

Un paseo por la historia de la termometría

Santiago Velasco Maillo, Cristóbal Fernández Pineda

In Thermodynamics, the temperature is a key concept and its measurement one of the main practical activities. Here, we present a brief walk guided by some names associated to the main landmarks of the thermometry, the science of the measurement of the temperature.

La temperatura es una de las siete magnitudes físicas básicas en el SI y una variable propia de la Termodinámica, donde se introduce a través de los Principios Cero y Segundo. El Principio Cero permite llegar al concepto de *temperatura empírica* como la propiedad que tienen en común los sistemas que se encuentran en equilibrio térmico. La medida de temperaturas empíricas se realiza a partir de la medida de propiedades o magnitudes físicas que cambian al cambiar la temperatura (p.e., las termorresistencias y los termopares). El Segundo Principio permite introducir el concepto de *temperatura termodinámica* independiente de las propiedades de cualquier sustancia particular. En concreto, la razón de las temperaturas termodinámicas de dos focos térmicos es igual al cociente de los valores absolutos de los calores intercambiados en las porciones isotermas de un ciclo de Carnot, que funciona entre dichos focos. La medida de temperaturas termodinámicas se realiza haciendo uso de leyes físicas en las que aparece la temperatura termodinámica (p.e., los termómetros de gas a volumen constante y los termómetros de radiación total).

De una forma general, la termometría engloba todos los aspectos relacionados con la medida de la temperatura sobre bases científicas, incluyendo la descripción de los instrumentos (termómetros) utilizados, la descripción de los protocolos empleados o el establecimiento de escalas termométricas. La constatación de que muchos de los fenómenos físicos que se iban descubriendo eran muy sensibles a los cambios de temperatura, conduce a que la historia de la termometría sea un fiel reflejo de la misma historia de la Ciencia. Al principio fueron simples fenómenos de expansión de las sustancias, más tarde se incorporaron fenómenos ópticos, acústicos, eléctricos y magnéticos, y ya con el siglo XX fenómenos electrónicos, atómicos y nucleares. Los termómetros se han ido sofisticando con el paso del tiempo como resultado de un largo proceso de prueba y error, a la vez que se han ido incorporando como instrumentos esenciales no sólo en los mundos de la investigación y de la industria, sino también en la vida cotidiana.

No se trata aquí de efectuar un estudio sistemático y exhaustivo de la historia de la termometría, sino simplemente de reseñar brevemente algunos de los principales acontecimientos que aportaron una innovación o una mejora a la medida de la temperatura. De las diferentes formas en las que puede realizarse este paseo histórico se ha optado por presentar de forma cronológica a algunos de los científicos que han escrito esta historia, así como aquellas fechas importantes en las que las colaboraciones internacionales contribuyeron crucialmente a la estandarización y a la diseminación de los patrones. En este sentido, como en otras partes de

la Ciencia, el progreso en termometría va ligado a descubrimientos a los que es difícil asignar una paternidad, especialmente en épocas en las que la comunicación entre los científicos era escasa o inexistente. Esto sucede, por ejemplo con la aparición del termoscopio de aire durante el Renacimiento, con la consideración simultánea de los puntos de solidificación y de ebullición del agua como puntos de referencia, con el uso del mercurio como líquido termométrico, o con la inversión de la escala originalmente propuesta por Celsius. De todo ello trata el presente trabajo.

- Filón de BIZANCIO (siglo III a.C.). Ingeniero griego. Se le atribuye, hacia el 250 a.C., la invención de un aparato (termoscopio de Filón) consistente en un recipiente metálico que contiene parcialmente aire y agua con una boca estrecha que se introduce en un recipiente con agua. El agua entra o sale del recipiente al enfriarse o calentarse el aire del mismo.
- Herón de ALEJANDRÍA (siglo I d.C.). Ingeniero y Matemático griego. Conocía que el aire se dilataba al calentarse. Se le atribuye la denominada *fuelle de Herón*, consistente en un recipiente con agua conectado por su parte inferior a dos esferas colocadas una encima de otra y que contienen aire y agua, de forma que sus cámaras de aire están conectadas entre sí. La presión de una columna de agua se transmite, a través del aire de las esferas, al agua de la esfera superior, la cual mana por un conducto en el centro del recipiente.
- Claudio GALENO (129-201). Médico griego. Relacionó el estado de salud de las personas con el *calor* de su cuerpo, y utilizó medicamentos capaces de modificar este calor. Estableció cuatro tipos de grados (cada uno de ellos subdividido en otros tres): de calor, de frío, de sequedad y de humedad, con la posibilidad de mezclarlos entre sí.

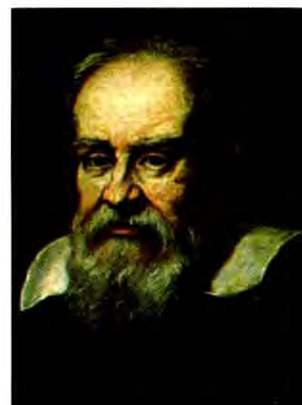


Figura 1. Galileo Galilei

- Galileo GALILEI (1564-1642) (Fig. 1). Científico italiano. Posiblemente inspirado por la traducción al latín de la *Pneumatica* de Herón, realizada por Frederico COMMANDINO en 1575, Galileo redescubrió el termoscopio y en 1597 construyó, en Padua, un termoscopio consistente en una bola de vidrio con aire de cuya parte inferior descendía un tubo con agua que terminaba en un recipiente también con agua. El nivel del agua en el tubo bajaba o subía según que el aire de la bola se calentase o enfriase. Posteriormente sustituyó el agua por *espíritu de vino* (mezcla de alcohol y agua) que mejoraba la sensibilidad del dispositivo. El cambio de la altura de la columna de líquido dependía de la presión atmosférica, por lo que este dispositivo era una mezcla de termómetro y barómetro, razón por la cual también se le conoce como *termobaroscopio* [un discípulo suyo, Evangelista TORRICELLI (1608-1647), fue el primero, en 1644, en establecer la relación entre la altura de una columna de mercurio y la presión atmosférica, inventando el barómetro].



Figura 2. Santorio Santorio

- Santorio (o Santorre) SANTORIO (1561-1636) (Fig. 2). Profesor de medicina en la Universidad de Padua. Introdutor de un termómetro clínico (Fig. 3), similar al termoscopio de Galileo, utilizado para observar la evolución de la fiebre en los enfermos¹. Este aparato tenía una graduación decimal en la que había dos referencias, los primeros puntos fijos considerados, la temperatura de la nieve y la de la llama de una vela. Se le atribuye un intento de medida de la temperatura de la Luna haciendo incidir, mediante un espejo, un haz luminoso procedente de ella sobre el bulbo de su termoscopio.
- Giovanni Francesco SAGREDO (1571-1620). Noble veneciano, discípulo de Galileo. Se le atribuye la utilización, por primera vez, de la palabra *grado* en una escala de temperaturas. Estableció dos puntos de referencia en el termoscopio de Galileo, dividiendo el intervalo entre

ambos en 360 partes por similitud con los 360° de una circunferencia, utilizando también la palabra *grados* para dichas divisiones.

- Jean LEURECHON (1593-1670). Jesuita francés. En su libro *Récréation mathématique*, publicado en 1624, aparece una representación del instrumento utilizado por Santorio, siendo el primero en acuñar la denominación de *termómetro* o “instrumento para medir los grados de calor o de frío que están en el aire”.
- Jean REY (1582-1645). Físico francés. Se le atribuye la construcción, hacia 1630, de un termómetro de vidrio, no sellado, conteniendo agua como líquido termométrico.
- Cornelius DREBBEL (1572-1633). Relojero holandés. Construyó un aparato basado en la dilatación del aire muy parecido al que se le atribuye a Filón. En 1636 Kaspar ENNS publicó un libro titulado *El taumaturgo matemático* en el que habla del aparato de Drebbel, describiendo una escala de temperaturas de 8 grados, y en el que también aparece la palabra *termómetro*.



