

Bosquejo histórico de los estudios sobre la respiración animal

Alfredo de Micheli, Facultad de Medicina, UNAM.

Antecedentes

Varios escritos del *Corpus Hippocraticum* operan con los conceptos de valor vital y de *pneuma*. El autor del ensayo *De la naturaleza del niño* establece que el desarrollo del feto empieza con respirar *pneuma*. No distingue el calor vital, el aire que se respira y el *pneuma* interno, sino que, según él, los tres términos confluyen.

La razón por la que Aristóteles diferencia a veces el *pneuma* interno innato del “aire de la respiración”, tal vez debe buscarse en que él cree que aun los insectos poseen el *pneuma* interno¹⁰. En el tratado *De motu*, sin embargo, es evidente que no habla del calor vital. Debe aceptarse que aquí utiliza el término *symphyton* o *emphyton pneuma*, adoptado de pensadores anteriores, para dos propósitos diversos, y las dos veces el *pneuma* innato es algo diferente del calor vital innato. Después de haber dividido los animales en aquellos que respiran con los pulmones el aire “exterior” (*epéisactos* o *thúratheren aér*) y los que son enfriados por un “aire interior”, necesitaba un término para ese “aire innato”. Avanzó un paso más con su hipótesis de que el “*pneuma* innato” está presente

en los canales de los órganos de la percepción de todos los animales y sirve como supuesto fisiológico de las percepciones. La fuente del calor animal, de acuerdo con Aristóteles y Galeno, era el corazón: se transportaba al resto del cuerpo, junto con los “*pneumas*” o “*espíritus*”, por las arterias. Una de las funciones del movimiento era distribuir el calor del corazón; la de la respiración —término que durante mucho tiempo se usó como sinónimo de aliento— consistía principalmente en enfriar la sangre. Así se expresa el Estagirita: “En cuanto a los animales con sangre y corazón, todos los que tienen pulmones admiten el aire y consiguen su enfriamiento al respirar...”

Pasando a la edad moderna, *Miguel Servet*, en su *Christianismi restitutio*...”, había sugerido que el aire que se inspira podía tener otras funciones aparte de la de enfriar: “El espíritu vital tiene... su fuente en el ventrículo izquierdo del corazón... Es un espíritu delicado y tenue, elaborado por virtud del calor... y se engendra por la mezcla del aire inspirado con la parte más sutil de la sangre”. Más tarde se plantearon cuatro formas diferentes de explicación¹²: dos de carácter mecánico, que se derivaban de las ideas de Borelli y de Boyle. La tercera,

sustentada por el belga van Helmont y el francés Sylvius (Jaques Dubois), afirmaba que el calor animal era producido por cierto tipo de fermentación o de mezcla química. La cuarta o “teoría de Black”, expuesta por Robinston en el prefacio a las conferencias de su maestro⁴, era una teoría de la combustión: “la respiración es un tipo de combustión y ésta es la fuente del calor animal”.

De este modo, alrededor de 1770, se daban varias opiniones sobre la causa del calor animal. Haller¹³ y Leslie²⁰ habían localizado casi correctamente la producción de calor; Rigby³¹ acertaba al suponer que el alimento de los animales contenía calor en forma ligada a las sustancias ingeridas; Black demostró que la respiración era un factor de la producción de dicho calor. Pero no se había logrado aún relacionar la respiración con la digestión. Ni se hubiera podido, puesto que entonces no se consideraba la respiración más que el simple paso del aliento y se carecía de análisis químicos precisos de los líquidos y gases de la sangre. Ninguna de las teorías mencionadas era, pues, completamente satisfactoria. De hecho, Black no había sido el primero en indicar que la respiración es un tipo de combustión. Una hipótesis bien planteada al respecto había sido formulada por Mayow²⁴. Dicho autor sugirió que la función de los pulmones no era la de enfriar la sangre, sino la de producir calor. El creía que los “espíritus nitroaéreos” del aire eran absorbidos y que, al mezclarse con las partículas sulfúreas de la sangre iniciaban una especie de fermentación la que daba origen al calor.

