



ARTÍCULO ESPECIAL

El conocimiento de la respiración animal como un fenómeno de combustión

Alfredo de Micheli*

Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez, México, D. F., México

Recibido el 10 de junio de 2013; aceptado el 5 de octubre de 2013

PALABRAS CLAVE

Respiración animal;
Calor animal;
Combustión;
Termodinámica;
México

KEYWORDS

Animal respiration;
Animal heat;
Combustion;
Thermodynamics;
Mexico

Resumen Las diferentes etapas del largo camino hacia el conocimiento de la esencia del fenómeno de la respiración animal van desde algunos escritos del *Corpus Hippocraticum* y obras de Aristóteles y Galeno, quienes consideraban el corazón como fuente del calor animal, hasta autores de la edad moderna. Miguel Servet ya había planteado que el aire inspirado podía tener otras funciones además de la de enfriar la sangre. Más tarde se plantearon diferentes formas de explicación del carácter del fenómeno de la respiración animal. Hacia 1770, gracias al progreso de los conocimientos en el campo de la química, se empezó a considerar por Mayow, y después por Black, la respiración como un fenómeno de combustión. El importante tratado *Méthode de nomenclature chimique*, publicado en 1787 por Guyton de Morveau et al., y poco después el *Traité élémentaire de chimie* de A.L. Lavoisier (1789), proporcionaron un sólido sustento al pensamiento del propio Lavoisier. Así se llegó a estimar como análogos los fenómenos de respiración y de la combustión. En el siglo XIX se prosiguieron las investigaciones acerca de la respiración animal, y en el siglo siguiente ha sido posible aplicar principios de termodinámica a la biología: «termodinámica generalizada».

© 2013 Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez. Publicado por Masson Doyma México S.A. Todos los derechos reservados.

The knowledge of animal respiration as a combustion phenomenon

Abstract The different stages leading to knowledge of the phenomenon of animal breathing are going from some writings in *Corpus Hippocraticum* to Aristoteles' and Galen's works, who considered the heart as the source of the animal heat. Later, Miguel Servet suggested that the inspired air can achieve other functions besides cooling the blood. After that, different explanations of the animal heat were raised. About 1770, due to progress of knowledge in the chemistry field, first Mayow and later Black began to consider the animal respiration as a combustion. The important treatise *Méthode de nomenclature chimique*, published by Guyton de Morveau et al. in 1787 and soon after the *Traité élémentaire de chimie* de Lavoisier (1789) provided a solid support to Lavoisier's thought. This way on arrived to consider analogous the respiration and

* Autor para correspondencia: Juan Badiano No. 1, Colonia Sección XVI. Delegación Tlalpan. México, D. F. 14080.
Teléfono: +52 55 55 73 29 11, ext. 1310.

Correo electrónico: alessandro.micheli@cardiologia.org.mx

combustion phenomena. Studies on the animal respiration phenomenon continued in XIX century and in the following century it was possible to apply thermodynamic principles to biology: "generalized thermodynamics".

© 2013 Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez. Published by Masson Doyma México S.A. All rights reserved.

Antecedentes

De acuerdo con Aristóteles y Galeno, la fuente de calor animal era el corazón. De ahí se transportaba al resto del cuerpo, junto con los *pneumas* y los *espíritus*, por las arterias. Una de las funciones de este movimiento era la de distribuir el calor del corazón. A su vez, la de la respiración, término que durante mucho tiempo se usó como sinónimo de aliento, consistía principalmente en enfriar la sangre. En palabras del Estagirita¹: «En cuanto a los animales con sangre y corazón, todos los que tienen pulmones admiten el aire y consiguen su enfriamiento al respirar». Estas consideraciones se hallan en el escrito aristotélico «Sobre juventud y vejez, vida y muerte y respiración», integrado en la colección *Parva naturalia*. No figuran en los catálogos alejandrinos y probablemente fueron recogidos y publicados por Andrónico de Rodas.