Figura 3. Termoscopio de Santorio

- FERNANDO II de Médicis, Gran Duque de Toscana (Florenia, 1610-1670). Se le atribuye la construcción (h. 1645), con la ayuda de un esmaltador llamado Mariani, de un tubo de vidrio sellado por sus extremos (y por tanto independiente de la presión exterior) y lleno de alcohol en cuyo interior se encontraban bolas de vidrio con diferentes pesos; al variar la temperatura variaba la densidad del alcohol, cambiando entonces el estado de flotación (principio de Arquímedes) de las bolas y su altura en el interior del tubo. Hoy día, este termómetro es conocido como *termómetro de Galileo* (Fig. 4). También se le atribuye (1654) un termómetro de vidrio sellado conteniendo alcohol y cuyo tubo estaba dividido en partes iguales.
- Academia del Cimento de FLORENCIA. Fundada en 1657. Sus primeros miembros miden sistemáticamente la tem-

¹La paternidad del termoscopio de aire basado en los de Filón y Herón no está clara. Vincenzo VIVIANI (1622-1703) en su *Vita di Galileo* atribuye su invención a Galileo en 1597. En el manuscrito *Matematica meravigliosa* escrito en 1611 por Bartolomeu TELIOUX se da el nombre de *termoscopium* a un aparato con escala similar al construido por Santorio. En una carta dirigida a Galileo y escrita el 30 de Junio de 1612, Sagredo habla del instrumento construido por Santorio. Al parecer, el propio Santorio escribió a Galileo enviándole unos bocetos de su termoscopio y éste le respondió diciéndole que él ya había construido un instrumento similar. Otros nombres que aparecen relacionados con la construcción de termoscopios de aire en la primera mitad del siglo XVII son: el filósofo inglés Francis BACON (1561-1626), el relojero holandés Cornelius DREBBEL (1572-1633), el médico y filósofo inglés Robert FLUDD (1574-1651), el ingeniero francés Salomon DE CAUS (1576-1626), y el jesuita alemán Athanasius KIRCHER (1602-1680), nombres a los que seguramente habría que añadir algunos más.

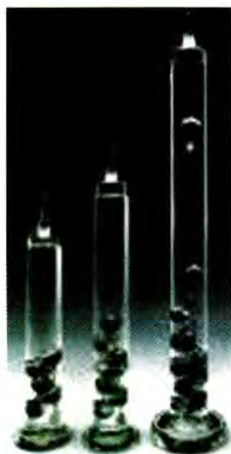


Figura 4. Termómetros de Galileo

peratura, presión y humedad del aire. Construyen una gran variedad de artísticos termómetros de vidrio (con el consiguiente auge del oficio de soplador de vidrio), sellados y con alcohol en vez de agua. Señalan, además, con esmalte divisiones en ellos. Algunos de estos termómetros aparecen en un escrito de 1667 de Lorenzo MARGOTTI, secretario de la Academia. Los termómetros florentinos (Fig. 5) fueron conocidos y reproducidos en toda Europa, contribuyendo al desarrollo de la ciencia experimental.

- Otto von GUERICKE (1602-1686). Ingeniero alemán. Burgomaestre de Magdeburgo. Construyó un termómetro consistente en una esfera de latón conteniendo aire y con un tubo doblado en U con alcohol y abierto por el otro extremo. La temperatura la marcaba un pequeño muñeco conectado con un cable y una polea a una cajita de latón que flotaba sobre el alcohol en el extremo abierto del tubo. Con objeto de comparar la temperatura del aire en distintos lugares señalaba como referencia el punto que correspondía a la indicación del muñeco en las primeras heladas de cada año.
- Christian HUYGENS (1629-1695). Físico holandés. En 1655 señaló la posibilidad de utilizar la temperatura (o *grado observable de calor*, como él lo llamaba) de ebullición del agua como punto de referencia².
- Robert HOOKE (1635-1703). Físico inglés. Construyó un termómetro de etanol en el que el cero estaba situado en el punto de solidificación del agua destilada y los grados correspondían a milésimas del volumen inicial. En 1663, la Royal Society de Londres propuso uno de los termó-

metros contruidos por Hooke como referencia para la comparación de las lecturas de otros termómetros dando lugar, así, a uno de los primeros intentos de calibración y estandarización entre termómetros.

- Isaac NEWTON (1642-1727). Físico inglés. En su trabajo *Sobre la escala de grados de calor y frío* publicado en 1701, describe una escala de 12 grados (por similitud con las 12 pulgadas que tiene un pie), en la que se asigna el valor de 0° a la temperatura de fusión del hielo y el valor de 12° “a la temperatura de una persona sana”. En esta escala el punto de ebullición del agua correspondía a 34°. Propuso la utilización del aceite de lino como líquido termométrico.

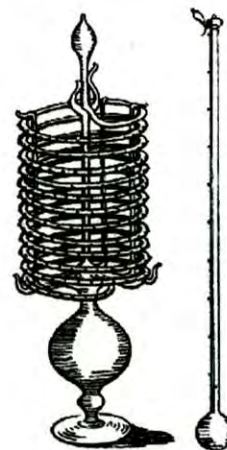


Figura 5. Termómetros florentinos

- Guillaume AMONTONS (1663-1705). Físico francés. Inventor de un termómetro de aire (1699) consistente en una esfera de vidrio de cuya parte inferior salía un estrecho tubo en U abierto. El aire de la esfera estaba bloqueado por mercurio en el tubo³. Introdujo dos puntos fijos de referencia: el punto de ebullición del agua y el punto en el que “el aire pierde su elasticidad”. Con este termómetro constató que “el agua hirviendo no puede adquirir mayor grado de calor, cualquiera que sea el tiempo que esté sobre el fuego, y lo grande que éste sea”. A partir de la observación de que una disminución en la temperatura de una cierta cantidad de gas implica una disminución de su presión y puesto que ésta no puede ser negativa dedujo que debe existir un límite inferior de la temperatura (idea del cero absoluto⁴).

²Al parecer, el primero en llamar la atención sobre la necesidad de la graduación de una escala de temperaturas fue el jesuita matemático francés Honoré FABRI (1607-1688). Sin embargo, la asignación de la paternidad sobre la adopción simultánea de los puntos de fusión del hielo y de ebullición del agua como puntos fijos es objeto de controversia. Entre los candidatos a tal paternidad se encuentran: el francés Joachim DALENCÉ (1640?-1707) en 1688, el conde italiano, miembro de la Academia del Cimento, Carlo RINALDI (1615-1699) en 1693, y el napolitano Sebastiano BARTOLO (1635-1679).

³El termómetro de Amontons se considera el primer termómetro de gas a volumen constante. Sin embargo, en el siglo XVII, los termómetros de gas habían sido ya utilizados por Johannes Baptista VAN HELMONT (1577-1644) y Johann Christoph STORM (1635-1703) y eran conocidos los experimentos sobre las propiedades de los gases realizados por Robert BOYLE (1627-1691) y Edmé MARIOTTE (1620-1684). En el siglo XIX se perfeccionaron enormemente en relación con los trabajos de Jacques-Alexander CHARLES (1746-1823), John DALTON (1766-1844), Louis Joseph GAY LUSSAC (1778-1850), Phillip Johann Gustav VON JOLLY (1809-1884), Henri Victor REGNAULT (1810-1878), y otros muchos. En 1836 Claude Servais Mathias POUILLET (1791-1868) construyó un termómetro de gas con bulbo de platino para medir temperaturas de hornos.

⁴Amontons obtuvo para la temperatura a la cual el aire tendría presión nula el valor, en la escala Celsius actual, de -239°C . Sin embargo, el término de *cero absoluto* se debe al matemático francés Jean Henri LAMBERT (1728-1777) en 1799 en su libro *Pyrometrie*, proporcionándole el valor de $-270,3^{\circ}\text{C}$. En 1851, William THOMSON (Lord Kelvin) (1824-1907) redescubrió la idea del cero absoluto y extrapolando las leyes que se conocían para el comportamiento de los gases ideales proporcionó el valor de -273°C . Hoy día el valor del cero absoluto (0 K) es, por definición, $-273,15^{\circ}\text{C}$.



