavoisier pasó sus últimos días.

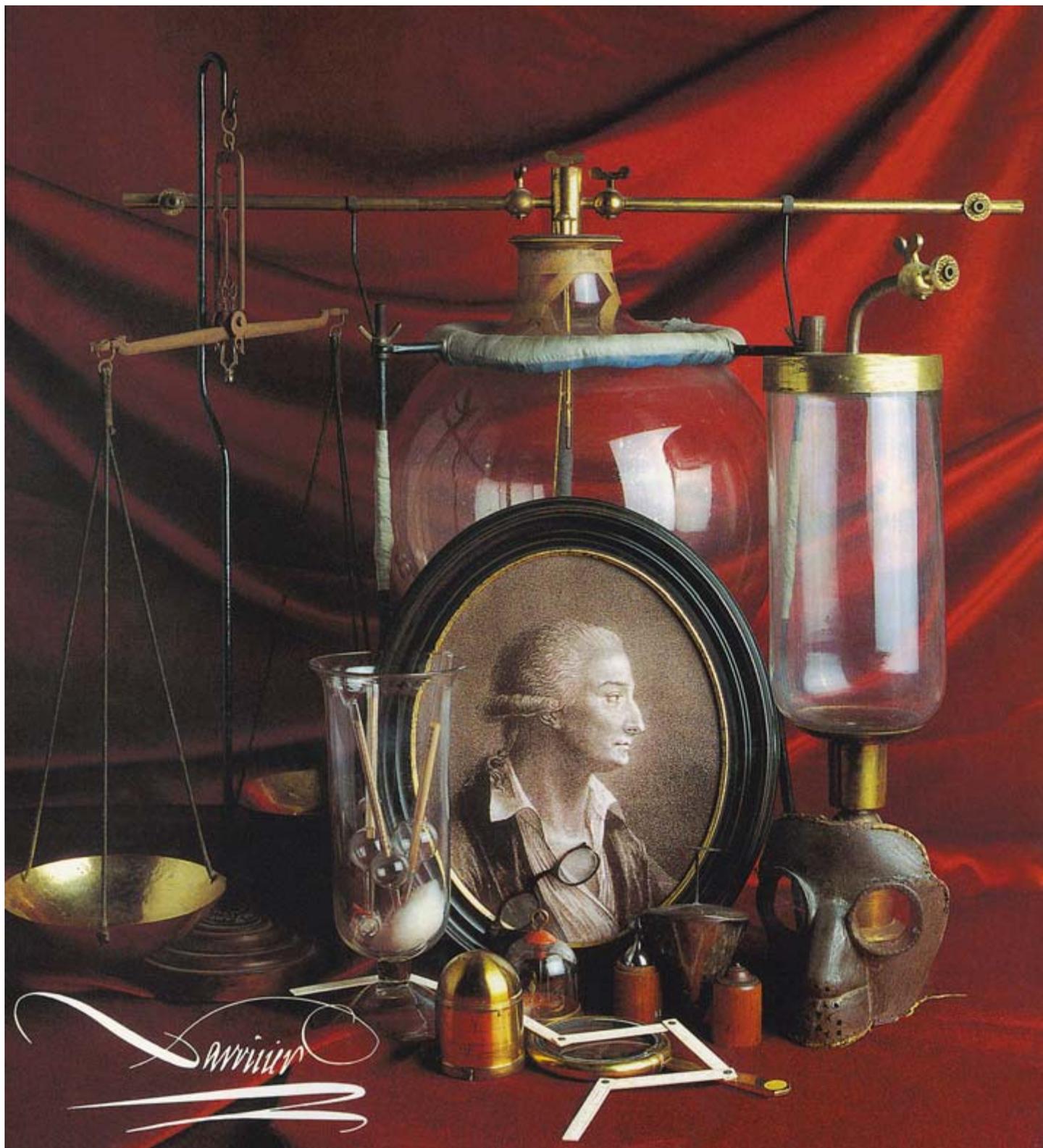
No hemos de olvidar que, durante el Terror, algunos científicos y, de manera significativa numerosos químicos, ocuparon cargos políticos de primera fila. Un compañero de Lavoisier, Louis Vernard Guyton de Morveau, se convirtió, en el verano de 1793, en presidente del Comité de Salud Pública; uno de los primeros seguidores de Lavoisier, Jean Antoine Chaptal, incorporado en 1794 en el mismo Comité, llegaría a ser Ministro del Interior bajo el Imperio Napoleónico. En realidad, fue durante el Terror cuando la ciencia supo imponerse como la parte del saber que podía mejor realizar los ideales y los intereses de la Revolución Francesa. Por lo demás, las continuas victorias militares obtenidas por los ejércitos revolucionarios fueron también el efecto de la aplicación de los descubrimientos científicos y técnicos al arte de la guerra. El telégrafo, los globos aerostáticos, el refinamiento del salitre y otras innovaciones técnicas tuvieron un peso determinante en la elevación del papel político e institucional de la ciencia y de la técnica. No hemos de olvidar que Napoleón fue alumno de la École Polytechnique y alimentó una pasión intensa por las ciencias físico-matemáticas.

