

# Amontons y la construcción de la idea de la existencia de un cero absoluto

Alexandre Medeiros,<sup>1</sup> Carlos Antonio López Ruiz<sup>2</sup>

## Abstract (*Amontons and the Construction of the Idea of the Existence of an Absolute Zero*)

The idea of the existence of an absolute zero temperature in nature usually appears in science textbooks almost exclusively associated to the name of Lord Kelvin. Some texts also briefly mention other important scientists of the XIX century, such as, for example, Rankine, Gay-Lussac and less often, Henry-Victor Regnault. Nevertheless, they rarely mention the pioneer intuition, still in the XVII century, of Guillaume Amontons. The main goal of this paper is trying to uncover some of the historical facts and ideas of this illustrious yet unknown personage, as well as showing that his intuitions may be, even nowadays, very useful in chemistry and physics classrooms.

## Resumen

La idea de la existencia de un cero absoluto en la naturaleza aparece frecuentemente en los libros de ciencia casi siempre asociada, exclusivamente, al nombre de Lord Kelvin. Algunos textos hacen, igualmente, breves referencias a otros importantes personajes del siglo XIX, como, por ejemplo, Rankine, Gay-Lussac y, con mucho menor frecuencia, a Henry-Victor Regnault. Rarísimos son los casos que, sin embargo, mencionan la intuición pionera, aun en el siglo XVII, de Guillaume Amontons. Este artículo es una tentativa de rescatar un poco de la historia y de las ideas de este ilustre mas desconocido personaje, así como de mostrar cómo sus intuiciones

pueden ser, aún hoy, de una gran utilidad en las aulas de química y de física.

## Introducción

La complejidad de la idea de la existencia de una presión atmosférica no es, con frecuencia, debidamente apreciada en el contexto escolar. Presentada como una definición o, cuando más, como una consecuencia presumiblemente inmediata de algunos experimentos elementales, este concepto pierde toda la riqueza histórica que le es característica (Adcock, 1998). Según la concepción aristotélica, por ejemplo, los líquidos subían en las bombas de succión como resultado de la existencia en la naturaleza de un cierto *horror al vacío*. La idea de que la atmósfera tiene peso y, siendo así, que ejerce una presión sobre los cuerpos contenidos en ella, es por tanto algo revolucionario con relación al paradigma aristotélico (Middleton, 1994). Su aparición ha requerido la existencia de ciertas condiciones sociales que impulsen la búsqueda de soluciones nuevas a problemas hasta entonces sin gran importancia. En efecto, con el final de la Edad Media, con el fortalecimiento del comercio y el resurgimiento de la moneda, metales como la plata y el oro, pasaron a ser más ávidamente requeridos. Esto trajo como consecuencia el ahondamiento de las minas y el terrible problema de las infiltraciones y desmoronamientos. La extracción de agua de las minas, así como su elevación en las fuentes ornamentales, construcciones emblemáticas de la Florencia renacentista, pasaron a tener una dimensión socio-económica hasta entonces no existente. Sumando a esto problemas relacionados con la construcción y uso de las armas de fuego, obtenemos un cuadro de influencias, aparentemente desconectadas, que estimuló el estudio de los gases (Wolf, 1959).

Este cuadro coincide, históricamente, con la aparición de los primeros termómetros. La necesidad creciente de la medida de la temperatura está relacionada con la confluencia de distintos factores. El final de la Edad Media coincidió con una época en

<sup>1</sup> Departamento de Física e Matemática, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Av. D. Manoel de Medeiros SN, Recife, Pernambuco, Brasil.

Correo electrónico: med@hotmail.com.br

<sup>2</sup> Departamento de Física, Universidade do Estado de Rio Grande do Norte. Mossoró, Brasil.

Correo electrónico: cruiz@uern.br

Recibido: 4 de noviembre de 2002; aceptado: 28 de febrero de 2003.

la cual las grandes navegaciones, la invención de las armas de fuego y la difusión de los libros impresos acarrearán una gran modificación en la mentalidad europea. Problemas como la previsión del tiempo, el control de la fiebre traída por las nuevas enfermedades, la expansión de los gases dentro de las armas de fuego y principalmente el posterior desenvolvimiento de la producción en las fábricas, hacen parte de un conjunto complejo de influencias socio-económicas que pavimentaron el nuevo camino que la ciencia comenzaría a andar. Estos factores, conjuntamente, desempeñaron una función preponderante en el impulso dado a las nuevas concepciones surgidas relacionadas con la presión y con la temperatura en los gases (Middleton, 1966; Allard, 1960).