Figura 6. Daniel Gabriel Fahrenheit

- Ole Christensen RØMER (1644-1710). Astrónomo danés. Se le atribuye la construcción, en 1701, de un termómetro que utilizaba *spiritus vini* coloreado con azafrán como líquido termométrico y que marcaba el cero en una mezcla de hielo y sal, la división 7,5 en la nieve y la división 60 en el agua hirviendo, dividiendo dicho intervalo en una escala lineal. En este termómetro la temperatura del cuerpo humano correspondía a 22,5 grados.
- Daniel Gabriel FAHRENHEIT (1686-1736) (Fig. 6). Físico alemán. En su juventud construyó diversos termómetros de alcohol. Fue el inventor del termómetro de mercurio (1724) tal y como se conoce hoy en día⁵, así como de diversos aparatos meteorológicos. En 1709, después de una visita a RØMER, introdujo una escala de temperaturas (que hoy lleva su nombre) basada en la utilización de dos puntos fijos. Para el primer punto imitó la temperatura más fría del invierno de ese año con ayuda de una mezcla de hielo, sal y cloruro amónico, asignándole el valor de 0°. Como segundo punto tomó la temperatura del cuerpo humano, a la que asignó el valor de 96° (originalmente, Fahrenheit asignó a este punto el valor 24°, por similitud con las 24 horas que tiene un día, pero los grados resultantes eran demasiado grandes y los dividió en 4 partes). Fahrenheit comprobó que, en esta escala, a los puntos de solidificación y ebullición del agua a nivel del mar le correspondían los valores de 32° y 212°, respectivamente.
- René Antoine Ferchault de REAMUR (1683-1757) (Fig. 7). Físico francés. En 1730 propuso una escala calibrada con un único punto fijo y con divisiones basadas en la expansión del líquido termométrico⁶. Haciendo uso de termómetros de gran tamaño (con bulbos ~10 cm de diámetro y tubos de ~1,5 m de longitud) y utilizando una disolución de alcohol y agua comprobó que dicha disolución se dilataba en 80 milésimas de su volumen inicial cuando se calentaba desde el punto de fusión del hielo al punto de ebullición del agua, por lo que concluyó que 80 era “un

buen número para dividir en partes”. Debido a esta conclusión se le atribuyó erróneamente la asignación del valor de 80° para el punto de ebullición del agua. En todo caso, hasta principios del siglo XIX, fue muy utilizada en Europa una escala, denominada *escala Reamur*, que asignaba los valores de 0° y 80°, respectivamente, a los puntos del hielo y de ebullición del agua⁷.



Figura 7. René Antoine Ferchault de Reaumur

- John HARRISON (1693-1776). Relojero inglés. En 1735 inventó el primer dispositivo conocido basado en la dilatación térmica de los metales para detectar cambios de temperatura. Haciendo uso de una lámina formada por dos metales diferentes soldados longitudinalmente entre sí construyó un mecanismo de relojería como sensor de los cambios de temperatura a bordo de un barco. Es el precursor de los termómetros bimetálicos (BiMets).
- Pieter (Petrus) VAN MUSSCHENBROECK (1692-1761). Físico holandés. En 1740 construyó un dispositivo utilizado para medir la temperatura de un horno, basado en la



Figura 8. Anders Celsius

⁵La atribución de la utilización del mercurio como líquido termométrico es también variada. El librero y astrónomo francés Ismael BOULLIAU (1605-1694) utilizó termómetros de mercurio al parecer influido por Huygens. También se atribuye dicha utilización al astrónomo inglés Edmond HALLEY (1656-1742) en 1693. El físico y monje francés Jean-Antoine NOLLET (1700-1770) construyó un termómetro de mercurio pero lo consideró poco práctico pues se dilataba menos que el alcohol al introducirlo en un capilar.

⁶En 1732, el astrónomo francés Joseph Nicolas DELISLE (1688-1768), construyó en San Petersburgo un termómetro basado en la misma idea de Reaumur pero con el punto fijo en el punto de ebullición del agua y utilizando mercurio como líquido termométrico.

⁷Algunos autores asignan esta escala al meteorólogo y geólogo suizo Jean André DELUC (1727-1817) en 1772.

dilatación de una barra metálica expuesta a la radiación térmica procedente de las llamas del horno⁸.

- Anders CELSIUS (1701-1744) (Fig. 8). Astrónomo sueco. En 1741 publicó "Observaciones sobre dos grados persistentes en un termómetro" en donde propuso una escala centígrada tomando como puntos fijos el punto de solidificación y el de ebullición del agua, asignando el valor de 100° para el primero y el de 0° para el segundo.
- Jean-Pierre CHRISTIN (1683-1755). Natural de Lyon (Francia). En 1743, siendo el secretario de la Academia de Bellas Artes de Lyon, propuso la escala centesimal ascendente, es decir, la escala que había propuesto Celsius pero con el valor 0° para el punto del hielo y el valor de 100° para el punto de ebullición del agua⁹. En todo caso, hay que resaltar que el éxito de esta escala se debe a la revolución francesa que mediante la Comisión de Pesas y Medidas decidió en 1794 que "el grado termométrico será la centésima parte de la distancia entre la temperatura del hielo y la del agua hirviendo"¹⁰.
- Charles CAVENDISH (1703?-1783). Aristócrata y científico inglés. Padre de Henry CAVENDISH. En 1757 construyó el primer termómetro de máxima y mínima utilizando alcohol como líquido termométrico y con dispositivos separados.
- Josiah WEDGWOOD (1730-1795). Ceramista inglés. Abuelo materno de Charles Robert DARWIN. En 1782 utilizó la deformación de figuras de arcilla para determinar la temperatura de los hornos de cocción de cerámica. Es el precursor de los actuales "conos pirométricos" utilizados en la monitorización de hornos de cerámicas y de uso industrial.
- James SIX (1731-1793). Científico inglés. En 1782, construyó un termómetro de máxima y mínima formado por un tubo de vidrio en forma de U y que contenía mercurio y alcohol y dos piezas metálicas situadas en cada una de las ramas del tubo.
- Friedrich William HERSCHEL (1738-1800). Científico y astrónomo inglés. En 1800 formó un espectro de luz solar (arco iris) con un prisma y utilizó un termómetro de mercurio para comprobar si unos colores eran más "calientes" que otros. Encontró que la temperatura aumentaba a medida que se desplazaba hacia el rojo del espectro. Pero también se le ocurrió mover el termómetro justo pasado el rojo para observar si desaparecía el efecto de calentamiento comprobando que no solo no desaparecía sino que la temperatura seguía aumentando. Denominó *infrarrojo* a dicha región. Herschel fue el primero en utilizar conjuntamente un termómetro y un prisma para medir "la cantidad de calor" de cada color siendo, por tanto, un pionero de la termometría de radiación.

- Pierre Simon de LAPLACE (1749-1827). Físico y matemático francés. En 1816, con la hipótesis de que la propagación del sonido en un fluido es un proceso adiabático en vez de isotermo, corrigió la expresión que para dicha velocidad había obtenido Isaac NEWTON en 1698. La expresión de Newton-Laplace permite relacionar la velocidad del sonido con la temperatura del fluido. Este es el fundamento de los termómetros acústicos en los que la medida de la temperatura se realiza a partir de la medida de la velocidad del sonido en un gas conocido.
- Pierre Louis DULONG (1785-1838) y Alexis Thérèse PETIT (1791-1820). Físicos franceses. En 1816 construyeron un termómetro basado en la medida del peso de un líquido que rebosa, como consecuencia de su dilatación al aumentar la temperatura, de un recipiente.