Con esos datos, resulta difícil establecer la posición de Lavoisier, avanzando un estudio histórico desapasionado y fundado solo en las pruebas de los hechos. Sin la menor duda, Lavoisier fue una de las numerosas víctimas inocentes de la Revolución; sus responsabilidades en la dirección de la Ferme Générale eran irrelevantes, y no podemos permanecer indiferentes ante la gravedad de la sentencia fallada por el Tribunal Revolucionario. Una sentencia tanto más grave si se tiene en cuenta la contribución de Lavoisier a la reforma democrática, civil y social de la sociedad francesa. Como hemos mencionado, la Francia imaginada por Lavoisier en sus escritos políticos y económicos no difería demasiado de la que fue regida por el Directorio tras su desaparición. Muchas de las reformas promovidas y realizadas por Robespierre no eran más que las consecuencias de programas políticos e ideas filosóficas compartidas por Lavoisier. Estas circunstancias solo sirven para hacer menos comprensible la sentencia.

Por otra parte nos parece un error ver en la trágica muerte de Lavoisier el efecto de una campaña orquestada por Marat

y la extrema izquierda revolucionaria. Este juicio se basa, en el mejor de los casos, en una mitificación del científico francés, así como en una instrumentalización ideológica parcial. Los propios Furet y Richey, dos historiadores de la Revolución que dieron una imagen duramente crítica del Terror, han reconocido que, en las circunstancias dramáticas por las que atravesaba Francia desde 1792, resultaba imposible guiar una política interna distinta y que el recurso a provisiones y leyes especiales fue más el efecto del cerco político y militar de la República que el fruto de una opción ideológica preestablecida y deliberada.

Lavoisier no logró sustraerse a la sed general de venganza y reivindicación que contagió a los partidos políticos durante el Terror, pero, aunque dramáticamente aplastada por un ideal de justicia abstracto, casi religioso, su contribución a la superación definitiva del Antiguo Régimen no se perdió. Más que las ideas de Marat y de los jacobinos, fueron las de Lavoisier sobre el Estado y la democracia social las que trazaron las líneas que prefiguran la estructura de la democracia moderna. □



1743: Antoine Laurent Lavoisier nace en París, el 26 de agosto.

1765: Publica, bajo la guía del geólogo Guettard, una memoria sobre la composición química del yeso.

1767: Viaje mineralógico con Guettard a los Vosgos, en el este de Francia.

1768: En marzo, obtiene una plaza de recaudador general adjunto; en junio es elegido miembro de la Academia Real de las Ciencias.

1771: El 16 de diciembre se casa con Marie-Anne Paulze.

1773: Publica los *Opuscules physiques et chymiques*.

1775: Es nombrado por Turgot director de la Administración Nacional de Pólvora y Salitre; aísla experimentalmente el oxígeno.

1777: Publica la primera memoria sobre la respiración animal; atribuye al oxígeno el principio de la acidificación de las sustancias.

1782: Realiza experimentos con Laplace sobre el calórico y el calor específico de los cuerpos.

1785: Realiza experimentos sobre la composición del agua; ataca la teoría del flogisto de Stahl en la memoria *Reflexions sur le flogistique*.

1785: Dirige la Academia Real de las Ciencias y promueve importantes reformas; es elegido miembro del Comité d'Agriculture.

1786: Publica los resultados de los experimentos sobre análisis y síntesis del agua.