Las primera teorías generales y cuantitativas del origen del calor animal fueron las de Adair Crawford (1779) y de Antoine Laurent Lavoisier (1783). El científico inglés era médico del hospital de Santo Tomás, en Londres, y después fue profesor de química en la Real Academia Militar de Woolwich. En 1777 inició sus investigaciones sobre el calor animal en Glasgow, donde Black había efectuado sus estudios universitarios, publicando los resultados en un libro⁸, que fue recibido muy favorablemente tanto en su país como en el continente europeo. Una exposición completa de su teoría se halla en la segunda edición de este libro, publicada en 1788. El autor afirma que el “principio inflamable” es absorbido por los capilares y se pierde cuando la sangre recupera su color encarnado en los pulmones. Refiriéndose a los experimentos de Priestley y de Cavendish, argumenta que el aire puro se recibe en los pulmones, donde se combina con el “principio inflamable” para formar en parte vapor de agua y, en parte, aire flojo. En fin, concluye que la cantidad de calor que proporciona el aire es tan pequeña que resultan muy difíciles unas mediciones termométricas precisas.

Tanto Crawford como Lavoisier estaban conscientes de que lo que se llamará oxígeno, en vez de formarse en los pulmones, podía ser absorbido por la sangre. El científico francés, después de considerar las opiniones existentes acerca de la naturaleza del calor, llegó a considerarlo “materia de fuego”, inventando el término “calórico”. Así pues, el gas era para él un “principio” o “fundamento” combinado con “calórico”.

Hacia una nomenclatura química estandarizada

Una necesidad imperiosa para la reforma de la nomenclatura química se hizo sentir con el gran incremento del número de sustancias conocidas. Esto fue notable sobre todo en la segunda mitad del siglo XVIII, cuando se descubrieron varios elementos nuevos, se prepararon por primera vez muchos compuestos y los experimentos de Black, Cavendish y Priestley abrieron todo el campo de la química “pneumática” (de los gases). A fines de la década de 1770, se había logrado un inmenso progreso en este campo, pero aún no se establecían acuerdos con respecto a los nombres de las sustancias gaseosas. Como nombre general, Macquer prefería *gas*, vocablo acuñado por van Helmont, pero según Priestley (Fig. 1) el “padre de la química pneumática”, dichas sustancias constituían distintos tipos de *aire*. La diversidad de la terminología se acentuó al surgir la escuela de pensamiento de Lavoisier (Fig. 2).

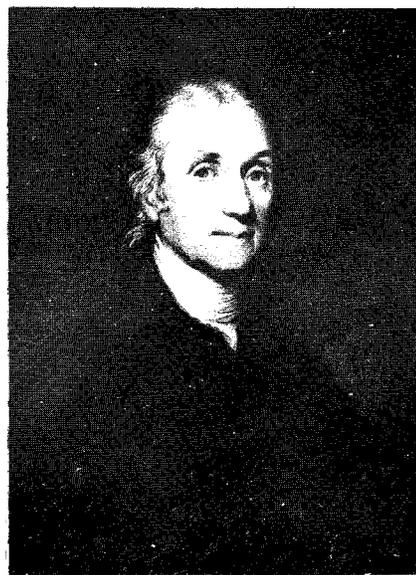


Fig. 1. Joseph Priestley (1733-1804).



Fig. 2. Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794).