Figura 9. Thomas Johann Seebeck

- Abraham Louis BREGUET (1747-1823). Relojero francés de origen suizo. En 1817 construyó un termómetro formado por un resorte espiral de tres láminas metálicas (platino, oro y plata) con diferente coeficiente de expansión y soldadas entre sí. Uno de los extremos del resorte estaba unido a una aguja indicadora, permitiendo apreciar con gran exactitud el cambio de curvatura de la espiral debido al cambio de temperatura.
- Thomas Johann SEEBECK (1770-1831) (Fig. 9). Físico y médico alemán. En 1821 descubrió casualmente el efecto que hoy lleva su nombre, al comprobar que cuando unía una lámina de cobre y otra de bismuto para formar un circuito, se producía en el mismo una corriente eléctrica cuando sujetaba, calentándola, una de las uniones con la mano¹¹. Este fenómeno se conoce como *termoelectricidad* y es el fundamento de los termopares.

⁸Originalmente se denominaron *pirómetros* a los termómetros utilizados para medir las temperaturas de los hornos. En la actualidad se denominan así a los dispositivos que miden temperaturas a partir de la radiación electromagnética emitida por los objetos, que depende de la temperatura. Los más usuales son los basados en las leyes de la radiación, pero en la segunda mitad del siglo XVIII proliferaron los dispositivos que basados en la dilatación de metales se utilizaron con dicho fin. Entre ellos destacan los construidos por los ingleses John ELLICOT (1706-1772), John SMEATON (1724-1792), y Jesse RAMSDEN (1735-1800), y por los franceses Antoine Laurent LAVOISIER (1743-1794) y Pierre Simon de LAPLACE (1749-1827).

⁹Algunos autores, sin embargo, atribuyen esta inversión en 1744 al sucesor de Celsius, Martin STRÖMER (1707-1770), y al constructor de la mayor parte de los termómetros usados por Celsius, Daniel EKSTRÖM (1711-1755). Otros citan al sueco Carl VON LINNÉ (Linneo) (1707-1778), amigo de Celsius, como el autor de dicha inversión en 1745. En 1749, Pehr WARGENTIN, secretario de la Real Academia Sueca de Ciencias, en una historia del termómetro publicada en los Proceedings de dicha sociedad menciona a Strömer y a Ekström en conexión con la escala directa y no menciona a Linneo.

¹⁰En la actualidad el antiguo grado Celsius (centígrado) no corresponde al grado Celsius (símbolo °C) debido a que el punto de ebullición del agua a 1 atmósfera normal (1,01325 bar) es de 99,974°C.

¹¹En 1837, el físico francés Claude Servais Mathias POUILLET (1791-1868) confirmó que el termopar bismuto-cobre produce una fem prácticamente lineal en el intervalo de 0° C a 100° C.

- Antoine Henri César BECQUEREL (1788-1878). Físico francés. En 1826 construyó el primer pirómetro haciendo uso de un par termoeléctrico y en 1864 dió la idea del pirómetro óptico.
- Michael FARADAY (1791-1867). Químico y físico inglés. En 1833 publicó un trabajo sobre las propiedades semiconductoras del Ag_2S mostrando que su resistividad eléctrica disminuía al aumentar la temperatura, por lo que puede considerarse el primer *termistor* NTC (Negative Coefficient Temperature)¹².

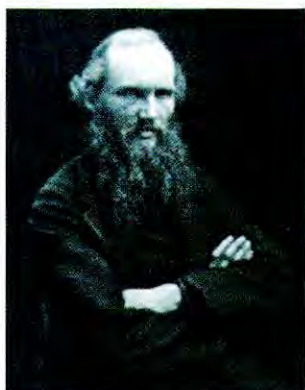


Figura 10. William Thomson (Lord Kelvin)

- Christian Andreas DOPPLER (1803-1853). Matemático y físico austriaco. En 1842 publicó un trabajo en el que presentó el efecto que hoy día lleva su nombre y que relaciona la frecuencia del sonido emitido por una fuente sonora con su velocidad relativa respecto del observador. El ensanchamiento por efecto Doppler y su dependencia con la temperatura de las líneas espectrales emitidas por un objeto en movimiento es el fundamento de los *espectrógrafos térmicos* utilizados para la medida de temperaturas estelares.
- William THOMSON (Lord Kelvin) (1824-1907) (Fig. 10). Físico y matemático escocés. En 1848 se dió cuenta de que el principio de Carnot conducía a definir escalas de temperaturas que son independientes de las propiedades de cualquier sustancia y propuso una escala conocida como *primera escala Kelvin*. Se sabe en la actualidad que la temperatura en dicha escala es una función lineal del logaritmo de la temperatura en la escala termodinámica o absoluta.
- Adolf Ferdinand SVANBERG (1806-1857). Físico sueco. Se le atribuye, en 1857, la construcción del primer termómetro de resistencia eléctrica basado en el aumento de la resistencia eléctrica de los metales con la temperatura¹³.

- William John Macquorn RANKINE (1820-1872). Ingeniero y físico escocés. En 1859 propuso una escala de temperaturas, que hoy lleva su nombre, basada en la escala Fahrenheit pero tomando como punto cero la temperatura del cero absoluto.
- Samuel Pierpoint LANGLEY (1834-1906). Astrónomo norteamericano. En 1861 inventó el *bolómetro*, un instrumento que mide la energía de la radiación térmica a partir del cambio de temperatura en un termómetro de resistencia (una lámina metálica ennegrecida) en el que inci-



Figura 11. Ernst Werner von Siemens

- de la radiación. Con este dispositivo midió la temperatura de la superficie del sol obteniendo un valor de 6427°C .
- Thomas Clifford ALLBUT (1836-1925). Médico inglés. En 1867 inventó el termómetro *clínico*, un termómetro de mercurio de pequeña longitud ($\sim 12\text{ cm}$) cuyo capilar tiene una estrangulación de forma que al enfriarse la columna de mercurio se corta dejando fija la parte superior.
- Ernst Werner von SIEMENS (1816-1892) (Fig. 11). Industrial alemán. En la década de 1860, fabricó pirómetros eléctricos basados en el cambio de la resistencia eléctrica de los metales con la temperatura y, posteriormente, en 1871, utilizó el platino para este tipo de termómetros¹⁴.
- Josef STEFAN (1835-1893). Físico austriaco. En 1879 encontró, basándose en datos experimentales, que la radiación emitida por un cuerpo caliente es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura termodinámica, resultado conocido como “ley de Stefan-Boltzmann” y que es el fundamento de los pirómetros de radiación total¹⁵. Haciendo uso de su ley, Stefan estimó la temperatura de la superficie del sol en un valor de 6000°C .
- Pierre Eugène CHAPPUIS (1855-1916). Físico suizo. Entre 1884 y 1887, trabajando en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM), relacionó las lecturas de los mejores termómetros de mercurio disponibles con los

¹²La palabra *termistor* viene del inglés *Thermally Sensitive Resistor* y con ella se designa a termómetros formados por semiconductores. Existen termistores NTC y PTC (Positive Coefficient Temperature) y se empezaron a construir comercialmente en la década de 1940 por los laboratorios de la Bell Telephone.

¹³Este fenómeno había sido puesto de manifiesto por Sir Humphry DAVY (1778-1829) en 1821, pero usualmente se otorga su descubrimiento al físico ruso de origen alemán Heinrich Friedrich Emil LENZ (1804-1865) en 1833.

¹⁴La construcción del pirómetro eléctrico también se le atribuye al físico alemán Karl Ferdinand BRAUN (1850-1918) en 1869.

¹⁵En 1884, Ludwig BOLTZMANN (1844-1906) probó teóricamente la ley encontrada por Stefan, dándole una sólida base teórica que motivó el abandono de otras leyes alternativas para el mismo fenómeno.

valores obtenidos haciendo uso de termómetros de gas a volumen constante y presión constante con H_2 , N_2 y CO_2 como gases termométricos. Sobre la base de estos resultados el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) adoptó en 1887 la denominada *escala normal* [una escala lineal basada en el termómetro de H_2 a volumen constante con los puntos fijos del hielo ($0^\circ C$) y del vapor de agua ($100^\circ C$) con una precisión de $0,002^\circ C$] como la escala práctica para la metrología internacio-

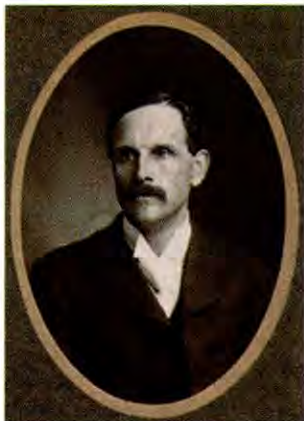


Figura 12. Hugh Longbourne Callendar

nal¹⁶. Esta elección fue ratificada en la 1ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) de 1889.