### Presión y temperatura en los gases

La idea revolucionaria de la existencia de una presión atmosférica, que sustituía a la antigua concepción aristotélica del *horror al vacío*, llevaría a Torricelli a la invención del barómetro, en 1644. El desenvolvimiento de esa idea conduciría posteriormente a Pascal a la vinculación del valor de la presión atmosférica con la altitud en relación con el nivel del mar. El vacío, ya entonces destituido de su imposibilidad existencial aristotélica, sería desmitificado por Otto von Guericke, como una consecuencia de las tentativas de perfeccionamiento de las bombas de succión (Wolf, 1959).

Boyle, que había perfeccionado junto con su asistente de entonces, Robert Hooke, la bomba de vacío creada por Guericke en 1654, llegó a una serie de conclusiones sobre los gases que serían de gran utilidad en el desenvolvimiento posterior de los termómetros. Boyle demostró, de inicio, que el aire es una sustancia que tiene peso, formulando, en 1661, la *ley de la compresibilidad de los gases a temperatura constante*, una relación descubierta posteriormente, de forma independiente y de manera menos inductiva por el padre francés Edmé Mariotte, en 1676. La ley, presentada en lenguaje actual, afirmaba que: “el volumen de una dada cantidad de aire es inversamente proporcional a la presión” (Middleton, 1994).

En sus términos originales, Boyle, así como sus contemporáneos, utilizaba de verdad la expresión “el resorte del aire”, con un sentido que actualmente podríamos traducir como la presión ejercida por el gas. Es importante señalar, entretanto, que Mariotte había sido el primero en afirmar, explícitamente, que su ley solamente tendría validez en caso de que no hubiese cambios en la temperatura del gas, pues

él ya comprendía entonces, claramente, que un gas se expande cuando su temperatura aumenta y se contrae cuando su temperatura disminuye.

Teniendo en cuenta la influencia de la presión atmosférica, Boyle criticó, en 1665, en su libro *New Experiments and Observations Touching Cold*, la utilización de termoscopios de aire, abiertos, como, por ejemplo, el de Galileo. Él restringió los límites de validez de tales instrumentos a las comparaciones de temperaturas dentro de pequeños intervalos de tiempo. Según Boyle, “estos instrumentos, estando sujetos a diferentes pesos de la atmósfera, así como al calor y al frío, pueden fácilmente engañarnos en varias ocasiones, a no ser que nosotros observemos, con otros instrumentos, el peso de la atmósfera en aquellos momentos”. Siendo así, Boyle sugería, en otros términos, la utilización simultánea de un barómetro y de un termómetro (Turner, 1980). Tal sugestión vendría a ser desarrollada por Fahrenheit en el siglo XVIII y perfeccionada por Wollaston. A pesar de las críticas de Boyle, los termómetros de aire continuaron siendo utilizados hasta el final del siglo XVII. Finalmente, no se vislumbraba todavía la posibilidad de un termómetro de gas, cerrado. Faltó a Boyle, para eso, una teoría de la relación entre las variaciones de las presiones y de las temperaturas en los gases (Roller, 1957).

Esa relación, tema principal de este artículo, vendría a ser desarrollada después por el físico francés Guillaume Amontons (1663-1705), pionero en la comprensión, ya en 1699, de la mencionada relación existente entre las variaciones de la presión y de la temperatura en los gases, anticipando así, todavía que de forma menos precisa, los trabajos más conocidos de Jacques Charles (en 1787), John Dalton (en 1801) y Joseph Gay-Lussac (en 1802).