El problema de una terminología unificada para los gases fue discutido por Condorcet, secretario de la *Académie Royale des Sciences*. El término por él propuesto de *air vital* (oxígeno) fue aceptado por el sueco Bergman² y por el propio Lavoisier²⁶, si bien con ciertas reservas. Además, una contribución importante para una nomenclatura química sistemática vino de parte de Macquer²³, seguido en línea general por Baumé¹. Expresiones de carácter sistemático se hallan también en publicaciones de otros químicos franceses de la época, como Jean-Baptiste Bucquet y Antoine Brougniart. Para fines de 1775, Bergman, profesor de química en la Universidad de Upsala, había adoptado una nomenclatura química de fácil comprensión. A su vez, Guyton de Morveau, miembro de la Academia de Dijon, escribía en 1782 que el estado de perfección del lenguaje de una ciencia refleja el grado de perfección de la misma. A propósito de lo que se llamará oxígeno, se refería Guyton a la autoridad de Bergman, quien utilizaba la expresión *aer purus* (o *aer bonus*) en lugar de la de *aer deflogisticado*, "... hasta que los hechos, que parecen anunciar la presencia del flogisto, hayan quedado suficientemente esclarecidos"

El importante tratado *Méthode de nomenclature chimie...* se publicó en 1787 por Guyton de Morveau, Lavoisier, Berthollet (fig. 3) y Fourcroy (fig. 4), bajo los auspicios de la *Académie des Sciences*. El valor que atribuía Lavoisier a los nombres de las sustancias puede constatar en las comunicaciones por él presentadas a la Academia, en abril y mayo de 1777. El ilustre químico tenía en gran estima la *Logique* (1780) del abate Bonnot de Condillac y la citó ampliamente tanto en el *Méthode...* como en su *Traité élémentaire de chimie*¹⁶. La filosofía de Condillac, y en particular sus ideas sobre el lenguaje, estaban fuertemente influidas por el pensamiento de John Locke. El abate compartía con otros filósofos de su tiempo un interés general en la ciencia, estableciendo algunos principios que él consideraba esenciales para su progreso: por ej. "el progreso de las ciencias depende enteramente del progreso de su lenguaje", "todo el arte de razonar puede reducirse al arte de hablar bien", etcétera. Por su lado, en el informe presentado a la Academia en sesión pública del 18 de abril de 1787, sustentaba Lavoisier que el lenguaje no tenía sólo el objeto de expresar ideas mediante signos. Los lenguajes eran más que esto: "eran verdaderos métodos analíticos, con cuya ayuda los hombres partían de lo conocido hacia lo desconocido, de la misma manera que lo hacían los matemáticos. Así pues, un lenguaje y un método analítico eran dos expresiones de cosas idénticas, tal como lo había demostrado claramente Condillac en su *Logique*"⁹. Tras el establecimiento de una nomenclatura química estandarizada, tocará a J.J. Berzelius proponer los símbolos correspondientes a elementos y compuestos.

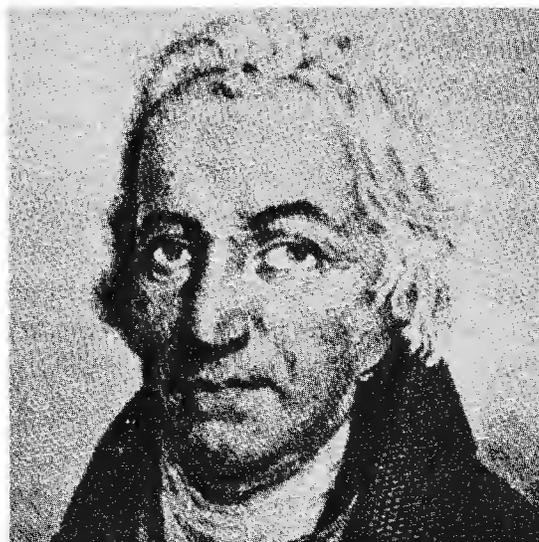


Fig. 3. Claude-Louis Berthollet (1748-1822).



Fig. 4. Antoine-Francois Fourcroy (1755-1809).