- Hugh Longbourne CALLENDAR (1863-1930) (Fig. 12). Físico inglés. En 1886, construyó un termómetro de platino utilizando además una ecuación parabólica, hoy día conocida como *ecuación de Callendar*, para ajustar la resistencia, medida por el método del puente de Wheatstone, con la temperatura en el intervalo de $-40^\circ C$ a $500^\circ C$. El termómetro de resistencia de platino es uno de los preferidos en los laboratorios de investigación en los que se requieren medidas precisas de temperatura¹⁷.
- Hugh Heinrich Rudolf HERTZ (1857-1894). Físico alemán. En 1887, observó que el arco que salta entre dos electrodos conectados a alta tensión alcanza distancias mayores cuando se ilumina con luz ultravioleta que cuando se deja en la oscuridad. Este fue el primer experimento en el que se puso de manifiesto que la superficie de un

metal emite electrones cuando incide sobre él luz de frecuencia suficientemente elevada (generalmente luz ultravioleta). Este fenómeno se conoce como *efecto fotoeléctrico*¹⁸ y es el fundamento de los pirómetros fotoeléctricos, instrumentos para medir la temperatura de un objeto mediante el uso de células fotoeléctricas para detectar y medir la intensidad de la luz emitida por él, y construidos por el NIST (National Institute of Standards and Technology) americano como termómetros de calibración en la década de 1990.

- Ernest Otto BECKMANN (1853-1923). Químico alemán. En 1888 inventó un termómetro de mercurio, que hoy lleva su nombre, con objeto de apreciar cambios de temperatura del orden de $0,01^\circ C$, en la determinación de masas molares de solutos a partir del ascenso ebulloscópico y del descenso crioscópico de disoluciones acuosas diluidas.
- Friedrich REINITZER (1857-1927). Botánico austriaco. En 1888 descubrió el cristal líquido¹⁹ cuando estudiaba la influencia del colesterol en las plantas, al comprobar que una sustancia sólida orgánica relacionada con el colesterol presentaba dos puntos de fusión, uno donde fundía a un líquido lechoso y otro, a una temperatura mayor, donde fundía a un líquido claro, observando que el primero de ellos presentaba birrefringencia y colores iridiscentes. El interés sobre los cristales líquidos fue escaso hasta la década de 1960 en la que se iniciaron investigaciones tanto teóricas como de usos prácticos de dichos cristales²⁰. La primera sugerencia de la utilización de cristales líquidos como LCD (Liquid Crystal Display) fue realizada en 1963 por Richard WILLIAMS y George H. HELMEIER de los laboratorios RCA en Princeton, pero el primer LCD operativo no fue desarrollado hasta 1968, por ingenieros de dichos laboratorios dirigidos por Heilmeyer. En muchos de los instrumentos utilizados en termometría la lectura de la medida se realiza en una pantalla de cristal líquido. Pero, también, la orientación de las moléculas de algunos cristales líquidos son muy sensibles a los cambios de temperatura, y presentan cambios de color y de brillo en un pequeño intervalo de temperaturas, utilizándose como sensores de temperatura en dicho intervalo.
- Henri Louis LE CHATELIER (1850-1936). Químico francés. En 1892 construyó un pirómetro óptico, un instru-

¹⁶La necesidad de proporcionar una base común para las comparaciones de las medidas de temperatura condujo al establecimiento de una escala internacional de temperaturas. A medida que se iban mejorando las técnicas y la precisión de las medidas, dicha escala fue evolucionando. En concreto, la escala de 1877 fue revisada, enmendada y ampliada en 1927, 1948, 1958, 1962, 1968, 1976 y en 1990. La historia de las escalas internacionales de temperatura puede encontrarse en la página web del BIPM: http://www1.bipm.org/en/si/history-si/temp_scales/.

¹⁷El puente de Wheatstone para medir la resistencia eléctrica de los termómetros de resistencia fue sustituido por métodos potenciométricos o puentes de corriente continua, como el puente de Smith o el puente de Muller, que eliminaban el efecto de la resistencia eléctrica de los cables de conexión. Hoy día suelen utilizarse puentes de corriente alterna de baja frecuencia con objeto de eliminar las fem parásitas que aparecen en las uniones entre dos metales diferentes por efecto Seebeck.

¹⁸En 1888, Wilhelm HALLWACHS (1859-1922) observó también que la luz ultravioleta al incidir sobre un cuerpo cargado negativamente causaba la pérdida su carga, mientras que no afectaba a un cuerpo con carga positiva. Diez años más tarde, Joseph John THOMSON (1856-1940) y Philipp LENARD (1862-1947) demostraron independientemente, que la acción de la luz era la causa de la emisión de cargas negativas libres por la superficie del metal. En 1905, Albert EINSTEIN (1879-1955) dió la explicación del efecto fotoeléctrico haciendo uso de la teoría cuántica de Planck. Posteriormente, Ralph Howard FOWLER introdujo una corrección debida a la temperatura del metal.

¹⁹El nombre de *cristal líquido* fue acuñado en 1889 por el físico alemán Otto LEHMANN (1855-1922), amigo de Reinitzer, al comprobar que la nueva fase descubierta por éste tenía la propiedad de fluir como un líquido mientras que presentaba la estructura molecular y propiedades ópticas de un cristal.

²⁰El renacer del interés científico internacional sobre los cristales líquidos se debe en gran medida a un artículo que sobre ellos publicaron en 1957 los químicos americanos Glenn H. BROWN y Wilfred G. SHAW en *Chemical Reviews*.

mento que mide la temperatura de un objeto por comparación de la luz que emite con la de una fuente de luz de referencia.

- Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz WIEN (1864-1928). Físico alemán. En 1893, haciendo uso de un horno con un pequeño agujero como aproximación a un “cuerpo negro”²¹, encontró experimentalmente que la longitud de onda correspondiente al máximo de la radiación emitida por un cuerpo caliente es proporcional al inverso de su temperatura termodinámica, conocida como “ley del desplazamiento de Wien” y que es el fundamento de los pirómetros ópticos.
- Pierre CURIE (1859-1906). Físico francés. En 1895, demostró experimentalmente que la imanación de una sustancia paramagnética es proporcional a la intensidad

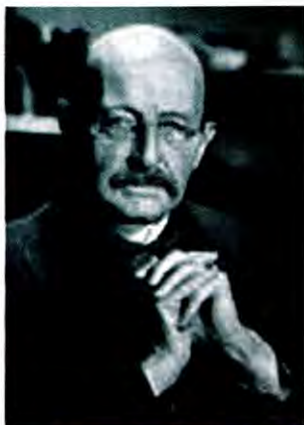


Figura 13. Max Planck

del campo magnético aplicado e inversamente proporcional a su temperatura termodinámica, conocida como “ley de Curie” y que es el fundamento de los termómetros magnéticos.

- Max Karl Ernst Ludwig PLANCK (1858-1947) (Fig. 13). Físico alemán. En 1900, a partir de las ecuaciones de Wien y de Rayleigh para la radiación de un cuerpo negro, dedujo, mediante la introducción de los cuantos de la energía, una expresión que se conoce hoy día como *la ley de la radiación de Planck*. Esta ley supuso el comienzo de la mecánica cuántica y contiene todos los fundamentos teóricos de la termometría de radiación.
- Paul Ulrich VILLARD (1860-1934). Físico francés. En 1900 descubrió una tercera emisión radioactiva (se conocían las emisiones α y β) que denominó *rayos gamma*, análoga a los rayos X pero de menor longitud de onda. La distribución angular de rayos gamma emitida por un conjunto orientado de núcleos radioactivos (por ejemplo ^{60}Co) depende de la temperatura y es uno de los métodos primarios de medida de la temperatura termodinámica.