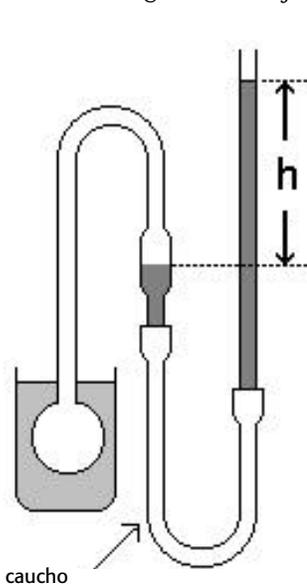
### Amontons y el problema de la presión en los gases

Amontons es un científico casi nunca citado en las aulas y en los libros didácticos, aunque haya dado a la ciencia importantes contribuciones. Se debe a él, por ejemplo, entre otras cosas, el descubrimiento, también en 1699, de la hoy tan utilizada ley de rozamiento: la afirmación de que la fuerza de rozamiento entre cuerpos rígidos es independiente del área de las superficies en contacto y de que su valor es proporcional a la fuerza normal entre esas superficies (Daintith, Mitchell & Tootil, 1983; Fontenelle, 1705).

Sordo desde la infancia, Amontons se divertía con la construcción de aparejos científicos. En 1687

confeccionó un higrómetro, instrumento utilizado para medir la humedad del aire (Amontons, 1702a). En 1688 inventó el primer modelo de un termómetro de aire, cerrado, en el cual la temperatura era medida no por la dilatación del aire, sino por la variación de la presión ejercida por él mismo (Amontons, 1702b). En 1695 perfeccionó el barómetro y en 1702, como resultado de sus estudios sobre la relación entre la temperatura, la presión y el volumen en los gases, vendría a construir el primer termómetro de aire preciso de que se tiene noticia: un instrumento que utilizaba las variaciones de la presión sufridas por una cierta masa de aire, mantenida a volumen constante (Amontons, 1704). El instrumento consistía de un tubo en forma de U en el cual el volumen del aire era mantenido constante, mientras su presión, representada por la altura de la columna de mercurio confinado en tal tubo, se hacía variar y se medía para diferentes temperaturas, con el objetivo de establecer las comparaciones correspondientes. En una segunda versión de su instrumento, Amontons mantuvo la presión constante haciendo que la temperatura fuese medida por las variaciones en el volumen del aire aprisionado en aquel aparejo. El termómetro de Amontons fue, de este modo, el precursor de los modernos termómetros de hidrógeno, aparecidos en el siglo XIX (Turner, 1980). En el termómetro de Amontons, el mercurio era usado apenas como un indicador del volumen del gas y no como una sustancia termométrica.

El principio de funcionamiento del termómetro moderno de gas se asemeja al termómetro de Amontons a volumen constante, estando basado, de este modo, en la medida de la presión del gas calentado, en vez de la medida de su volumen.



Representado esquemáticamente en la figura, se puede notar que cuando la temperatura aumenta, el gas sufre una dilatación y empuja para abajo el mercurio en el ramo izquierdo. Elevándose el ramo derecho del tubo, hacemos que

el gas retorne a su volumen original y de este modo la diferencia de altura entre los niveles de mercurio en las dos ramas del tubo nos ofrecen una medida de la temperatura. En la práctica, el establecimiento de una escala de temperatura basada en el termómetro de gas posibilita que todos los otros termómetros puedan ser graduados tomando como patrón el termómetro de gas.

Como una consecuencia de sus investigaciones de 1699, Amontons expresó, en sus propias palabras, que “masas de aire desiguales, sujetas a pesos iguales, aumentan igualmente las fuerzas de sus resortes para grados de calor iguales”.

Obsérvese que Amontons se refería al “aumento en la fuerza de los resortes del aire”. ¿Qué significado podríamos, actualmente, atribuir a esa expresión? El contexto indica que el *aumento en la fuerza del resorte* significaba, en términos más modernos, la razón del cambio en la presión en relación a la presión original (Amontons, 1703). La afirmación de Amontons, por entero significaba así la convicción de que el aire siempre muestra el mismo valor de esta razón para un dado cambio en la temperatura. Modernamente, se denomina el valor de esta razón como *coeficiente de presión* del gas, que simbolizamos por la letra griega  $\beta$ . Así, si la presión más alta fuera simbolizada como  $P_2$  a una temperatura  $\theta_2$  y la presión más baja fuese simbolizada como  $P_1$  a una temperatura  $\theta_1$  y se adoptara  $P_0$  como representación de la presión a  $0^\circ\text{C}$ , podemos expresar el valor del coeficiente de presión del gas como:

