

Escribir bien no cuesta trabajo

Últimas novedades del Sistema Internacional

¿Por qué había que cambiarlo?

Toda medición ha de efectuarse siempre frente a un valor de referencia estandarizado para que se puedan comparar entre sí y para que los resultados sean coherentes en todo el mundo. Las referencias estandarizadas aceptadas en todo el planeta constituyen el Sistema Internacional de Unidades, cuya abreviatura internacional es SI (del francés *Système International d'Unités*), y cuyo garante es la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (BIPM, del francés *Bureau International des Poids et Mesures*). En la reunión de la Conferencia General de Pesas y Medidas mantenida en Versailles (Francia) el pasado 16 de noviembre de 2018 se ha producido la mayor revisión del SI desde 1875, porque se han modificado las definiciones de kilogramo para la masa, de amperio para la intensidad de corriente eléctrica, de kelvin para la temperatura y de mol para la cantidad de materia.

El cambio viene motivado por la eliminación de los pocos vínculos que quedaban con los patrones físicos o las referencias arbitrarias, como puede comprobarse en la definición todavía vigente, disponible en la [web de la BIPM](#). La independencia se ha logrado al quedar estas unidades referidas ahora a constantes físicas universales, más exactas e inherentemente estables. Las constantes elegidas han sido la constante de Planck (h) para el kilogramo, la constante de Boltzmann (k_B) para el kelvin, la carga elemental (e) para el amperio y el número de Avogadro (N_A) para el mol. Recordemos que para el metro, el segundo y la candela ya se usaban constantes universales:

- desde 1983 se viene usando la velocidad de la luz $c = 299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$ para definir el metro;
- la frecuencia de las microondas de la transición hiperfina del estado fundamental no perturbado del átomo de cesio 133 ($\Delta\nu_{Cs}$) para el segundo;
- la eficacia luminosa K_{cd} para la candela.

Los cambios no entrarán en vigor hasta el 20 de mayo de 2019 para hacerlo coincidir con el Día Mundial de la Metrología.

Para la mayoría de los mortales, los cambios no van a significar nada, pero para los metrologos sí que suponen un gran avance, al ofrecer las siguientes ventajas:

- Independencia con respecto a cualquier material, sustancia o técnica de medición, lo que implica una mayor exactitud de las medidas.
- Validez en todo el universo conocido y entendido por los humanos.
- Deducibles mediante experimentos.
- Estabilidad temporal con tal de que la estructura física del universo no cambie.
- No será necesario revisar las definiciones ante futuras mejoras de la tecnología que se emplee para su determinación.
- No serán patrimonio de ningún país.

Pero el cambio tiene su lado oscuro. Al menos temporalmente, a los metrologos se les complica la vida a la espera que de mejore la concordancia entre los experimentos realizados en distintos laboratorios. Ante cualquier discordancia en las medidas, por pequeña que sea, la BIPM actuará como árbitro: pedirá a los distintos grupos que midan los mismos objetos y establecerá valores medios. Como va a ser un proceso largo, más de 10 años según los expertos, los valiosos patrones físicos que hoy se encuentran repartidos por el mundo no se tirarán a la basura, sino que se seguirán empleando para las industrias que lo necesiten, como la aeroespacial o la biotecnológica.

Otro efecto colateral, que tampoco tendrá mucha repercusión en los mortales, es que las nuevas definiciones de las unidades fundamentales del SI son interdependientes, porque las unidades con las que se definen las constantes se expresan por combinación de varias unidades fundamentales (figura 1). Así pues, todas tendrán que adaptarse para quedar bien alienadas con las nuevas, porque cualquier error de precisión en la determinación de una de ellas tendrá repercusión sobre las otras. En la figura 1 se observa con claridad que, mientras que el mol es absolutamente independiente de las otras unidades, el segundo (también independiente) se necesita en las otras cinco unidades fundamentales. Por tanto, cualquier error a la hora de determinar la duración de un segundo afectará al patrón de kilogramo, kelvin, candela, metro y amperio. Pues bien, los metrologos señalan que la actual definición del segundo es menos precisa que la que se obtiene con los llamados

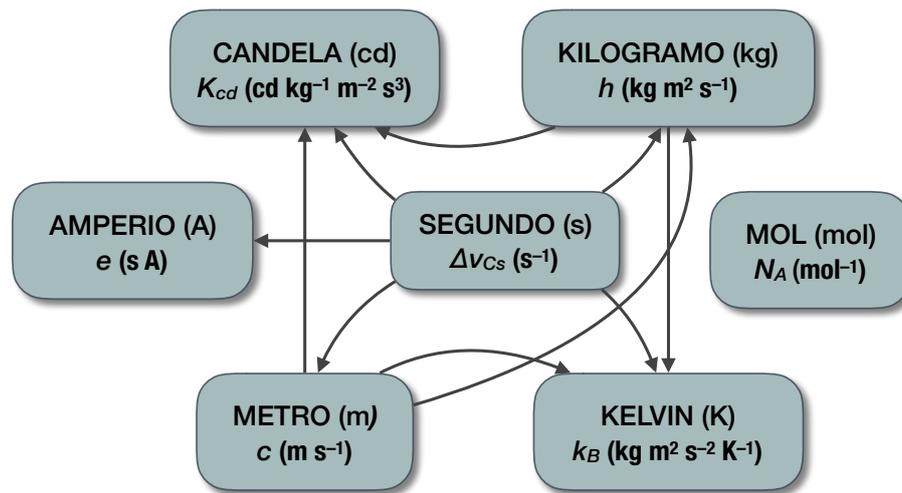


Figura 1: En las nuevas definiciones del Sistema Internacional, todas las unidades están definidas en función de una constante universal, de la que se indican su símbolo y, entre paréntesis, las unidades fundamentales en la que se expresa, con el fin de ilustrar importante interdependencia entre ellas. Dependen únicamente de sí mismos el mol (ni llegan ni salen flechas) y el segundo (salen 5 flechas, pero no llega ninguna).