- Charles FÉRY (1865-1935). Físico francés. En 1902, construyó un pirómetro de radiación, conocido como “lunette de Féry”, todavía empleado en la siderurgia. Este pirómetro consiste esencialmente en un telescopio con un espejo cóncavo que focaliza la radiación en la soldadura caliente de un termopar.
- 1927. La 7ª CGPM adoptó la Escala Internacional de Temperaturas (EIT) de 1927, que es la primera escala internacional.
- John Bertrand JOHNSON (1887-1970). Físico estadounidense nacido en Suecia. En 1927-28 realizó observaciones cuantitativas sobre el hoy día denominado *ruido Jhonson*, sinónimo de *ruido térmico*, que son fluctuaciones en el voltaje eléctrico generadas por la agitación térmica de los electrones en un conductor²². Este es el fundamento de los termómetros de ruido térmico o *Jhonson Noise Thermometers (JNT)*²³.
- Chandrasekhara Venkata RAMAN (1888-1970). Físico hindú. En 1928 descubrió el efecto que lleva su nombre (*efecto Raman*) en el *scattering* de luz monocromática por un medio y que da lugar a espectros que contienen información sobre los modos de bajas frecuencias (electrónicos, vibracionales y rotacionales) de las moléculas. En la década de 1960, con el uso del láser como fuente de radiación monocromática intensa, tuvo lugar un auge de la denominada *espectroscopía Raman*. En particular, la dependencia con la temperatura del desplazamiento de las emisiones Raman de una molécula con respecto a la longitud de onda incidente supuso su utilización en termometría. La termometría Raman no requiere de calibración y la precisión de sus medidas de temperatura depende de la precisión de los datos espectroscópicos.
- 1937. EL CIPM estableció un comité consultivo de termometría y calorimetría para que le aconsejara en este campo. Poco después este comité pasó a denominarse



Figura 14. William Francis Giauque

²¹Un “cuerpo negro” es un sistema ideal capaz de absorber toda la radiación que incide sobre él. El concepto de “cuerpo negro” había sido introducido por Gustav Robert KIRCHHOF en 1861.

²²En 1928, Harry NYQUIST (1889-1976) efectuó un análisis teórico sobre el fenómeno descubierto por Johnson, haciendo uso de un modelo formado por dos resistencias eléctricas conectadas en un circuito resonante, por lo que a veces se denomina *ruido Johnson-Nyquist*. Un análisis sobre los fundamentos cuánticos de este fenómeno fue realizado en 1951 por Herbert B. CALLEN y Ted Alan WELTON, dando lugar a lo que se conoce como *teorema de fluctuación-disipación*.

²³En 1946, en una carta al editor de Physical Review, los estadounidenses A.W. LAWSON y E.A. LONG propusieron el uso del ruido térmico en una resistencia eléctrica para termometría de bajas temperaturas.

Comité Consultivo de Termometría (CCT). Este comité ha jugado un papel esencial en la evolución de la EIT.

- William Francis GIAUQUE (1895-1982) (Fig. 14). Físico norteamericano nacido en Canadá. En 1939, en un artículo publicado en la revista *Nature*, propuso que se utilizase para la función termométrica de cualquier escala empírica de temperaturas una función lineal sin término independiente y que se utilizase el punto triple del agua como único punto fijo para determinar el valor de la constante de proporcionalidad.
- Russell OHL (1898-1987). Ingeniero estadounidense. En 1940, trabajando en los laboratorios de la Bell Telephone, Ohl descubrió accidentalmente la unión p-n en un cristal de silicio con impurezas que tenía una grieta en su interior, observando que existía en determinadas circunstancias un flujo de corriente eléctrica en una dirección a través de la grieta²⁴. El voltaje a través de una unión p-n semiconductor depende de la temperatura proporcionando así un dispositivo para la medida de la misma. Hoy día estos dispositivos son pequeños y baratos lo que les hace útiles para su incorporación en circuitos integrados con objeto de detectar cambios de temperatura.
- Edward Mills PURCELL (1912-1997) y Felix BLOCH (1905-1983). Físicos estadounidenses (Bloch nació en Suiza). En 1945 descubrieron separadamente el fenómeno de la *resonancia magnética nuclear* (RMN) en la materia condensada gracias a la observación del comportamiento de núcleos atómicos de líquidos y sólidos inmersos en un campo magnético²⁵. En la década de 1970 comenzaron a desarrollarse numerosas aplicaciones de la RMN, especialmente para la formación de imágenes de estructuras internas del cuerpo humano. También en esta década se empezó a utilizar la RMN en termometría haciendo uso de los cambios con la temperatura de los tiempos de relajación, semianchuras y posiciones de las líneas de los espectros RMN²⁶.
- 1948. En este año tuvo lugar la primera revisión de la EIT de 1927 y se introdujo la EIT-1948. En ella se decidió, entre otras cosas, abandonar el nombre de *grado centígrado* para la unidad de temperatura y reemplazarlo por el de *grado Celsius* (°C), para evitar confusiones con la centésima de grado usada en la medida de ángulos.
- Abraham C. S. VAN HEEL (1899-1966). Físico alemán. En 1949 comenzó a investigar en la transmisión de imágenes a través de haces de fibras paralelas de vidrio. En 1954 publicó en la revista *Nature* un estudio sobre un conductor óptico formado por un haz de fibras de vidrio con una cubierta transparente de bajo índice de refracción que le protegía de perturbaciones exteriores y reducía enormemente la interferencia entre las fibras. Muchos autores consideran el trabajo de van Heel como el inicio de la revolución de la fibra óptica²⁷. En 1970, los americanos R. D. MAURER, P. C. SCHULTZ, D. B. KECK y F. ZIMAR, ingenieros de los laboratorios Corning, desarrollaron una fibra óptica monomodo, dopando con titanio fibras de silicio, que permitía transportar a larga distancia 65000 veces más información que por un hilo de cobre. La dependencia con la temperatura de diferentes propiedades de las fibras ópticas han permitido utilizarlas como sensores de temperatura. Se utilizan también como transportadores de señal en diferentes técnicas de termometría.
- 1954. La 10ª CGPM adoptó una propuesta hecha por Kelvin en 1854 de definir la unidad de temperatura termodinámica en función del intervalo entre el cero absoluto y un único punto fijo. Se adoptó como punto fijo el punto triple del agua al que se le asignó una temperatura termodinámica de 273,16° K.
- Rudolf Ludwig MOSSBAUER (1927). Físico alemán. En 1957 descubrió la emisión y absorción resonante de rayos γ por parte de materiales sólidos radioactivos (efecto Mossbauer). Este efecto junto con el efecto Doppler constituyen la base de la denominada espectroscopía Mossbauer. La *termometría Mossbauer* utiliza el hecho de que las semianchuras de línea de los espectros Mossbauer dependen de la temperatura.
- Theodore Harold MAIMAN (1927). Físico estadounidense. En 1960 desarrolló el primer láser de rubí²⁸. Hoy día el láser está presente en las más modernas técnicas de termometría, especialmente en las relacionadas con técnicas

²⁴La asignación de la paternidad del diodo no está exenta de polémica. En 1926, L. O. GRONDHAL y P. H. HEIGER encontraron propiedades rectificadoras en uniones semiconductoras cobre-óxido de cobre, y en 1938 Walter SCHOTTKY propuso una explicación teórica de dicho efecto. En 1939, William Bradford SHOKLEY tuvo la idea de utilizar una unión formada por un trozo de una lámina de cobre y un trozo de un material semiconductor como rectificador.

²⁵En 1937, Isidor Isaac RABI (1898-1988) y su equipo de la Universidad de Columbia hicieron pasar un haz de moléculas de cloruro de litio por una cámara de vacío situada en un campo magnético y sometieron dicho haz a ondas de radio a la vez que variaban la intensidad del campo magnético. Cuando la frecuencia de precesión, alrededor de la dirección del campo aplicado, del momento magnético de las moléculas del haz coincide con la frecuencia de la onda de radio aplicada, el momento magnético cambia de orientación, fenómeno que se conoce como *resonancia magnética*.