Siglos después, Miguel Servet, en su *Christianismi restitutio*², planteó que el aire inspirado podía tener otras funciones, además de la de enfriar la sangre. Según él: «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 4 formas diferentes de explicación del fenómeno de la respiración animal¹: 2 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 (Jacques Dubois), propugnaba que el calor animal era producido por cierto tipo de fermentación o de mezcla química; la cuarta, o «teoría de Black»³, expuesta por Robinson en el prefacio a las conferencias de su maestro, era una teoría de la combustión: «La respiración es un tipo de combustión y ésta es la fuente del calor animal». Alrededor de 1770 existían varias opiniones acerca de la causa del calor animal. A. von Haller⁴ y P. D. Leslie⁵ habían localizado casi correctamente la producción de dicho calor, E. Rigby⁶ 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. Sin embargo, no se había llegado aún a relacionar la respiración con la digestión. De hecho, se consideraba entonces que la respiración no era más que el paso del aliento y se carecía de análisis químicos precisos de los líquidos y gases de la sangre. Por eso, ninguna de las teorías mencionadas era completamente satisfactoria.

En realidad, Black no había sido el primero en señalar que la respiración es un tipo de combustión. Una hipótesis bien planteada al respecto ya había sido formulada por Mayow⁷. Dicho autor planteaba que la función de los pulmones no era la de enfriar la sangre, sino la de producir el calor. Él 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 que daba origen al calor. Las primeras teorías generales y cuantitativas del origen del calor animal fueron las de Adair Crawford (1779)⁸ y Antoine-Laurent Lavoisier (1783)⁹. El primero era médico del Hospital de Santo Tomás en Londres, y después fue profesor de química de la Real Academia Militar de Woolwich. En 1777 comenzó sus investigaciones sobre el calor animal en Glasgow, donde Black había efectuado estudios universitarios, y publicó sus resultados iniciales en un libro que fue recibido muy favorablemente tanto en su país como en todo el continente europeo. Una exposición completa de su teoría se halla en la segunda edición de dicho libro (1788). El autor afirmaba que «el principio inflamable» era absorbido por los capilares periféricos y se perdía cuando la sangre recuperaba su color encarnado en los pulmones. Al referirse a los experimentos de Priestley y de Cavendish, él argumentaba que el aire puro se recibía en los pulmones, donde se combinaba con el «principio inflamable» para formar en parte vapor de agua y aire fijo (anhídrido carbónico). Y concluía que la cantidad de calor proporcionada por el aire era tan pequeña que resultaba muy difícil una medición termométrica precisa. Tanto Crawford como Lavoisier eran conscientes de que lo que se llamará oxígeno, en vez de formarse en el territorio pulmonar, podía ser absorbido por la sangre. El sabio parisino, tras considerar las opciones existentes entonces acerca de la naturaleza del calor, llegó a considerarlo «materia de fuego». Por eso inventó el término «calórico». Así que el gas era para él un «principio» o «fundamento» combinado con calórico.

La teoría del flogisto

A principios del siglo XVIII apareció en Alemania una doctrina extraña, resabio de las ciencias alquímicas: la llamada «teoría del flogisto», esbozada por Johann Joachim Becher, en Maguncia, desarrollada y ampliada por su discípulo Georg Ernst Stahl¹⁰. Se creía que el flogisto era el principio de combustibilidad. El derrumbe de esta teoría, preparada por todos los descubrimientos significativos del «siglo de las luces», será el resultado fundamental de la obra de Lavoisier.

Por su lado, 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 señalara que esta «mejora» (en otros términos, la absorción de anhídrido carbónico con emisión de oxígeno) se producía solamente en las partes verdes de las plantas, cuando eran sometidas a la luz solar. A su regreso de un viaje a la Europa continental en el mes de noviembre de 1774, el investigador inglés reanudó sus experimentos acerca de aquel gas que, en su carta del 15 de marzo de 1775¹¹ dirigida a Sir John Pringle, presidente de

la Royal Society, él denominó «aire deflogisticado». Lavoisier seguía con gran interés las investigaciones del sabio inglés. La memoria por él presentada a la Académie Royale des Sciences en la sesión del 26 de abril de 1775¹² se publicó nuevamente, revisada y ampliada, en 1778.