Los gases del aire

Ya en el siglo XVII un modesto médico y farmacéutico francés, el doctor Jean Rey, en uno de sus 38 ensayos —el No. XVI—, señalaba que “el exceso de peso (de algunos cuerpos calcinados) proviene del aire..., que se mezcla con la cal... y se pega a sus partes más menudas”²⁷. Años después, John Mayow redactó y publicó varios ensayos²⁴ entre 1668 y 1674. Debe recordarse que el médico Richard Lower, autor de uno de los primeros tratados de cardiología²², contribuyó en parte a los descubrimientos de Mayow observando cuidadosamente como la sangre negruzca, que llegaba a los pulmones por la arteria pulmonar, regresaba al corazón con un hermoso color rojo por las venas pulmonares. Dicho cambio se producía cuando la sangre llegaba en contacto con el aire alveolar al nivel de los capilares. La causa del cambio no era el aire en general, sino una parte sola de él. Repitiendo con aparatos perfeccionados una experiencia realizada por Filón de Bizancio en el siglo III a.C., Mayow pudo asimilar, o por lo menos estimar como análogos, los fenómenos de la respiración y de la combustión. la sangre, que se tornaba roja en las vesículas pulmonares,

sufría tal vez una especie de combustión: “Inter principia rerum naturalium principem locum obtinet spiritus nitro aereus”, es decir, lo que se llamará oxígeno representa el eje de toda la doctrina química. Pero el estudio sistemático de las propiedades físicas de los gases comenzó con Robert Boyle, quien elabora la conocida fórmula $pV = \text{constante}$, a saber, que a temperatura constante el volumen y la presión de una determinada cantidad de gas son inversamente proporcionales entre sí (fig. 5). Sucesivamente Stephen Hales ideó y aplicó métodos ingeniosos para recoger y examinar los gases en forma aislada.

TRACTATUS VARI

Continentes

NOVA EXPERIMENTA CIRCA RELATIONEM
inter FLAMMAM & AEREM & circa EXPLOSIONES;

HYDROSTATICAM DISSERTATIONEM OCCASIONE
quarundam Objectionum *Dofloris* HENRICI MORE, *adversus* Explan-
cationes quasdam Novorum Experimentorum Authoris horum Tracta-
tuum: Cui annexa est EPISTOLA HYDROSTATICA, *elucidans*
Experimentum circa rationem Ponderandi Aquam in Aqua;

ET NOVA EXPERIMENTA

Circa Positivam vel Relativam Levitatem Corporum sub Aqua;
Circa Vim Elasticam Aëris in Corpora sub Aqua;
Et circa Diversam pressionem Gravium Solidorum & Fluidorum.

Autore

ROBERTO BOYLE,
NOBILI ANGLO, SOCIETATIS REGIÆ SOCIO.



GENEVA,
Apud SAMUELEM DE TOURNES.
M. DC. LCVI.

Fig. 5. *Tractatus varii* de Robert Boyle (1627-1691), en la edición de Ginebra, 1696.

La diferenciación de los distintos gases y su estudio sistematizado se inician verdaderamente con Joseph Black y su clásico trabajo *Experiments upon magnesia, quicklime and some other alkaline substances*, publicado en 1755. Fue Black el primero en llegar a considerar las cantidades de calor necesarias para elevar de un grado la temperatura de una sustancia (su “capacidad calorífica”).

Reconoció que ésta, al pasar del estado sólido al líquido, o del estado líquido al aeriforme, requiere una cantidad de calor determinada y específica por el cambio de estado, el “calor latente”, sin que durante la transformación este último contribuya a modificar su temperatura (de fusión o de ebullición). Black, y todos los científicos de su época, consideraban el calor como una sustancia. Para poder efectuar sus mediciones, construyó el primer “calorímetro”, instrumento modificado por Lavoisier, quien lo empleó en sus investigaciones. Dos coterráneos de Black, Henry Cavendish y Joseph Priestley, contribuyeron en modo sobresaliente al estudio de los gases conocidos y al descubrimiento de otros todavía ignorados. El primero descubrió el hidrógeno y la composición del agua⁶, determinando las características del aire atmosférico. El segundo obtuvo, además de otros gases, el mismo oxígeno y estudió sus propiedades²⁹ independientemente del sueco Scheele, quien aún habiéndolo obtenido antes lo describió en una publicación posterior³³. Otros en verdad ya lo habían aislado, como Stephen Hales, quien no le prestó mayor atención, y el francés Bayen, que no reconoció sus propiedades principales. Por lo tanto se considera a Priestley, quien logró aislarlo el primero de agosto de 1774, como el descubridor de dicho gas. A su vez, se atribuye a Rutherford el descubrimiento de aquel gas, que Chaptal llamará nitrógeno = ázoe.

