

TEMAS 64

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

Lavoisier

La revolución química



InvestigacionyCiencia.es

6,50 EUROS

2º TRIMESTRE 2011



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

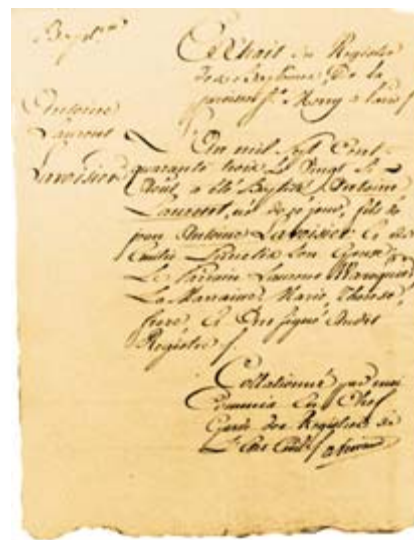
Un interés precoz por la ciencia impulsa al joven Lavoisier a ocuparse de las disciplinas más dispares y a reconocer el retraso de la química, vinculada todavía a métodos cualitativos del pasado

«**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.»

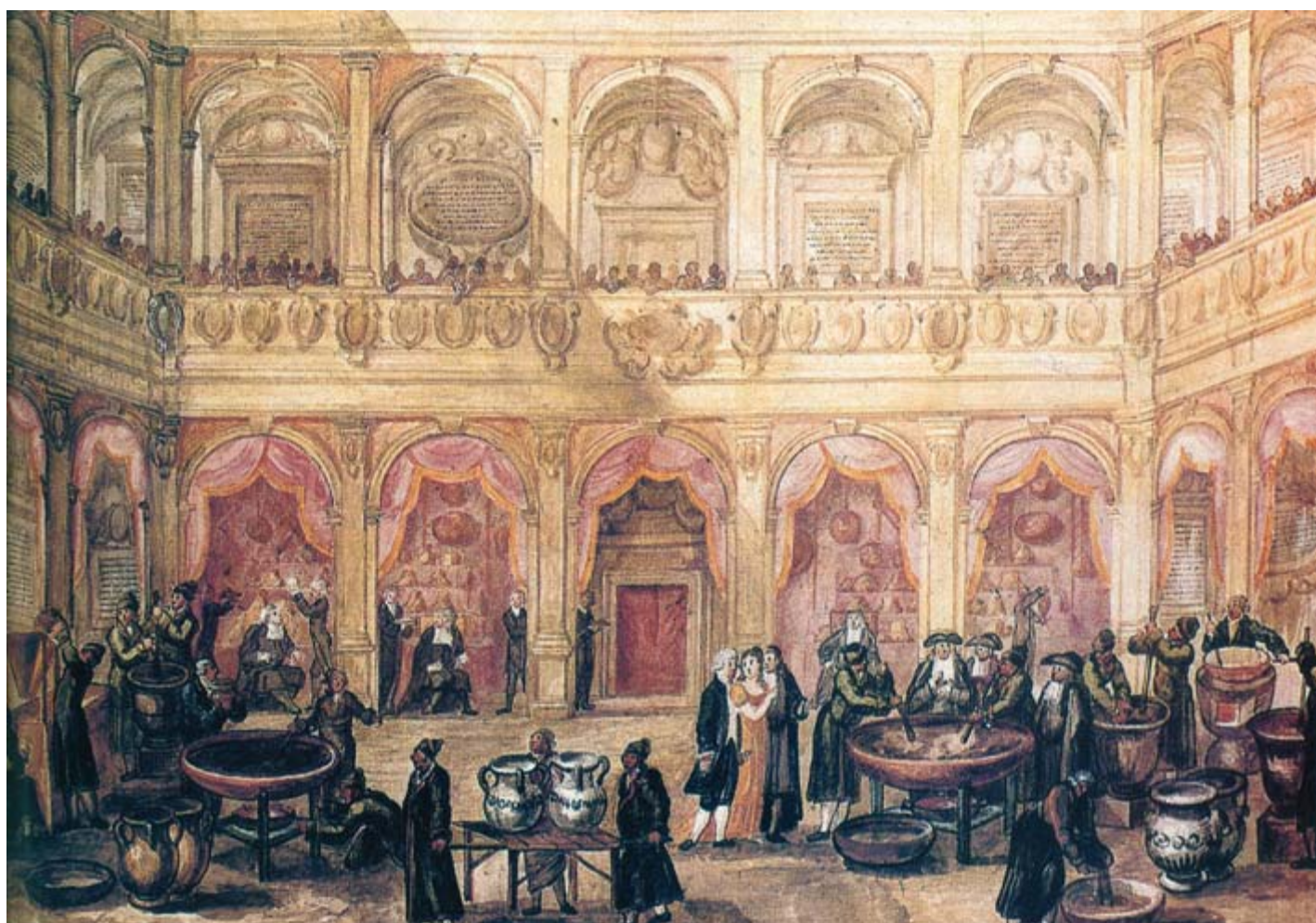
Con esas palabras, el 17 de mayo de 1794, a las pocas horas de dictada la sentencia que le condenaba al patíbulo, Antoine Laurent Lavoisier resumía con mirada retrospectiva, no exenta de conmoción, el éxito y la riqueza de una existencia intensamente vivida. La conciencia de haber contribuido a la realización 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 ARCOH-UNIVERSIDAD DE CORNELL (cartilla); LE SCIENZE (colegio)