En ella se afirma lo siguiente: «Estamos obligados a concluir que el principio al que se ha dado hasta ahora el nombre de aire fijo es la combinación de la parte eminentemente respirable del aire con el carbono». Con base en hechos comprobados experimentalmente, el químico parisino llegó a denominar su «aire eminentemente respirable» como *principe acidifiant* –él entendía por *principe* lo que se denominará elemento–, o con una palabra derivada del griego: *principe oxygene* = oxígeno (de *oxús* = ácido y *genáo* = generar, es decir, generador de ácidos). Sin embargo, se vio más tarde que en algunos ácidos importantes como el clorhídrico no interviene el oxígeno.

Hacia la doctrina respiratoria moderna

Las etapas principales en el desarrollo de las ideas del químico parisino y de su lucha, siempre más encarnizada, contra la teoría del flogisto, están representadas por una serie de publicaciones aparecidas en los años 1777-1783. Él reconoció en la respiración un fenómeno análogo al de la combustión, a saber, que en ella se consumía aire eminentemente respirable y se producía aire fijo. Luego se dio cuenta de que se originaba también agua, debido a la combinación del oxígeno con el hidrógeno. Logró obtenerla sintéticamente el 24 de junio de 1783.

Los experimentos y los resultados de dicho autor adquieren mayor precisión en los trabajos que él realizara en colaboración con el científico Laplace¹³.

Así, pudo llegar a afirmar que «la respiración es una combustión, en verdad bastante lenta pero semejante en todo a la del carbono, la cual se efectúa en los pulmones [...]». En otra memoria, presentada a la Société de Médecine, él escribió que, en la respiración, el oxígeno no solo se combina con partículas de carbono contenidas en las sustancias orgánicas presentes en la sangre, sino que también se une con el hidrógeno liberado de esas mismas sustancias, para formar agua (figs. 1-4).

El famoso trabajo de H. Cavendish *Experiments on air*, leído el 15 de enero de 1784 y publicado aquel mismo año en la revista *Transactions of the Royal Society*, comprende, asimismo, la descripción y la demostración de la composición del agua¹⁴.

Son de suma importancia algunas experiencias concernientes a la respiración, realizadas por Lavoisier y Seguin en cobayos y en humanos¹⁵. El propio Seguin se prestaba a ellas «por penosos, desagradables o incluso peligrosos que fueran los experimentos a los que era necesario someterse». De este modo fue posible comprobar las variaciones de los productos de la respiración del humano en descanso o trabajando, en ayuno o durante la digestión, etc. La segunda memoria se inicia con la afirmación de que «la máquina animal está gobernada por 3 reguladores básicos: la respiración, la transpiración y la digestión». Los autores efectuaron, asimismo, experiencias sobre la transpiración¹⁶, un fenómeno que Santorio ya había tomado

LIBER V.

I. 1

valvulas cordis, vsque ad horam natiuitatis nondum apertas, vt docet Galenus. Ergo ad alium vsum effunditur sanguis a corde in pulmones hora ipsa natiuitatis, et tam copiosus. Item a pulmonibus ad cor non simplex aer, sed mixtus sanguine mittitur, per arteriam venosam: ergo in pulmonibus fit mixtio. Flauus ille color a pulmonibus datur sanguini spirituosus, non a corde. In sinistro cordis ventriculo non est locus capax tantæ, et tam copiosæ mixtionis, nec ad flauum elaboratio illa sufficiens. Demum, paries ille medius, cum sit vasorum et facultatum expers, non est aptus ad communicationem et elaborationem illam, licet aliquid refutare possit. Eodem artificio, quo in hepate fit transfusio a vena porta ad venam cauam propter sanguinem, fit etiam in pulmone transfusio a vena arteriosa ad arteriam venosam propter spiritum. Si quis hæc conferat cum iis, quæ scribit Galenus lib. 6. et 7. de vfu partium, veritatem penitus intelliget, ab ipso Galeno non animaduersam.