La respiración animal

A principios del siglo XVIII, había hecho su aparición en Alemania una doctrina extraña, resabio de las ciencias alquímicas: la “teoría del flogisto”, esbozada por Johann Joachim Becher, profesor de medicina en Maguncia, desarrollada y ampliada por su discípulo Georg Ernst Stahl. Se estimaba el flogisto como el principio de combustibilidad³⁵. El derrumbe de esta teoría, preparado por todos los descubrimientos significativos del “siglo de las luces”, será el resultado fundamental de la obra de Lavoisier.

Priestley había observado en 1772 que mientras los animales con su respiración deterioraban el aire, las plantas podían “mejorarlo”. Tal observación fue precisada en 1779 por Jan Ingenhousz, quien señaló que este “mejoramiento” (es decir, la absorción de anhídrido carbónico y emisión de oxígeno) se produce solamente en las partes verdes de las plantas, cuando están sometidas a la luz solar. A su regreso de un viaje a la Europa continental, Priestley reanudó en noviembre de 1774 sus experimentos con el gas, que —en carta del 15 de marzo de 1775

dirigida a sir John Pringle presidente de la Royal Society— llamó “aire deflogisticado”. Lavoisier estaba al tanto de las investigaciones del sabio inglés. La memoria por él presentada a la Academia en la sesión del 26 de abril de 1775¹⁵, se volvió a publicar, revisada y ampliada, en 1778. En ésta, se lee lo siguiente: “...el aire combinado con el salitre... es la parte respirable de la atmósfera, desprovista de su expansibilidad y uno de los principios que constituyen el ácido nitroso. Estamos obligados a concluir que el principio al que se le ha dado hasta ahora el nombre de *aire fijo* es la combinación de la parte eminentemente respirable del aire con el carbón”. Basándose en hechos comprobados experimentalmente, el autor pasó a denominar su “aire eminentemente respirable” como *principe acidifiant* (entendía por *principe* lo que se denominará elemento) o, con palabra derivada del griego, *principe oxygene*. Poco después, adoptó el nombre actual de *oxygene* = oxígeno (de *oxús* = ácido, y *gennáo* = generar: i.e. generador de ácidos). Sin embargo, se vio más tarde que, en varios ácidos importantes como el clorhídrico (HCl), no interviene el oxígeno.

Las etapas esenciales en el desarrollo de las ideas del químico parisino y de su lucha, cada vez más encarnizada, contra la teoría del flogisto, están representadas por una serie de publicaciones de los años 1777-1783. Reconocía él, en la respiración, un fenómeno análogo al de la combustión, es decir que, en ella se consumía aire eminentemente respirable y se producía aire fijo. Luego se dio cuenta de que se originaba también agua, por la combinación del oxígeno con hidrógeno, y logró obtenerla sintéticamente el 24 de junio de 1783. Las experiencias y los resultados de dicho autor adquieren mayor precisión en los trabajos realizados en colaboración con Laplace. De este modo pudo llegar a afirmarse que “la respiración es una combustión, en verdad muy lenta, pero semejante en todo a la del carbón, la que se efectúa en los pulmones...”¹⁷. Y, en una memoria presentada a la *Société de Médecine* escribió que, en la respiración, no sólo el oxígeno se combina con partes de carbono (contenidas en las sustancias orgánicas que constituyen la sangre), sino también se une con el hidrógeno (liberado de esas mismas sustancias) para formar agua. Por otra parte, el famoso trabajo de Cavendish *Experiments on air*, leído el 15 de enero de 1784 y publicado aquel mismo año en *Transactions of the Royal Society*, contiene la descripción y la demostración de la composición de agua.