1787: Es elegido miembro de la Asamblea provincial del Orléanais.

1787: Publica el *Méthode de nomenclature chimique*, donde propone una nueva nomenclatura química.

1788: Junto con su esposa y algunos colegas de la Academia publica la traducción francesa del *Essay on phlogiston* de Richard Kirwan.

1789: Es elegido diputado suplente de los Estados Generales y se convierte en el administrador del Banco de Descuento.

1789: En marzo, publica el *Traité élémentaire de chimie*.

1790: El 8 de marzo es nombrado miembro de la Comisión para la reforma de pesos y medidas; con Seguin, realiza experimentos sobre la respiración.

1791: Supresión de la Ferme Générale; Lavoisier pasa a ser comisario de la Tesorería Nacional y miembro del Bureau de Consultation des Arts et Métiers.

1792: Comienza a escribir un nuevo tratado de química, que no llegará a terminar.

1793: El 10 de agosto quedan suprimidas las academias; del 25 al 28 de noviembre son detenidos los recaudadores generales.

1794: 8 de mayo: Lavoisier es procesado y ejecutado.

LA EDICIÓN NACIONAL DE LAS OBRAS, AUNQUE INCOMPLETA, LLEVA por título común *Oeuvres de Lavoisier*, París, Imprimerie Impériale et Imprimerie Nationale, 1862-1893, 6 vols.; deben añadirse las *Mémoires de chimie*, París, 1803, 2 vols., publicadas por su esposa. La correspondencia se recoge en *Correspondance*, París, A. Michel-Académie des Sciences; empezó a publicarse en 1955. Para la bibliografía de las obras véanse las excelentes contribuciones de Denis I. Duveen y Herbert S. Klickstein, *A bibliography of the works of Antoine Laurent Lavoisier 1743-1794*, Londres, Dawson's of Pall Mall, 1965. El catálogo de la biblioteca fue publicado por Marco Beretta, *Bibliotheca lavoisieriana. The catalogue of the library of Antoine Laurent Lavoisier*, Florencia, Leo S. Olschki, 1995.

Las mejores biografías son las de Edouard Grimaux, *Lavoisier 1743-1794*, París, Alcan, 1888 y la más reciente de Jean Pierre Poirier, *Antoine Laurent de Lavoisier 1743-1794*, París, Pygmalion, 1993 (traducida al inglés con el título de *Lavoisier, chemist, biologist, economist*, Philadelphia, University of Pennsylvania Press, 1996); en italiano la única biografía es la de Aldo Mieli, *Lavoisier*, Genova, Formiggini, 1916, reimpressa en 1926 en Roma y en 1993 en Génova. Dos ricas selecciones de estudios y puestas al día de la bibliografía son las preparadas por Patrice Bret en *Débats et chantiers actuels autour de Lavoisier et de la révolution chimique*, número monográfico de la «Revue d'histoire des sciences», XLVIII: 1/2, 1995, y por Christiane Demeulenaere-Douyère, *Il y a 200 ans Lavoisier. Actes du colloque organisé à l'occasion du bicentenaire de la mort d'Antoine Laurent Lavoisier le 8 mai 1794*, París, Lavoisier TecDoc, 1995.

Sobre la primera formación científica de Lavoisier, Marco Beretta, *A new course in chemistry. Lavoisier's first chemical paper*, Florencia, Leo S. Olschki, 1994. Sobre la obra química, véanse Marcelin Berthelot, *La révolution chimique Lavoisier*, París, Alcan, 1890; Maurice Daumas, *Lavoisier théoricien et expérimenteur*, París, P.U.F., 1995; Henry Guerlac, *Lavoisier-The crucial year*, Ithaca, Cornell University Press, 1961; Ferdinando Abbri, *Le terre, l'acqua, le arie. La rivoluzione chimica alla fine del Settecento*, Bologna, Il Mulino, 1984. Sobre las investigaciones de bioquímica y química orgánica, Frederic Lawrence Holmes, *Lavoisier and the chemistry of life*, Madison, University of Wisconsin Press, 1985. Sobre la nomenclatura química, Marco Beretta, *The enlightenment of matter. The definition of chemistry from Agricola to Lavoisier*, Canton, Mass., Science History Publications/USA, 1993; Ferdinando Abbri y Bernadette Bensaude-Vincent (coord.), *Lavoisier in European context. Negotiating a new language for chemistry*, Canton, Mass., Science History Publications/USA, 1995. Sobre Lavoisier y la Fábrica Nacional de Pólvoras, Patrice Bret, *Lavoisier et l'encyclopédie méthodique. Le manuscrit des régisseurs des Poudres et salpêtres*, Florencia, Leo S. Olschki, 1997. Sobre la contribución de Lavoisier a la geología, véase el artículo de Rhoda Rappaport, *Lavoisier's geologic activities, 1763-1792* en «Isis», 58, 1967, pp. 375-384. Sobre la obra económica y política, R. Dujarric de la Rivière, *Lavoisier économiste*, París, Masson, 1949.