Ille itaque spiritus vitalis, a sinistro cordis ventriculo, in arterias totius corporis deinde transfunditur, ita vt qui tenuior est, superiora petat, vbi magis adhuc elaboratur, præcipue in plexu retiformi, sub basi cerebri sito, in quo ex vitali fieri incipit animalis, ad propriam rationalis animæ sedem accedens. Iterum ille fortius mentis ignea vi tenuatur, elaboratur, et perficitur, in tenuissimis vasis, seu capillaribus arteriis, quæ in plexibus choroidibus sitæ sunt, et ipsissimam mentem continent. Hi plexus intima omnia cerebri penetrant, et ipsos cerebri ventriculos interne succingunt, vasa illa secum complicata, et contexta seruantes, vsque ad neruorum origines, vt in eos sentiendi et mouendi facultas inducatur. Vasa illa miraculo magno tenuissime contexta, tametsi arteriæ dicantur, sunt tamen fines arteriarum, tenden-

Figura 1 Una página del libro *Christianismi restitutio*, de Miguel Servet, con la descripción de la circulación pulmonar (1553).

en consideración¹⁷, pero sin poder llegar a un resultado satisfactorio por la falta absoluta, en su época, de los conocimientos químicos presentes en la época de Lavoisier.

Ciertos aspectos del fenómeno de la respiración, así como la explicación de la temperatura constante del cuerpo de los animales, habían sido examinados también por el matemático turinés Joseph Louis Lagrange (1736-1813), emigrado a Francia en 1787, quien formulara un punto de vista más viable que el del Maestro de París. A esto se refiere, en los *Annales de Chimie* de 1791, el químico Jean-Henri Hassenfratz (1755-1827), antes auxiliar de Lavoisier y entonces de Lagrange. Se trata de que el calor de la economía animal no se desarrolla únicamente en los pulmones, sino en todas las partes del cuerpo por donde circula la sangre. Es esta la teoría moderna, según la cual la combustión se realiza en los tejidos, no en la sangre. Tales aspectos fueron comprobados y desarrollados por el naturalista Lazzaro Spallanzani (1729-1799), catedrático en la Universidad de Pavia, quien estaba muy al tanto del progreso de las ideas y de los resultados de Lavoisier. El estudioso italiano, quien ya



Figura 2 Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1793).

había demostrado *de visu* en el embrión de pollo el flujo continuo de los hematíes dentro de los capilares, llevó a cabo investigaciones muy interesantes en el campo de la respiración animal, descritas en publicaciones póstumas¹⁸. Se desprenden de ellas 2 conclusiones importantes: 1) los tejidos respiran como todo el organismo animal, a saber, consumen oxígeno y producen anhídrido carbónico, y 2) animales como los caracoles, introducidos en una atmósfera de hidrógeno o nitrógeno puro, continúan emitiendo anhídrido carbónico durante cierto tiempo gracias al oxígeno absorbido previamente.

Difusión de la doctrina respiratoria

La difusión en el mundo científico de la nueva nomenclatura química y de la doctrina de la respiración animal, íntimamente relacionada con ella, se apoyó sobre todo en las obras *Méthode de nomenclature chimique*, publicada en 1787 por Guyton de Morveau, Berthollet, Fourcroy y Lavoisier, bajo los auspicios de la Académie Royale des Sciences de París. Y también del *Traité élémentaire de chimie* de Lavoisier¹⁹. De hecho, numerosas ediciones de este último, incluida una mexicana²⁰, se publicaron antes de 1805.

