

Una cuestión de medida

El 16 de noviembre de 2018, la 26ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) reunida en Versalles tomó la decisión de modificar el Sistema Internacional de Unidades (SI). Cambió las definiciones oficiales del kilogramo, el amperio, el kelvin y el mol. Los cambios regirán a partir del 20 de mayo de 2019 y, según los medios científicos y tecnológicos internacionales, constituyen el punto culminante de una revolución que marcó el fin de una era y el comienzo de una nueva.

Dicha conferencia es uno de los mecanismos institucionales establecidos en la Convención del Metro, un tratado internacional firmado en 1875 al que la Argentina adhirió en 1877, que también creó la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM, por su sigla en

francés), cuya sede está en Sèvres, en los suburbios parisinos.

Durante los 143 años transcurridos desde la firma del tratado, sus instituciones y procedimientos han avanzado decisivamente en uniformar universalmente los patrones de mensura del mundo físico, es decir, han facilitado en forma decisiva la tarea de medir, que constituye una necesidad ineludible en la mayoría de las actividades humanas, de la ciencia al comercio minorista cotidiano. Como consecuencia, en la ciencia, la tecnología y sus aplicaciones rige hoy el SI, y en prácticamente todo lo demás existe en el mundo una preponderancia del sistema métrico decimal.

En términos resumidos, el SI se compone de siete unidades básicas, un numeroso conjunto de unidades

¿DE QUÉ SE TRATA?

Como en *Il gattopardo*, la novela de Giuseppe Tomasi di Lampedusa sobre la vida en Sicilia a mediados del siglo XIX, resultó necesario que en el sistema internacional de pesas y medidas todo cambie para que todo permanezca igual.

derivadas y un complejo sistema de reglas semánticas y sintácticas. Las unidades básicas son:

Medida	Unidad	Símbolo
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Temperatura	kelvin	K
Corriente eléctrica	amperio	A
Cantidad de sustancia	mol	mol
Intensidad luminosa	candela	cd

Cada una de estas medidas tiene su historia, la que para algunas, como las cuatro primeras, se remonta a hace siglos e incluso milenios, y comenzó con referencias antropométricas y de la vida cotidiana. Así, para la longitud, nacieron el pie, la pulgada y muchas otras, cuya imprecisión y variabilidad llevó a que desde el siglo XVIII se buscara tomar como base el tamaño de la Tierra y se llegó a definir conceptualmente el metro como la diez millonésima parte del meridiano de París entre el polo norte y el ecuador, y se realizaron a lo largo de ese siglo y del siguiente constantes esfuerzos por medir sobre el terreno arcos de ese meridiano. Esta precisión conceptual no ayudaba mucho en términos prácticos, por lo que en 1889 se optó por construir un metro patrón de una aleación de platino e iridio, conservado en la sede del BIPM. En 1984, ese objeto fue remplazado por una definición basada en la velocidad de la luz, una constante universal que hoy se puede medir con enorme precisión. Desde 1984, un metro, *exactamente*, es la distancia que recorre la luz en el vacío en el lapso de $1/299.292.458$ de segundo.

Para la masa (que en ámbito no científico suele llamarse peso), sucedió algo parecido. Se pasó de tomar como patrón un cierto número de granos, por ejemplo, en el ámbito del Mediterráneo, de trigo o cebada, a tomar un litro de agua a determinada temperatura y, en 1901, a tomar un prototipo cilíndrico de platino-iridio también conservado en la sede del BIPM. La nueva definición a entrar próximamente en vigencia se basa en la equivalencia de masa y energía, y en un parámetro universal del mundo de la materia subatómica, la constante de Planck, cuyo valor quedó fijado, *exactamente*, en $6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$.

Para medir el tiempo, el parámetro natural del que dispuso la humanidad desde antiguo fue la duración del día, la que por razones inciertas dividió —recurriendo, no a un sistema decimal, como el resto de las unidades, sino a uno sexagesimal— en 24 horas de 60 minutos y cada uno de estos en 60 segundos, de donde el se-

gundo como unidad de tiempo quedó definido como la 86.400^{a} parte de un día. Las irregularidades de la rotación de la Tierra, responsable de la sucesión de los días, llevaron a que, en 1968, la CGPM reemplazara ese parámetro por oscilaciones atómicas: un segundo quedó así definido por la duración de $9,19263177 \times 10^9$ oscilaciones de un átomo de cesio 133.