$$\beta = \frac{P_2 - P_1}{P_0 (\theta_2 - \theta_1)}$$

Como se puede apreciar, la expresión matemática del coeficiente de presión,  $\beta$ , magnitud independiente de la masa de gas, capta, perfectamente, la observación contenida en la frase de Amontons: masas de aire desiguales, sujetas a “pesos” ( $P_0$ ) iguales, aumentan igualmente las “fuerzas de sus resortes” ( $P_2 - P_1$ ) para “grados de calor” ( $\theta_2 - \theta_1$ ) iguales. Es decir, para masas de aire desiguales, sujetas a pesos iguales, la relación entre las fuerzas de sus resortes y los grados de calor,  $(P_2 - P_1)/(\theta_2 - \theta_1)$ , permanece constante.

El valor del coeficiente de presión  $\beta$ , para un cierto gas, puede ser determinado experimentalmente al medirse las presiones ejercidas por el gas a cada una de las temperaturas observadas, mientras el volumen del gas se mantiene constante. Amontons

tons, utilizando una lenguaje y una simbología diferentes, calculó el valor de lo que denominaba el “aumento en la fuerza del resorte” del aire, equivalente al nuestro actual coeficiente de presión  $\beta$ . El valor por él hallado fue de  $1/273$ . Este valor, originalmente propuesto para el aire, fue nuevamente encontrado por Amontons para todos los “gases permanentes” por él probados. El concepto de un “gas permanente”, utilizado por Amontons, actualmente en desuso, fue aceptado durante mucho tiempo en la física y en la química. Él se refería a los gases que, a la época, no se conseguían licuar, por más baja que fuese la temperatura. En verdad, sabemos hoy, las temperaturas necesarias para la obtención de la licuefacción de ciertos gases son tan bajas, que algunos de ellos como, por ejemplo, el hidrógeno y el helio, han sido obtenidos por largo tiempo como ejemplos de gases permanentes (MacDonald, 1968).

El hecho de que Amontons haya encontrado, en 1703, ese mismo valor de  $1/273$ , para todos los entonces “gases permanentes” por él probados, llevó a una conclusión revolucionaria: la que debería haber una temperatura mínima en la naturaleza a la cual el volumen y la presión ejercida por el gas se reducirían a cero. Partiendo de la ley de dilatación de los gases, por él descubierta, y con el recurso de su termómetro de gas, Amontons se concentró en el hecho de que reducciones idénticas en la temperatura resultaban en iguales reducciones en la presión del gas aprisionado en su instrumento, concluyendo, con un fuerte arrojo, que a una temperatura suficientemente baja el volumen y la presión ejercida por el gas deberían llegar a cero. Ésta fue una clara anticipación de la idea de la existencia de un *cero absoluto*, idea ésta que sólo vendría a tener su aceptación ya en mediados del siglo XIX. Cabe acentuar, entretanto, que la idea de Amontons no era la de la existencia de un *límite inferior* de temperatura en la naturaleza, sino la de que una tal temperatura pudiese efectivamente ser alcanzada, con la consecuente anulación del volumen y de la presión del gas. Amontons no utilizó, igualmente, la moderna expresión “cero absoluto”. La denominación de una tal temperatura como el “cero absoluto” sólo vendría a ser atribuida mucho después por John Dalton, en 1802 (Middleton, 1966). Además, el valor calculado por Amontons, para el que vendría a ser posteriormente denominado de cero absoluto, era muy elevado, en comparación al aceptado actualmente. En efecto, Amontons encontró un valor, que, expresado en unidades usadas

actualmente, sería de  $-239.5^{\circ}\text{C}$ , más alto que los actuales  $-273.18^{\circ}\text{C}$ .