La teoría antiflogística fue aceptada no solo por científicos franceses, sino también en el ambiente internacional. Entre los primeros adeptos a la doctrina moderna de la respiración figuraban los ingleses Richard Kirwan y Joseph Black, los alemanes Hermbstaedt, profesor en Berlín, y Christoph Girtanner, profesor en Gotinga. A ellos se sumó en 1792 Martin Heinrich Klaproth, en aquel entonces considerado el químico de más autoridad en Alemania. Se les adhirieron en Italia, amén de Spallanzani, el físico Alessandro Volta, el naturalista Felice Fontana, Marsilio Landriani,

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE CHIMIE, PRÉSENTÉ DANS UN ORDRE NOUVEAU ET D'APRÈS LES DÉCOUVERTES MODERNES;

Avec Figures :

Par M. LAVOISIER, de l'Académie des Sciences, de la Société Royale de Médecine, des Sociétés d'Agriculture de Paris & d'Orléans, de la Société Royale de Londres, de l'Institut de Bologne, de la Société Helvétique de Basle, de celles de Philadelphie, Harlem, Manchester, Padoue, &c.

TOME PREMIER.



A PARIS,

Chez CUCHET, Libraire, rue & hôtel Serpente.

M. DCC LXXXIX.

Sous le Privilège de l'Académie des Sciences & de la Société Royale de Médecine.

Figura 3 *Traité élémentaire de chimie*, de A.L. Lavoisier (París, 1789).

Luigi Valentino Brugnatelli²¹ y Vincenzo Dandolo, traductor de escritos de Lavoisier, Berthollet y Fourcroy.

Por su lado, Joseph-Louis Proust (1754-1826), 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.

Era discípulo de Lavoisier el científico madrileño Andrés Manuel del Río y Fernández, quien el 27 de abril de 1797 inauguró, en el Colegio de Minería de México, la primera cátedra de Mineralogía establecida en América. Cabe mencionar también que, en 1788, se habían enviado a la capital novohispana –para uso de la expedición botánica de Martín de Sessé y estudios de historia natural de aquel reino–, entre otros libros, los *Opusculs chimiques et physiques* 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, 1773)²², y el *Thesaurus* botánico-médico-anatómico de Marcello Malpighi (Leiden, 1687)²³. Asimismo, la revista del abate François Rozier *Observations sur la physique* [...], en donde aparecieron las publicaciones iniciales de Lavoisier, estaba en la biblioteca de la antigua Universidad de México²⁴.

En el transcurso del siglo XIX se prosiguieron los estudios acerca del fenómeno de la respiración animal. Constituyó

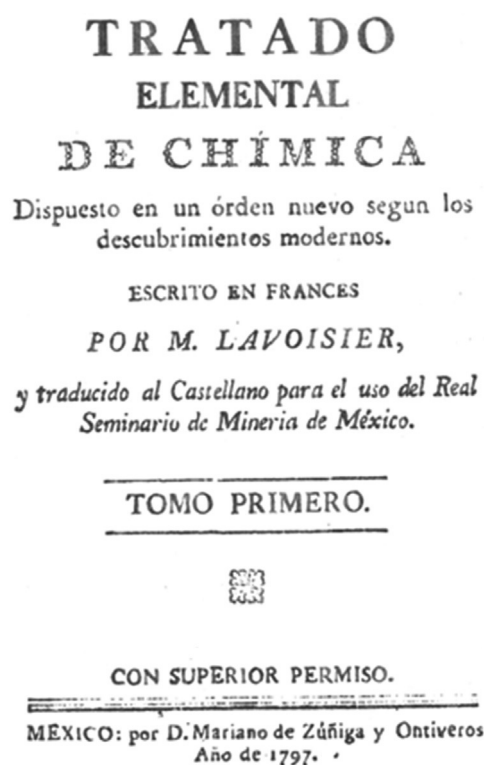


Figura 4 Edición del primer tomo del tratado de química de Lavoisier en español (México, 1797).

un hito fundamental, en la historia de la química de la respiración, el descubrimiento de la conversión de la hemoglobina en oxihemoglobina (Hoppe-Seyler, 1862). También se continuaron las investigaciones acerca del calor animal, particularmente por Justus von Liebig²⁵ y por Claude Bernard²⁶. Así que en nuestra época pueden estudiarse los mecanismos reguladores del metabolismo energético del miocardio *in vivo*²⁷.