De importancia considerable son algunas experiencias acerca de la respiración, realizadas por Lavoisier y Seguin¹⁸ en cobayos y aun en hombres. El propio Seguin se prestaba a ellas “por penosos, desagradables o incluso peligrosos que fueran los experimentos a los que era necesario someterse”. Fue posible comprobar en esta forma las variaciones de los productos de la espiración del hombre en descanso o trabajando, en ayunas o durante la digestión, etcétera. La segunda memoria se inicia con la afirmación de que “la máquina animal está gobernada por tres reguladores básicos: la respiración, la transpiración y la digestión”. Los autores efectuaron asimismo experiencias concernientes a la transpiración¹⁹, un fenómeno que Santorio Santorio había tomado en consideración²⁰, pero sin poder llegar a un punto satisfactorio por falta absoluta, en su época, de los conocimientos químicos del tiempo de Lavoisier. Ciertos aspectos del proceso de la respiración, así como la explicación de la temperatura constante del cuerpo de los animales, habían sido escudriñados por el matemático turinés Joseph-Louis Lagrange, quien formulara un punto de vista más viable que el del maestro parisino. A esto se refiere, en los *Annales de Chimie* de 1791, el químico Hassenfratz, antiguo colaborador de Lavoisier y después de Lagrange. Se trata de que el calor de la economía animal no debe desarrollarse únicamente en los pulmones, sino en todas las partes del cuerpo por donde circula la sangre. Es la teoría moderna, con la diferencia de que las combustiones se realizan en los tejidos y no en la sangre. Tales aspectos fueron comprobados y desarrollados por el naturalista Lazzaro Spallanzani, catedrático de la Universidad de Pavía, quien seguía con mucha atención el progreso de las ideas y de los resultados de Lavoisier. El autor italiano —que había demostrado *de visu*, en el embrión de pollo, el flujo continuo de los hematíes dentro de los capilares— llevó a cabo también investigaciones sobre la respiración, descritas en publicaciones póstumas²¹. Se encuentran en ellas dos conclusiones importantes: los tejidos respiran como todo el organismo animal, a saber, consumen oxígeno y eliminan anhídrido carbónico; animales como los caracoles, introducidos en una atmósfera de hidrógeno o nitrógeno puro, continúan emitiendo anhídrido carbónico durante algún tiempo merced al oxígeno absorbido previamente.

La difusión en el mundo científico de la nueva nomenclatura química, y de la teoría de la respiración íntimamente relacionada con ella, se apoyó sobre todo en los *Méthode...* y *Traité élémentaire de Chimie*. De hecho, numerosas ediciones de este último, incluso una mexi-