Hay muchas formas de acompañar, en términos actuales, el raciocinio hecho por Amontons. Tomemos, por ejemplo, la expresión arriba deducida para el *coeficiente de presión* del gas, el “aumento de la fuerza del resorte del aire”. Llamemos la temperatura más alta simplemente  $\theta$  en lugar de  $\theta_2$ , y hagamos la temperatura más baja igual a  $0^{\circ}\text{C}$ , en lugar de  $\theta_1$ . De este modo,  $P_1$  se vuelve idéntica a  $P_0$  y  $P_2$  igual a  $P_{\theta}$ . Así, haciendo las debidas substitutiones en la expresión arriba del coeficiente de presión, tendremos:

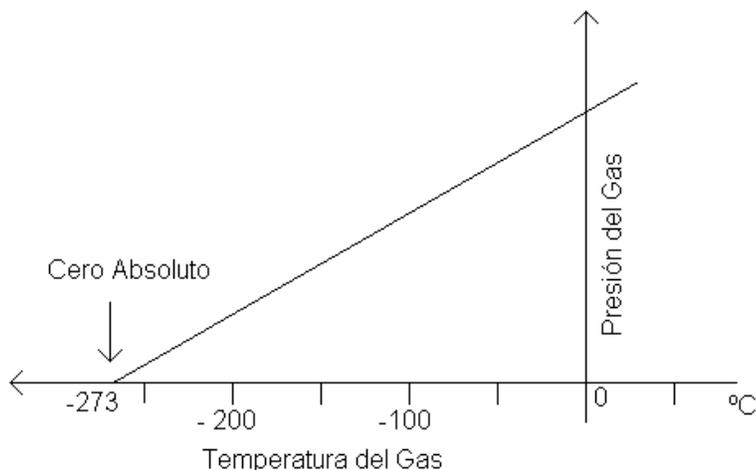
$$\beta = \frac{P_{\theta} - P_0}{P_0\theta}$$

Donde, expresando el valor de la presión  $P_{\theta}$  a la temperatura más alta  $\theta$  en función del coeficiente de presión  $\beta$  y de la presión inicial  $P_0$ , tenemos:

$$P_{\theta} = P_0 (1 + \beta\theta)$$

Desde que  $\beta$  tiene un valor de  $1/273$ , la ecuación de arriba indica que la presión del gas aumenta de  $1/273$  de su valor a  $0^{\circ}\text{C}$  por cada grado que la temperatura se eleva. De modo análogo, la presión del gas disminuye de  $1/273$  del su valor a  $0^{\circ}\text{C}$  por cada grado que la temperatura es reducida. De este modo, a  $273^{\circ}$  encima de cero la presión del gas debería ser el doble de aquella a  $0^{\circ}\text{C}$ . De modo análogo, la presión del gas a  $273^{\circ}$  bajo cero debería ser nula. Este estado hipotético ha dado origen a la construcción del concepto que Dalton vendría, muy posteriormente, a denominar *cero absoluto*.

Un modo de concebir la idea de un cero abso-



luto podría alcanzarse representando en un gráfico la relación entre la presión y la temperatura de un gas ideal contenido en un determinado volumen, como el presentado aquí. A una temperatura de aproximadamente  $-273^{\circ}\text{C}$ , el gráfico tendería a cortar el eje horizontal, denotando con eso la proximidad de una presión nula. Esa temperatura de aproximadamente  $-273^{\circ}\text{C}$  podría ser visualizada como el cero absoluto discutido arriba.

Aunque Amontons haya imaginado que tal temperatura pudiese ser efectivamente alcanzada, es de gran importancia que se asuma actualmente el concepto de cero absoluto con el significado más preciso de un límite. Eso propicia en nosotros la posibilidad de que contemplemos la *naturaleza constructiva* del concepto de *cero absoluto*. Con eso estamos queriendo hacer énfasis en la enorme carga teórica subyacente a las conclusiones que pueden ser obtenidas de las observaciones sobre los fenómenos arriba descritos. En efecto, puede parecer simple, a primera vista, imaginar que la presión de un gas sea reducida a cero. El gran problema real, no obstante, es que antes que tal esperado fenómeno haya ocurrido la sustancia difícilmente podrá ser aún denominada gas. Y no siendo más un gas, el raciocinio resulta inevitablemente comprometido. En otras palabras, concluir sobre la posibilidad de que la presión de los gases se pueda reducir a cero, basados, únicamente, en una mera extrapolación de la relación funcional entre la presión y la temperatura de los mismos, resulta inconsistente.