²⁶En 1948, Nicolaas BLOEMBERGEN, el mismo PURCELL y Robert V. POUND publicaron en la revista *Physical Review* un artículo con gran influencia en las aplicaciones físicas de la RMN.

²⁷La paternidad de la fibra óptica tampoco está clara. La idea de la transmisión de luz por haces de varillas transparentes fue patentada en los años 1920 por John Logie BAIRD en Inglaterra y por Clarence W. HANSELL en Estados Unidos. En 1930, un estudiante de medicina alemán, Heinrich LAMM, con objeto de acceder a partes internas del cuerpo, logró transmitir la imagen del filamento de una bombilla a través de un corto haz de fibras transparentes. En 1951, el danés Holger Möller HANSEN presentó una patente sobre una fibra óptica que le fue denegada por coincidencias con las patentes de Baird y Hansell. En 1952, el inglés Harold Horace HOPKINS (1918-1994) recibe una beca de la Royal Society de Londres para desarrollar haces de fibra de vidrio como endoscopio y contrata a Narinder Singh KAPANY, de origen hindú, como asistente. Al parecer, Hopkins comunicó a Fritz ZERNICKE su idea sobre los haces de fibra de vidrio, y éste llamó a van Heel quien se decidió a publicar rápidamente su trabajo. El hecho, es que Hopkins y Kapany publicaron también en 1954 y en *Nature* un trabajo sobre un haz no recubierto de fibras de vidrio. Hopkins y Kapany aparecen a veces en la literatura como los padres del endoscopio de fibra óptica. Es también de destacar la contribución del físico chino Charles Kuen KAO (1933), quien en 1966 sugirió el uso de fibra óptica para comunicaciones de larga distancia siempre que tuviesen una atenuación de la señal óptica inferior a 20 dB/km.

²⁸La palabra *laser* (acrónimo de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) fue acuñada en 1957 por el físico estadounidense Gordon GOULD (1920), a quien también se le atribuye el desarrollo del primer láser.

de espectroscopía (fluorescencia, Raman, etc.) e interferométricas.

- Brian David JOSEPHSON (1940). Físico inglés. En 1962 descubrió el *efecto Josephson* que consiste en el paso por efecto túnel²⁹ de una corriente eléctrica entre dos superconductores separados por una fina capa de aislante. Este efecto es el fundamento de los magnetómetros SQUID (Dispositivo Superconductor de Interferencia Cuántica) con los que se pueden detectar campos magnéticos muy débiles y que se utilizan en termometría de muy bajas temperaturas.
- E. Dwight ADAMS. Físico estadounidense. En 1967 sugirió el uso de la curva de coexistencia sólido-líquido del He³ para termometría de bajas temperaturas (entre 0,9 mK y 1 K) que, posteriormente, ha dado lugar a una extensión criogénica de la EIT-90 denominada PLTS-2000 (Provisional Low Temperature Scale-2000).
- 1968. En este año tuvo lugar la segunda revisión de la escala de temperatura, en la que se adoptó la denominada Escala Internacional Práctica de Temperatura (EIPT) de 1968. En la EIPT-68 las unidades de temperatura termodinámica y práctica se definieron como idénticas e iguales a 1/273,16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua. Se bautizó a esta unidad con el nombre de *kelvin*, símbolo *K*, en lugar del *grado kelvin*, símbolo °K. La temperatura Celsius se definió como $t(^{\circ}\text{C}) \equiv T(k) - 273,15$, de forma que $\Delta T(k) = \Delta t(^{\circ}\text{C})$. A partir de aquí es usual expresar las temperaturas inferiores a 0°C en kelvin, y las temperaturas superiores en grados Celsius.
- John S. STEINHART and Stanley R. HART. Oceanógrafos estadounidenses. En 1968 publicaron el trabajo *Calibration curves for thermistors* en la revista "Deep Sea Research" en el que propusieron la que hoy día se conoce como *ecuación Steinhart-Hart* ($1/T = A + B[\ln(R)] + C[\ln(R)]^3$) para la calibración de termistores NTC.
- Dennis S. GEYWALL. Físico estadounidense. En 1986 propuso una escala (*escala Geywall*) de temperaturas en la región de los mK sobre la base de la dependencia del calor específico del ³He con la temperatura medida con un termómetro que utiliza la sal paramagnética CMN (Cerium-Magnesium-Nitrate). Se le atribuye la idea del denominado termómetro de Segundo Sonido o SST (Second Sound Thermometer) que indica la temperatura a partir de la medida de la velocidad del segundo sonido en una mezcla de ³He y ⁴He en la región en la que el ⁴He es superfluido.
- Norbert ROTH, Klaus ANDERS, y Arnold FROHN. Físicos alemanes. En 1988 introdujeron por primera vez la técnica denominada *termometría de arco iris* (Rainbow thermometry) que permite medir el tamaño y la temperatura de una gota. La técnica se basa en el estudio de las franjas de interferencia producidas por una gota iluminada por un láser. La temperatura de las gotas está relacionada con su índice de refracción que se mide a partir del ángulo de dispersión de la luz que sale de la gota. Se utiliza para medir temperaturas en la combustión de líquidos pulverizados.
- 1990. El 1 de enero de 1990 entró en vigor la EIT-90 reemplazando a la EIPT-68 y a la EPT-76 (Escala Provisional de 1976 desde 0,5 K a 30 K), que es la actualmente en vigor. Entre otras cosas, en ella se utiliza el punto triple del agua (273,16 K) como punto fijo de definición de la escala en lugar del punto de solidificación del agua, y el termopar Pt / Pt – Rh (10%) dejó de ser un instrumento de definición de la escala.
- Jukka P. PEKOLA, Kari P. HIRVI, Juha P. KAUPPINEN y Mikko A. PAALANEN. Físicos finlandeses. En 1994 desarrollaron un termómetro basado en las propiedades de la conducción eléctrica por efecto túnel en un conjunto de nanouniones metal-aislante-metal, abriendo las puertas de la termometría a la nanotecnología. Este termómetro se conoce como CBT (Coulomb Blockade Thermometer) debido al control del paso de un sólo electrón en una nanoestructura mediante un efecto conocido como *bloqueo de Coulomb*, y ha sido comercializado recientemente por la compañía Nanoway Ltd. Este termómetro mide temperaturas entre 0,02 K y 30 K, siendo insensible a la presencia de campos magnéticos.
- Lafe SPIETZ, Konrad W. LEHNERT, Irfan SIDDIQI y Robert SCHOELKOPF. Físicos estadounidenses. En 2003 publicaron en la revista *Science* un trabajo en el que presentaron un termómetro que consiste en dos piezas metálicas de aluminio, de 1 μm por 10 μm, separadas por un óxido de aluminio (Al₂O₃). Al aplicar un voltaje entre las placas aparece un paso de electrones por efecto túnel a través de la barrera, creándose una corriente eléctrica. Este termómetro se conoce como SNT (Shot Noise Thermometer). Se mide la potencia del ruido en función del voltaje aplicado, ajustándose las medidas a una curva que depende de la temperatura y que en ausencia de voltaje proporciona la potencia asociada al ruido Johnson. Este termómetro mide temperaturas entre 50 mK y 25 K con una precisión de un 0,1%.
- Bernd FELLMUTH. Científico alemán. En 2003, en una nota en *PTB news*, propone una redefinición de la unidad de temperatura termodinámica a través del conocimiento del valor de la constante de Boltzmann, *k_B*. Esta redefinición evitaría la relación de la unidad de temperatura con una propiedad de un sistema concreto (el punto triple del agua). Se seguiría, así, el camino emprendido para la definición de otras unidades (p.e., el voltio-90 y el ohmio-90) en términos de los valores de constantes fundamentales.