«relojes ópticos» que emplean distintos átomos que interactúan con la luz visible, de mayor frecuencia que las microondas. Así que ya sabemos lo que nos espera a corto plazo: otra importante redefinición, esta vez del segundo, probablemente en 2026.

Veamos cómo han quedado las unidades afectadas por los últimos cambios, que los puedes comparar con las [definiciones todavía vigentes en la BIPM](#).

Kilogramo

La nueva definición acaba con más de cien años de tradición metrológica. La primera definición de kilogramo —los interesados en saber por qué el patrón de masa es el kilogramo en lugar del gramo, que consulten la entrada de mi nanoblog [¿Por qué es el kilogramo y no el gramo una unidad básica?](#)— se estableció en plena Revolución Francesa, y proponía que un decímetro cúbico de agua pura a 3,98 °C y a una atmósfera de presión (760 mmHg) equivalía a un kilogramo de masa. Si pensamos en lo difícil que es controlar la temperatura del agua, que la densidad del agua cambia con la presión (también de difícil control) y lo aún más difícil que es obtener agua pura, queda claro que la definición dista mucho de ser exacta para las necesidades del siglo XXI. La definición clásica tenía un problema aún más grave: al depender de la densidad del agua, que a su vez está relacionada con la masa, la definición es un círculo vicioso de definiciones.

Para estabilizar su valor, los franceses decidieron crear en 1889 un patrón mediante la fabricación un cuerpo de platino al 90 % e iridio al 10 % de un volumen tal que su masa equivale a un kilogramo. Este patrón, de-

nominado por algunos «el gran K» aunque oficialmente es el «prototipo internacional del kilogramo» (IPK, del inglés *International Prototype of the Kilogram*), cabe en la palma de la mano y la guarda la BIPM en Sèvres, a las afueras de París (Francia), bajo tres campanas de vidrio en un ambiente controlado ultralimpio. Con los años, se ha comprobado que no es un patrón estable porque está perdiendo masa a razón de 50 μg cada siglo con respecto a las copias que de él se han fabricado y guardado en iguales condiciones.

La nueva definición toma como valor numérico fijo de la constante de Planck

$$h = 6,626\ 070\ 040 \cdot 10^{-34} \text{ J s.}$$

La unidad J s equivale a kg m² s⁻¹ (figura 1). Se ha tardado tanto tiempo en proponer este cambio porque hasta hace muy poco no se podía medir con suficiente precisión la *h*. Los avances en el método de la balanza de Kibble lo han hecho posible.

Kelvin

Quedará definido a partir del valor fijo de la constante de Boltzmann

$$k_B = 1,380\ 649 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$$

que relaciona energía y temperatura. La precisión de este cálculo es mucho mayor que el de la antigua definición basada en el punto triple del agua, un estado caracterizado por ciertas condiciones y una temperatura específica que presentaba los mismos problemas que la definición del kilogramo basado en el agua.

Amperio

Como los metrologos han perfeccionado los experimentos capaces de contar el flujo de electrones individuales en una corriente eléctrica, ahora podrá usarse la carga de una sola de estas partículas

$$e = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19} \text{ s A}$$

para determinar el amperio. Así pues, se descarta la antigua definición basada en un experimento ideal que implicaba dos cables infinitamente largos y se conecta con la comunidad eléctrica, que ha venido empleando la e desde 1990 por su mayor precisión.

Para saber más:

Agencia SINC. [Novedades en el Sistema Internacional de Unidades: kilo, amperio, kelvin y mol se redefinen](#). 2018 [consulta: 7-XII-18]

Bureau International des Poids et Mesures. [Sur la révision à venir du SI](#). 2018

[Draft Resolution A at 26th meeting of the CGPM](#). 16 de noviembre de 2018.

Elizabeth Gibney. [Metrologists ditch last physical standard units](#). *Nature* 563, 451-452. 2018

M.G. Claros. [Cómo traducir y redactar textos científicos en español. Reglas, ideas y consejos](#). *Cuadernos 39*. Fundación Dr. Antonio Esteve. 2017

M.G. Claros [El nanoblog del Gonz](#). 2018 [consulta: 7-XII-18]

M. GONZALO CLAROS

Mol

Hasta ahora se había definido a partir del número de átomos presentes en una muestra de 12 g de carbono 12, y pasará a estar determinado por el número de Avogadro

$$N_A = 6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$$

El mol se redefinirá con respecto a un número específico de entidades (átomos o moléculas) y ya no dependerá de la unidad de masa, el kilogramo. De hecho, es la única unidad que carece de interrelación alguna con las demás (figura 1).