Sabemos, actualmente, que para los gases más “permanentes”, para usar la antigua terminología de Amontons, el coeficiente de presión  $\beta$  se aleja del valor  $1/273$  para temperaturas muy bajas. La aparente facilidad de realizar un experimento en el cual el cero absoluto viniese a ser efectivamente alcanzado es ilusoria. Esa ilusión resulta del hecho de que no apreciamos, muchas veces, con el debido cuidado el *carácter constructivo de los conceptos* en la ciencia. Dejamos así de apreciar los *presupuestos teóricos* presentes en la simple expectativa de realización de un cierto experimento. Imaginar, por ejemplo, que podamos reducir libremente la temperatura de un gas sin que altere sus propiedades, implica, automáticamente, suponer ciertos presupuestos teóricos sobre la naturaleza del mismo. La dificultad, en la vida real, de atender a tales *presupuestos*, nos lleva a tender *minimizar ciertos factores en la situación experimental* que habían sido simplemente *descartados en la idealización teórica*. En el caso de un gas, por ejemplo, la expec-

tativa de que mantenga sus propiedades con la libre reducción de temperatura es un modelo, una *idealización teórica*, que de hecho supone su estructura interna constituida por algo como puntos materiales —entes sin dimensiones (puntos), pero que poseen masa— que no están sometidos a fuerzas entre sí. Este modelo es bien razonable para temperaturas elevadas, mas parece alejarse bastante de la realidad para temperaturas muy bajas. La drástica reducción de la presión ejercida por el gas, si llega efectivamente a cero, traería como consecuencia que el volumen debería ser reducido a un punto matemático, sin dimensión.

George Gamow (1988), uno de los mayores físicos del siglo XX, expresó de forma brillante esta cuestión: “Ciertamente los gases enfriados nunca se colapsan en un punto matemático sin ningún volumen. Un poco antes de que el cero absoluto sea alcanzado el gas se condensa como líquido, estado en el cual no es posible que sea fácilmente comprimido ulteriormente. Sin embargo, el concepto de cero absoluto juega todavía un papel muy importante en la termodinámica, siendo la temperatura a la cual el colapso del gas a un punto matemático acontecería si las moléculas del gas fuesen infinitamente pequeñas y no hubiese fuerzas atractivas entre ellas”.

Éstas condiciones, como las asigna Gamow, son razonablemente satisfechas por los gases nobles, como por ejemplo, el helio, el neón y el argón. Así, los gases nobles son los más *objetivos* de nuestra *idealización* de un gas que atienda lo más rigurosamente posible la ley de Amontons.

Osadas para su época, sin embargo, la mayor parte de las ideas de Amontons quedaron sin el debido reconocimiento hasta el siglo XIX, cuando su línea de abordaje de los problemas concernientes a la dilatación de los gases vino a ser retomada por el físico y químico francés Henry Victor Regnault, que había iniciado su carrera como asistente de Gay-Lussac (Wisniak, 2001). Posteriormente, Kelvin, que aún cuando joven había trabajado en el laboratorio de Regnault, en París, desarrollaría en 1854 el concepto de cero absoluto en una forma bien próxima de aquella que aceptamos actualmente. Ya en 1848, Kelvin mostró que una escala absoluta de temperaturas podría ser basada en la teoría de Carnot sobre las máquinas térmicas perfectas. La teoría de Carnot indicaba que todas las máquinas térmicas perfectas, trabajando bajo las mismas diferencias de temperaturas, deberían presentar la misma eficiencia, cualquiera que fuesen las sustancias puestas a trabajar en

el interior de la máquina. Basado en esto, Kelvin sugirió que incrementos iguales de temperatura, en una escala absoluta, podrían ser definidos como intervalos de temperatura en los cuales una máquina térmica perfecta operaría con iguales eficiencias. Más tarde, ya en 1854, cuando la concepción del calórico había perdido su hegemonía para la nueva visión energética del calor, Kelvin propuso otra concepción de una escala absoluta. Según esta nueva concepción, incrementos iguales de temperaturas serían tomados como intervalos de temperatura en los cuales una máquina térmica produciría las mismas cantidades de trabajo. Kelvin demostró, también, que tal escala absoluta correspondía mucho más próximamente a la escala obtenida con los mejores termómetros de gas.

### Conclusión

La escala absoluta de temperaturas moderna es, por tanto, rigurosamente, una escala termodinámica. Construcciones más intuitivas, como la de Amontons, discutida aquí, ligadas más directamente al funcionamiento de un termómetro de gas, son, sin embargo, legítimas precursoras de la escala Kelvin.