Pese a su carácter general, una reconstrucción útil y rigurosa del contexto económico y científico de la obra de Lavoisier se nos ofrece en el libro de Charles C. Gillispie, *Science and politics in France at the end of the old regime*, Princeton, Princeton University Press, 1980.



PROMOCIONES

5 EJEMPLARES AL PRECIO DE 4

Ahorre un 20 %

5 ejemplares de **MENTE Y CEREBRO** o **TEMAS** por el precio de 4 = 26,00 €

SELECCIONES TEMAS

Ahorre más del 30 %

Ponemos a su disposición grupos de 3 títulos de **TEMAS** seleccionados por materia.

3 ejemplares al precio de 2 = 13,00 €

1 ASTRONOMÍA

Planetas, Estrellas y galaxias, Presente y futuro del cosmos

2 BIOLOGÍA

El origen de la vida, Virus y bacterias, Los recursos de las plantas

3 COMPUTACION

Máquinas de cómputo, Semiconductores y superconductores, La información

4 FÍSICA

Fronteras de la física, El tiempo, Fenómenos cuánticos

5 CIENCIAS DE LA TIERRA

Volcanes, La superficie terrestre, Riesgos naturales

6 GRANDES CIENTÍFICOS

Einstein, Newton, Darwin

7 MEDICINA

El corazón, Epidemias, Defensas del organismo

8 CIENCIAS AMBIENTALES

Cambio climático, Biodiversidad, El clima

9 NEUROCIENCIAS

Inteligencia viva, Desarrollo del cerebro, desarrollo de la mente, El cerebro, hoy

10 LUZ Y TÉCNICA

La ciencia de la luz, A través del microscopio, Física y aplicaciones del láser

BIBLIOTECA SCIENTIFIC AMERICAN (BSA)

Ahorre más del 60 %

Los 7 títulos indicados de esta colección por 75 €

- Tamaño y vida
- Partículas subatómicas
- Construcción del universo
- La diversidad humana
- El sistema solar
- Matemáticas y formas óptimas
- La célula viva (2 tomos)

Las ofertas son válidas hasta agotar existencias.

MENTE Y CEREBRO

Precio por ejemplar: 6,50€

- MyC 1: Conciencia y libre albedrío
 MyC 2: Inteligencia y creatividad
 MyC 3: Placer y amor
 MyC 4: Esquizofrenia
 MyC 5: Pensamiento y lenguaje
 MyC 6: Origen del dolor
 MyC 7: Varón o mujer: cuestión de simetría
 MyC 8: Paradoja del samaritano
 MyC 9: Niños hiperactivos
 MyC 10: El efecto placebo
 MyC 11: Creatividad
 MyC 12: Neurología de la religión
 MyC 13: Emociones musicales
 MyC 14: Memoria autobiográfica
 MyC 15: Aprendizaje con medios virtuales
 MyC 16: Inteligencia emocional
 MyC 17: Cuidados paliativos
 MyC 18: Freud
 MyC 19: Lenguaje corporal
 MyC 20: Aprender a hablar
 MyC 21: Pubertad
 MyC 22: Las raíces de la violencia
 MyC 23: El descubrimiento del otro
 MyC 24: Psicología e inmigración
 MyC 25: Pensamiento mágico
 MyC 26: El cerebro adolescente
 MyC 27: Psicograma del terror
 MyC 28: Sibaritismo inteligente
 MyC 29: Cerebro senescente
 MyC 30: Toma de decisiones
 MyC 31: Psicología de la gestación
 MyC 32: Neuroética
 MyC 33: Inapetencia sexual
 MyC 34: Las emociones
 MyC 35: La verdad sobre la mentira
 MyC 36: Psicología de la risa
 MyC 37: Alucinaciones
 MyC 38: Neuroeconomía
 MyC 39: Psicología del éxito
 MyC 40: El poder de la cultura
 MyC 41: Dormir para aprender
 MyC 42: Marcapasos cerebrales
 MyC 43: Deconstrucción de la memoria
 MyC 44: Luces y sombras de la neurodidáctica
 MyC 45: Biología de la religión
 MyC 46: ¡A jugar!
 MyC 47: Neurobiología de la lectura
 MyC 48: Redes sociales