cana, se publicaron antes de 1805. La teoría antiflogística fue aceptada no sólo por autores franceses, sino también en el ambiente internacional. Entre los primeros adeptos a la nueva doctrina, se cuentan los ingleses Richard Kirwan y Joseph Black, los alemanes Hermbstaedt, profesor en Berlín, y Girtanner, profesor en Gotinga, a los que en 1792 se sumó Martín Heinrich Klaproth, en aquel entonces reputado el químico de más autoridad en Alemania. En Italia se le adhirieron, amén de Spallanzani, el físico Alessandro Volta, el naturalista Felice Fontana, Marsilio Landriani, Luigi Valentino Brugnatelli²² y Vincenzo Dandolo, traductor de escritos de Lavoisier, Berthollet y Fourcroy. Por su lado, Joseph Louis Proust, entonces profesor en Madrid, introdujo la doctrina antiflogística en España y Samuel Mitchill, nombrado en 1792 para una cátedra en el Columbia College de Nueva York, la dio a conocer en los Estados Unidos de Norteamérica. Discípulo de Lavoisier era el sabio madrileño Andrés Manuel del Río y Fernández, quien el 27 de abril de 1795 inauguró, en el colegio de minería de México, la primera cátedra de mineralogía que hubo en América. Vale la pena recordar que, en 1788, se enviaron a la capital novohispana —para uso de la expedición botánica de Martín de Sessé y de historia natural de aquel reino— entre otros libros los *Opuscules chimiques* de T. O. Bergman, en la traducción francesa de Guyton de Morveau (Dijon, 1780 y 1785), la *Chimie expérimentale et raisonnée* de A. Baumé (París, 1775) y el *Thesaurus* botánico-médico-anatómico de M. Malpighi (Leiden, 1687)²³. Asimismo la revista del abate Rozier *Observations sur la physique...*, en donde aparecieron las publicaciones iniciales de Lavoisier, figuraba en la biblioteca de la antigua Universidad de México.

Académicos en la tormenta revolucionaria

El año en que salió a luz el *Traité élémentaire de chimie*, estallaba con gran estruendo la Revolución Francesa. El autor del libro, que en 1785 había sido nombrado *Directeur* de la *Académie des Sciences*, se tornó la personalidad más destacada de la docta corporación, desempeñando aun las funciones de secretario y tesorero de la *Commission des poids et mesure*. Tuvo la dicha de encontrar en Joseph Lakanal, miembro del *Comité d'Instruction Publique*, un denodado promotor de la educación pública. A él se dirigió repentinamente Lavoisier, subrayando lo útil que era para el estado favorecer el desarrollo de la ciencia desinteresada y los trabajos de los académicos. Lakanal, por su lado, consiguió múltiples

resoluciones favorables para la Academia. Pero ésta fue suprimida en agosto de 1793. A fines de noviembre, nuestro químico —que había sido *fermier général* (arrendatario general de impuestos)— fue encarcelado en el sitio donde estuvo la famosa abadía de Port-Royal. Pese a algunos intentos en su favor de parte del *Comité des Assignats et Monnaies* y de un informe elogioso del *Bureau de Consultation*, el padre de la química moderna⁷ ²⁵ fue juzgado y condenado a muerte junto con los otros arrendatarios generales de impuestos. La mañana del 9 de mayo (20 floréal) de 1794, era guillotinado en la *place de la Révolution*, actualmente plaza de la Concordia. Después de la caída de Robespierre (27 de julio de aquel año, i.e. 9 thermidor), se reconoció plenamente la injusticia del proceso y se efectuaron homenajes públicos a la memoria del ilustre sabio. Se iniciaron éstos octubre de

1795 en el *Lycée des Arts*, del que él había sido uno de los fundadores. ¡Hosanna y crucifige, avatares perennes de la condición humana!

Las investigaciones acerca del calor animal se continuaron durante el siglo XIX, a cargo particularmente de Justus von Liebig²¹ y de Claude Bernard³, para dar origen en nuestros días a los estudios de los mecanismos reguladores del metabolismo energético del miocardio *in vivo*¹⁴. Se hizo posible asimismo la aplicación de principios de la termodinámica a la biología, gracias en especial a las contribuciones de Illya Prigogine y su grupo^{11 30}; “termodinámica generalizada”. Esta permite expresar la entropía del estado fluctuante alrededor de su valor de equilibrio S_0 , en términos de fluctuaciones de las velocidades de los fenómenos irreversibles y de fuerzas generalizadas.