Asimismo, se ha hecho posible la aplicación de principios de la Termodinámica a la Biología, debido en especial a las contribuciones de Ilya Prigogine y su grupo^{28,29}: «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.

Conflicto de intereses

El autor declara no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Düring I. Aristóteles (Trad. B. Navarro). México: Ed. UNAM; 1987. p. 835-836, 867.
2. Servet M. Christianismi restitutio. 1553. p. 168-173.
3. Black J. Lectures on the elements of chemistry (Published by J. Robinson from his manuscripts). Edimburgo, 1803.
4. Von Haller AA. Primae lineae Physiologicae. Gotinga, 1747 (Trad. Ingl. W. Cullen). Edimburgo, 1786.
5. Leslie PD. A physiological inquiry into the cause of animal heat. Londres; 1778.
6. Rigby E. An essay on the theory of the production of animal heat. Londres. 1785.
7. Mayow J. Tractatus quinque. Oxford, 1674. (Trad. Ingl. The Alambic Club. Edimburgo, 1907).
8. Crawford A. Experiments and observations on animal heat. Londres, 1.^a ed. 1779; 2.^a ed. 1788.
9. Lavoisier AL. Mémoire sur la nature du principe qui se combine avec les métaux pendant leur calcination. París: Mémoires de l'Académie des Sciences; 1775.
10. Stahl GE. Fundamenta chymiae dogmatico-rationalis. Nuremberg; 1732.
11. Priestley J. Experiments and observations on different kinds of air. 3 Vols. Londres, 1774-1777.
12. Lavoisier AL. Mémoire sur la nature du principe qui se combine avec les métaux pendant leur calcination. París: Mémoires de l'Académie des Sciences; 1775.
13. Lavoisier AL, Laplace PS. Mémoire sur la chaleur. París: Mémoires de l'Académie des Sciences; 1780. p. 355.
14. Cavendish H. The scientific papers of the Hon. Henry Cavendish. 2 vols. Cambridge: E. Thorpe; 1921.
15. Lavoisier AL, Seguin A. Premier mémoire sur la respiration des animaux. París: Mémoires de l'Académie des Sciences; 1789. p. 185.
16. Lavoisier AL, Seguin A. Premier mémoire sur la transpiration des animaux. París: Mémoires de l'Académie des Sciences; 1790. p. 77.
17. Santorio S. De statica medicina aphorismorum sectionibus septem comprehensa. Venecia; 1614.
18. Spallanzani L. Memorie sulla respirazione (A cura di J. Senebier). Milán, 1803.
19. Lavoisier A.L. Traité élémentaire de chimie. 2 Vols. París: Chez Cuchet; 1789.
20. Lavoisier A.L. Tratado elemental de química (Traducido al castellano para el uso del Real Seminario de Minería de México). Tomo I. México: Tip. de Mariano Zúñiga y Ontiveros; 1797.
21. Brugnatelli L.V. Elementi di chimica. 3 Vols. Pavia, 1795-1798.
22. Baumé A. Chimie expérimentale et raisonnée. 3 Vols. París, 1773.
23. Malpighi M. Thesaurus botanicus-medico-anatomico. Leiden; 1687.
24. Inventario de la Biblioteca de la Nacional y Pontificia Universidad de México (26 de Oct de 1833). Biblioteca Nacional de México. Fondo de Origen. MS 6431.
25. Von Liebig J. Animal chemistry. Londres: W. Gregory; 1842.
26. Bernard CL. Leçons sur la chaleur animale. París; 1876.
27. Heineman FW, Balaban RS. Control of mitochondrial respiration in the heart in vivo. Annu Rev Physiol. 1990;52:523-42.
28. Glansdorff P, Prigogine I. Structure, stabilité et fluctuations. París: Ed. Masson; 1971.
29. Prigogine I. La termodinámica de la vida. En: varios autores. Biología molecular (Trad. María José Isla Cembrana). México: Conacyt; 1981. p. 199-224.