La referencia tradicional para la medición de la temperatura fue el comportamiento del agua, en especial los puntos en que se congela y en que hierve. El astrónomo sueco Anders Celsius (1701-1744) definió una escala de temperaturas dividiendo en 100 pasos o grados el intervalo entre ambos puntos (el segundo medido a la presión de 1 atmósfera), cada uno de los cuales se conoció como un centígrado ($^{\circ}\text{C}$) y, desde 1948, como un grado Celsius (igual símbolo). La escala de temperaturas del SI (llamadas temperaturas termodinámicas) tiene como unidad el kelvin (K), que no debe llamarse 'grado'. Dicha escala asigna a 0°C el valor de 273,16K, y a 100°C al de 373,16K, con lo que una diferencia de temperatura de 1°C es igual a la de 1K. El valor de 0K, equivalente a $-273,16^{\circ}\text{C}$, corresponde al cero absoluto que definen los




Una de las numerosas réplicas del kilogramo patrón (conocido como *Le grand K*) de platino-iridio, que data de 1889 y está depositado en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, en Sèvres. Las réplicas servían hasta ahora a los organismos de metrología de los distintos países para calibrar los sistemas nacionales de medición. Igual que sucedía con el metro patrón, abandonado en 1984, el empleo de un objeto físico para ese propósito implicó considerables trastornos por los traslados para hacer las verificaciones. Además, y sobre todo, los objetos físicos no son invariables: se estima que, desde su fabricación, el gran K perdió unos 50 microgramos (millonésimas de gramo) de peso.

físicos. A partir de mayo de 2019, el kelvin quedará fijado a partir del parámetro universal llamado constante de Boltzmann, que relaciona la energía cinética de las partículas de un gas con su temperatura, cuyo valor quedó establecido en $1,38064852 \cdot 10^{-23} \text{kg s}^{-2} \text{K}^{-1}$.

La definición de una de las restantes tres unidades básicas –la candela– no cambia en estos momentos. Fue establecida por la CIPM en 1948 y redefinida por ese órgano en 1967 y en 1979, para quedar como la intensidad luminosa de una fuente que emite radiación monocromática de 540×10^{12} hertz y $1/683$ vatios por estereorradián. Se modifican, en cambio, las otras dos –el amperio y el mol–, también sobre la base de parámetros universales, a saber, la carga eléctrica elemental y la constante de Avogadro.

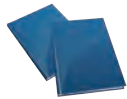
Como se puede apreciar por lo expuesto, con los recientes ajustes de las definiciones del SI por la reciente Conferencia General de Pesas y Medidas, todas las unidades que lo componen quedaron definidas en función de constantes universales que caracterizan al mundo natural, válidas –hasta donde la mente humana logra concebirlo– en cualquier lugar del universo y en cualquier momento de la historia de este, o, como se expresó en los inicios de la Convención del Metro, válidas para ‘todos los tiempos y todos los pueblos’. Las técnicas actuales de medición permiten expresar la magnitud de esas constantes con la enorme precisión requerida para ha-

cer funcionar dispositivos como los actuales GPS. Además, midiendo el kilogramo con la balanza que muestra la ilustración, quedan determinadas las otras cinco unidades (aunque el mol, que se refiere a la cantidad de sustancia, no se mide sino que se cuenta). Esa es la revolución mencionada al comienzo. En consecuencia, perdieron su función y pasaron a la categoría de veneradas piezas de museo todos los artefactos físicos que en algún momento sirvieron de patrón de medida. 



Una balanza de Kibble –inventada por el físico británico Bryan Kibble (1938-2016)–, la máquina que permite aplicar la nueva forma de definir el kilogramo. Determina la masa de un objeto con gran precisión estableciendo la cantidad de energía necesaria para equilibrar su peso por medio de la fuerza electromagnética. Esa cantidad depende del valor de la constante de Planck, concepto clave de la mecánica cuántica que, entre otras cosas, relaciona la energía de un fotón con su frecuencia.

LECTURAS SUGERIDAS



TAYLOR BN & THOMPSON A, 2008, *The International System of Units (SI)*, US Government Printing Office, Washington DC, accesible en <http://physics.nist.gov/cuu/Units/bibliography.html>.

TAYLOR BN & THOMPSON A, 2008, *Guide for the Use of the International System of Units (SI)*, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD, accesible en <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication811e2008.pdf>.