Referencias

- Baumé A: Chimie Expérimentale et raisonnée. 3 Vols. París, 1773.
- Bergman T.O.: Opuscula physica et chemica. 6 Vols. Upsala, 1779-1790, vol. 3: 401.
- Bernard C.: Lecons sur la chaleur animale. París, 1876.
- Black J: Lectures on the elements of chemistry. (Publicadas por J. Robinson a partir de sus manuscritos). Edimburgo, 1803.
- Brugnatelli L V: Elementi di chimica. 3 Vols. Pavia, 1795-1798.
- Cavendish H: The scientific papers of the Hon. Henry Cavendish. 2 Vols. (E. Thorpe, ed.) Cambridge, 1921.
- Cochrane J A: Lavoisier. Londres, 1931.
- Crawford A: Experiments and observations on animal heat. Londres, I ed., 1779; II ed., 1788.
- Crosland M P: Estudios históricos en el lenguaje de la química. (Traducción de A. Sandoval). México, UNAM, 1988: 208-209.
- Düring I: Aristóteles. (Traducción de B. Navarro). México, UNAM, 1987: 533-535.
- Glandsdorff P, Prigogine I: Structure, stabilité et fluctuations. París, Masson, 1971.
- Goodfield G J: El desarrollo de la fisiología científica. (Traducción de J. Brash). México, UNAM, 1987: 23 ss.
- Haller, A A: Primae lineae physiologicae. Gotinga, 1747 Traducción inglesa de W. Cullen, con notas de Wrisseberg. Edimburgo, 1786.
- Heineman F W, Balaban R S: Control of mitochondrial respiration in the heart in vivo. *Annu Rev Physiol* 52: 523-542, 1990.
- Lavoisier A L: Mémoire sur la nature du principe qui se combine avec les métaux pendant leur calcination. Mémoires de l'Académie des Sciences (París), 1775.
- Lavoisier A L: Traité élémentaire de chimie... 2 Vols. París, 1789.
- Lavoisier A L, Laplace P S: Mémoire sur la chaleur. Mémoires de l'Académie des Sciences (París), 1780.
- Lavoisier A L, Seguin A: Premier mémoire sur la respiration des animaux. Mémoires de l'Académie des Sciences (París), 1789: 185.
- Lavoisier A L, Seguin A: Premier mémoire sur la transpiration des animaux. Mémoires de l'Académie des Sciences (París), 1790: 77.
- Leslie P D: A philosophical inquiry into the cause of animal heat. Londres, 1778.
- Liebig J: Animal chemistry. (W. Gregory, ed.) Londres, 1842.
- Lower R: Tractatus de corde. Londres, Allestry, 1669.
- Macquer P J: Dictionnaire de chimie. 2 Vols. París, 1766.
- Mayow J: Tractatus quinque. Oxford, 1674. Traducción inglesa, The Alambic Club, Edimburgo, 1907.
- Mckie D: Antoine Lavoisier, the father of modern chemistry. Segunda edición. Londres, 1952.
- Mém Acad Sci (París) 1780: 336; 1782: 459, 476, 486; 1783: 563.
- Mieli A: Lavoisier y la formación de la teoría química moderna. Buenos Aires - México, Espasa-Calpe Argentina, 1948: 33-35.
- Moreno R: La primera cátedra de botánica en México 1788. México, Sociedad Botánica de México, 1988: 113-115.
- Priestley J: Experiments and observations on different kinds of air. 3 Vols. Londres, 1774-1777.
- Prigogine I: La termodinámica de la vida. En: Varios autores. Biología molecular. (Traducción de Ma. José Isla Cembrana). México, Conacyt, 1981: 199-224.
- Rigby E: An essay on the theory of the production of animal heat. Londres, 1785.
- Santorio S: De statica medicina aphorismorum sectionibus septem comprehensa. Venecia, 1614.
- Scheele C W: Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer. Upsala & Leipzig, 1777.
- Spallanzani L: Memorie sulla respirazione. (A cura di J. Senebier). Milán, 1803.
- Stahl G E: Fundamenta chymiae dogmatico-rationalis. Nuremberg, 1732.