En todo lo que antecede no se ha pretendido ser exhaustivo y por ello algún lector eche en falta nombres o fechas que considere relevante en el desarrollo de la termometría. En esta *historia* se han intentado incluir los logros, que habiendo llegado a nuestro conocimiento, nos han parecido más relevantes, pero es probable que algunos de ellos hayan escapado a nuestra atención. El campo examinado está avanzando rápidamente con las nuevas aportaciones procedentes

²⁹El denominado *efecto túnel* es un fenómeno cuántico, basado en el principio de incertidumbre de Heisenberg, descrito por George GAMOW (1904-1068) en 1928 para explicar la desintegración radioactiva en la que se producía la emisión de partículas alfa.

de otras áreas, inimaginables hace unos pocos años. Es muy posible que en el futuro aparezcan mejoras en cuanto a las técnicas de medida, a los intervalos de temperatura accesibles, a la precisión de las medidas, etc. Tales mejoras pueden afectar, como ya se ha comentado, a una nueva definición de la unidad de temperatura termodinámica a través del conocimiento del valor de la constante de Boltzmann, k_B , conocido actualmente con una incertidumbre estándar relativa de 2×10^{-6} . Para ello será necesario determinar k_B con una incertidumbre estándar relativa inferior a la que tiene el kelvin (3×10^{-7}). Los trabajos en curso en diferentes laboratorios pretenden alcanzar, en un plazo estimado de dos años, dicho objetivo usando termometría acústica (NIST en Estados Unidos y IMGC/IEN en Italia), termometría de constante dieléctrica (PTB en Alemania), termometría de radiación total (NPL en el Reino Unido) y termometría Doppler (consorcio francés).³⁰ En otras palabras, la historia de la termometría continúa.

Bibliografía

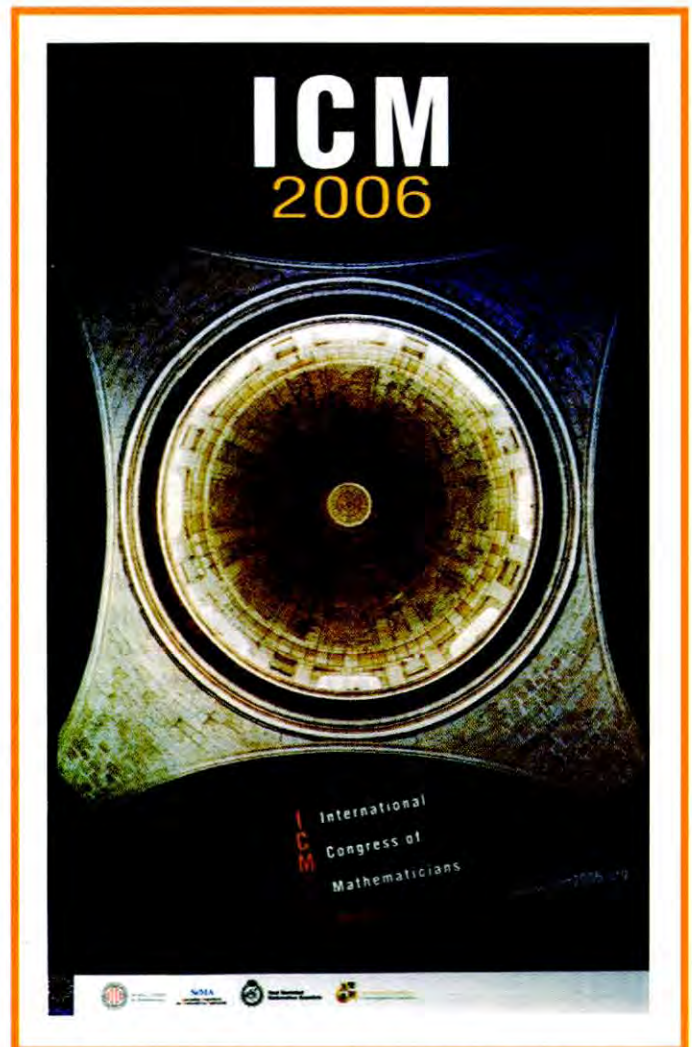
- [1] BECKMAN O., "Anders Celsius and the fixed points of the Celsius scale", *Eur. J. Phys.*, **18**, 169-175 (1997)
- [2] BLOEMBERGEN N., PURCELL E.M. Y POUND R.V., "Relaxation Effects in Nuclear Magnetic Resonance Absorption", *Phys. Rev.*, **73**, 679-712, (1948).
- [3] BRUSH S. G., *The Kind of Motion We Call Heat. A History of the Kinetic Theory of Gases in the 19th Century* (North-Holland, Amsterdam, 1976) 2 volúmenes.
- [4] CALLENDAR, H. L., "On the Practical Measurement of Temperature: Experiments Made at the Cavendish Laboratory, Cambridge", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. A.*, **178**, 161-230 (1887).
- [5] B. FELLMUTH, *Redefinition of the temperature unit?*, PBT news, **2**, 3 (2003).
- [6] FERNÁNDEZ PINEDA C. Y S. VELASCO, "Antecedentes históricos del Principio Cero", *Rev. Esp. Fis.*, **16**, 54-57 (2002).
- [7] J. FISCHER, B. FELLMUTH, J. SEIDEL Y W. BUCK, *Towards a new definition of the kelvin-ways to go*, TEMPMEKO 2004, 22-25 de junio de 2004, Cavtat-Dubrovnik, Croacia.
- [8] GIAUQUE W. F., "A Proposal to Redefine the Thermodynamic Temperature Scale: with a Parable of Measures to Improve Weights", *Nature* **143**, 623-626 (1939).
- [9] GUILDNER L. A., "The measurement of thermodynamics temperature", *Physics Today*, **35**, 24-31 (1982).
- [10] LEIGH J. R., *Temperature measurement and control* (Peter Peregrinus Ltd., London, 1991).
- [11] MACGEE T. D., *Principles and methods of temperature measurement* (John Wiley, New York, 1988).
- [12] MICHALSKY L., K. ECKERSDORF, J. KUCHARSKI, Y J. MCGHEE Eds. *Temperature Measurement 2.* Ed. (John Wiley, New York, 2001).
- [13] MIDDLETON W. E. K., *History of the Thermometer and its Use in Meteorology* (John Hopkins University Press, Baltimore, 1966).
- [14] PEKOLA J. P., K. P. KIRVI, J. P. KAUPPINEN Y M. A. PAALANEN, "Thermometry by arrays of tunnel junctions", *Phys. Rev. Lett.* **73**, 2903-2905 (1994).
- [15] PRESTON-THOMAS H., "The international temperature scale of 1990 (ITS-90)", *Metrologia* **27**, 3-10 y 107 (erratum) (1990).
- [16] QUINN T. J., *Temperature* (Academic Press, London, 1990) 2ª Ed.
- [17] RUSBY R. L., M. DURIEUX, A. L. REESINK, R. P. HUDSON, G. SCHUSTER, M. KÜHNE, W. E. FOGLE, R. J. SOULEN Y E. D. ADAMS, "The Provisional Low Temperature Scale from 0.9 mK to 1 K, PLTS-2000", en *Temperature Its Measurement and Control in Science and Industry*, D. C. Ripple Ed. (American Institute of Physics, New York, 2003), Vol. 7, págs. 77-82.
- [18] SPIETZ L., K. W. LEHNERT, I. SIDDIQI, Y R. J. SCHOELKOPF, "Primary Electronic Thermometry Using the Shot Noise of a Tunnel Junction", *Science* **300**, 1929-1932 (2003).
- [19] SOULEN R. J. Y W. E. FOGLE, "Temperature Scales Below 1 Kelvin", *Physics Today* **50**, No. 8, págs. 36-42 (1997).
- [20] STEINHART J. S. Y S. R. HART, "Calibration curves for thermistors", *Deep Sea Research* **15**, 497-503 (1968).

Santiago Velasco Maillo

está en el Dpto. de Física Aplicada. Univ. de Salamanca

Cristóbal Fernández Pineda

está en el Dpto. de Física Aplicada I.
Universidad Complutense. Madrid



³⁰Workshop on Methods for New Determinations of the Boltzmann Constant (21 de enero de 2005, PTB, Berlín).