BIBLIOTECA SCIENTIFIC AMERICAN

Edición en rústica

N.º ISBN	TÍTULO	P.V.P.
012-3	El sistema solar	12 €
016-6	Tamaño y vida	14 €
025-5	La célula viva	32 €
038-7	Matemática y formas óptimas	21 €

Edición en tela

N.º ISBN	TÍTULO	P.V.P.
004-2	La diversidad humana	24 €
013-1	El sistema solar	24 €
015-8	Partículas subatómicas	24 €
017-4	Tamaño y vida	24 €
027-1	La célula viva (2 tomos)	48 €
031-X	Construcción del universo	24 €
039-5	Matemática y formas óptimas	24 €
046-8	Planeta azul, planeta verde	24 €
054-9	El legado de Einstein	24 €

TEMAS de INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Precio por ejemplar: 6,50€

- T-4: Máquinas de cómputo
 T-6: La ciencia de la luz
 T-7: La vida de las estrellas
 T-8: Volcanes
 T-9: Núcleos atómicos y radiactividad
 T-12: La atmósfera
 T-13: Presente y futuro de los transportes
 T-14: Los recursos de las plantas
 T-15: Sistemas solares
 T-16: Calor y movimiento
 T-17: Inteligencia viva
 T-18: Epidemias
 T-20: La superficie terrestre
 T-21: Acústica musical
 T-22: Trastornos mentales
 T-23: Ideas del infinito
 T-24: Agua
 T-25: Las defensas del organismo
 T-26: El clima
 T-27: El color
 T-29: A través del microscopio
 T-30: Dinosaurios
 T-31: Fenómenos cuánticos
 T-32: La conducta de los primates
 T-33: Presente y futuro del cosmos
 T-34: Semiconductores y superconductores
 T-35: Biodiversidad
 T-36: La información
 T-37: Civilizaciones antiguas
 T-38: Nueva genética
 T-39: Los cinco sentidos
 T-40: Einstein
 T-41: Ciencia medieval
 T-42: El corazón
 T-43: Fronteras de la física
 T-44: Evolución humana
 T-45: Cambio climático
 T-46: Memoria y aprendizaje
 T-47: Estrellas y galaxias
 T-48: Virus y bacterias
 T-49: Desarrollo del cerebro, desarrollo de la mente
 T-50: Newton
 T-51: El tiempo
 T-52: El origen de la vida
 T-53: Planetas
 T-54: Darwin
 T-55: Riesgos naturales
 T-56: Instinto sexual
 T-57: El cerebro, hoy
 T-58: Galileo y su legado
 T-59: ¿Qué es un gen?
 T-60: Física y aplicaciones del láser
 T-61: Conservación de la biodiversidad
 T-62: Alzheimer
 T-63: Universo cuántico
 T-64: Lavoisier, la revolución química

TAPAS DE ENCUADERNACIÓN

DE INVESTIGACIÓN Y CIENCIA ANUAL (2 tomos) = 7,00€



Si las tapas solicitadas, de años anteriores, se encuentran agotadas remitiremos, en su lugar, otras sin la impresión del año.

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Ejemplares atrasados de *Investigación y Ciencia*: 6,00€



GASTOS DE ENVÍO

(Añadir al importe del pedido)

Por cada tramo o fracción de 5 productos

España: 2,80€ Otros países: 14,00€

Oferta Colección BSA

España: 7,00€ Otros países: 60,00€

Para efectuar su pedido:

Teléfono: (34) 934 143 344

A través de nuestra Web:
www.investigacionyciencia.es