El hecho de haber sido concebida en una época bien anterior al surgimiento de la termodinámica, confiere un valor intuitivo especial a la contribución de Amontons. Hay que resaltar aquí, sin embargo, que la idea de la existencia de un cero absoluto en la naturaleza, en lugar de haber contribuido para una mayor receptividad de las ideas de Amontons, en su época, parece haber jugado un papel decisivo para que fuesen vistas con gran desconfianza.

Por ir flagrantemente contra el sentido común la idea de la existencia de un cero absoluto en la naturaleza, ha tenido que romper obstáculos epistemológicos que no deben ser subestimados. Sólo el advenimiento de la termodinámica ha venido a conferir a tal concepción un sustento teórico, simultáneamente profundo y amplio, que le faltaba hasta entonces.

Los profesores de física y de química tendrían mucho que ganar si tomasen en cuenta la no trivialidad de una idea tan osada y contraintuitiva como ésta. Los caminos tortuosos, que la historia nos puede revelar, y que conducirían a la intuición y a la posterior reformulación y aceptación de un concepto como el cero absoluto, son avenidas que un profesor que cuestionara los orígenes de los conocimientos que enseña tendría, ciertamente, un gran placer en andar. Es necesario dotar a los futuros maestros, así como aquellos ya en actividad, de un tipo de

educación que incorpore las enseñanzas de la historia. Sin eso, la sugestión de agregar elementos histórico-culturales a la enseñanza de las ciencias, que trasciendan los meros detalles y curiosidades biográficas, será, probablemente, no fructífera. ■

### Bibliografía

- Adcock, L. The Egg in the Bottle Revisited: Air Pressure and Amontons' Law (Charles' Law). *J. Chem. Educ.*, **75**[12] 1567-1568 (1998).
- Allard, G. A Teoria do Calor do Século XVI ao XVIII. En: R. Taton (org.) *História Geral das Ciências*, tomo II, vol. 3. Difusão Européia do Livro. São Paulo, 1960.
- Amontons, G., Discours sur Quelques Proprietez de l'Air et la Mpyen d'en Connoître la Temperature dans tous les Climats de la Terre. *Memoires de l'Academie Royal des Sciences*, 1702a, p. 155-174.
- Amontons, G., De la Hauteur du Mercure dans les Baromètres. *Memoires de l'Academie Royal des Sciences*, 1702b, p. 229-231.
- Amontons, G., Le Thermometre Réduit à une Mesure Fixe et Certaine. *Memoires de l'Academie Royal des Sciences*, 1704, p. 50-56.
- Amontons, G., Que les Nouvelles Expériences que nous avons du Poids et du Resort de l'Air. *Memoires de l'Academie Royal des Sciences*, 1703, p. 101-108.
- Daintith, J., Mitchell, S. & Tootil, E. *Biographical Encyclopaedia of Scientists*, Edinburgh: WR & Chambers Ltd., 1983.
- Fontenelle, B., Eloge de M. Amontons In *Histoire de l'Academie Royale des Sciences*. Paris: Academie Royale des Sciences, 1705, p. 189-94.
- Gamow, G., *The Great Physicists from Galileo to Einstein*. Dover Publications, New York, 1988.
- MacDonald, D., *Perto do Zero Absoluto*. EDART, São Paulo, 1968.
- Middleton, W., *A History of the Thermometer and its Use in Meteorology*. John Hopkins, Baltimore, USA, 1966.
- Middleton, W., *The History of the Barometer*. Baros Books. Wiltshire, England, 1994.
- Roller, D., The Early Development of the Concepts of Temperature and Heat: The Rise and Decline of the Caloric Theory. En: James Bryant Conant, *Case Histories in Experimental Science*. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, USA, 1957.
- Turner, G., *Antique Scientific Instruments*. Blandford Press, Dorset, UK, 1980.
- Wisniak, J., The Heat Man. *Henry Victor Regnault. Educ. quím.*, 12[3], julio, 2001.
- Wolf, A. *History of Science & Philosophy in the 16th & 17th Centuries*. Harper Torchbooks, New York, 1959.