

Las constantes que miden el mundo

Avances en el kilogramo de alta tecnología hacen más viable su redefinición

Encerrado bajo llave en una cámara de seguridad de París hay un cilindro del tamaño de una ciruela. Su masa es exactamente un kilogramo. Desde hace 116 años, este cilindro de platino y de iridio es la unidad de la medida de masa, pero es la única unidad base que no se define en función de constantes físicas, y le ha llegado el turno de la modernización.

M. R. E. / K. CHANG (NYT)
EL PAÍS - 09-11-2005

Con las nuevas definiciones se podrá estudiar si las constantes son realmente constantes.

Los científicos del Instituto Nacional de Medidas y Tecnología de Estados Unidos (NIST) han anunciado recientemente progresos significativos encaminados a sustituir el prototipo del kilogramo. No son los únicos que trabajan en el tema. También en el brazo técnico del Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM), el BIMP, y en otros laboratorios se experimenta para tratar de asociar el kilogramo a constantes fundamentales de la física.

"Existen hoy experimentos de dos tipos", explicó Elisa Felicitas Arias, del citado organismo, en el Congreso Español de Metrología celebrado en Zaragoza en mayo de este año. "Uno que consiste en determinar el número de átomos en una cantidad de materia determinada, estableciéndose de esta forma una relación entre el kilogramo y las masas atómicas". Es el Proyecto de Avogadro, en el que hay que medir con rayos X la distancia entre átomos en un cristal perfecto, así como la densidad y el peso de los átomos. "El otro es un experimento de tipo electromagnético, que vincula al kilogramo con la constante de Planck". Se denomina Balanza de Watt. El objetivo de ambos es fijar el valor del kilogramo mediante la selección de un valor determinado del número de Avogadro o de la constante de Planck, en vez de al revés.

La balanza de Watt del NIST es un artefacto de una altura de dos pisos. En pocas palabras, mide la energía necesaria para generar una fuerza electromagnética que equilibre la atracción gravitatoria de un kilogramo de masa. "Es una cosa tan complicada que es difícil de explicar", afirma Richard Steiner, el físico al mando del proyecto. Lleva trabajando más de una década en esta máquina del *kilogramo electrónico*. "A todos les impresiona que se trate de una cosa tan complicada y preguntan ¿pero para qué lo quieres?", explica Steiner.

La respuesta general es que los seres humanos siempre han necesitado cuantificar y estandarizar, hacer que su mundo sea más fiable. Sin un kilo estándar ¿cómo van los científicos a saber si sus medidas de masa son exactas? ¿Sin un metro estándar, cómo podrían los fabricantes hacer una regla y saber que es precisa? Los científicos prefieren una definición del kilogramo, concretamente, basada en las propiedades de la naturaleza que, por definición, son constantes -algo que en principio podrían calibrar en sus propios laboratorios- antes que un prototipo en una remota cámara de seguridad.

Otro problema con el cilindro del kilo es que no es necesariamente invariable. "Uno de los mayores inconvenientes de mantener un prototipo es el envejecimiento, que no puede determinarse con gran precisión", comentó Arias. De hecho, el kilogramo está décadas por detrás del metro, que solía definirse como la distancia entre dos muescas en una barra de metal y ahora es sólo la distancia que recorre la luz en el vacío en una $299.792.458^a$ parte de un segundo.

Las definiciones originales estaban basadas en elementos del mundo natural, no en artefactos humanos. Un kilogramo era la masa de agua que llena un cubo de un décima parte de un metro por cada lado, o un litro de volumen, y un metro era una diezmillonésima parte de la distancia desde el polo Norte hasta el ecuador, por el camino que pasa por París (ya que fue la Academia de las Ciencias francesa la que definió el metro). Ninguna de las dos definiciones resultaba práctica y, además, los

científicos franceses se equivocaron al calcular cuánto resulta aplastada la Tierra por la fuerza centrífuga de su rotación.

La búsqueda de medidas fijas comenzó con el auge de la civilización. Las medidas eran necesarias, especialmente en el comercio. Al principio, la gente simplemente utilizaba las partes del cuerpo. Un codo, por ejemplo, era la distancia desde el codo hasta la punta del dedo corazón (quizás se añadía la anchura de la palma), una distancia que variaba de una persona a otra, hasta que un faraón egipcio declaró la suya propia como unidad. Tallaron un bloque de granito y lo declararon codo oficial, que otras personas copiaron, normalmente en madera.

"Para su época, [los estándares] no estaban mal" comenta John L. Hall, del NIST, Premio Nobel de Física este año y colaborador en la redefinición del metro, hace dos décadas. "Pero son algo difíciles de diseminar y de duplicar".

El equipo de Steiner con su artilugio de dos pisos ha establecido ahora la masa del kilogramo con una precisión del 99,999995%. Para complacer al CIPM, cuya conferencia general próxima es en 2007, probablemente necesiten incrementar ese último 5 a un 8. A medida que la ciencia va midiendo pedazos cada vez más diminutos del universo, las mediciones habrán de hacerse más precisas. Si los científicos pueden definir unidades en términos de constantes como la velocidad de la luz y la carga del electrón, serán más capaces de estudiar si las constantes son realmente constantes. "Se trata de una pregunta mucho más seria de lo que parece", sostiene Hall.

Las siete unidades

El Sistema Internacional de Unidades vigente, cuyo origen está en la Convención del Metro (1875) incluye siete unidades base para otras tantas magnitudes:

- Metro (longitud): la longitud de la trayectoria recorrida por la luz en el vacío en un lapso de $1/299.792.458$ de segundo.
- Kilogramo (masa): la masa igual a la del prototipo internacional del kilogramo.
- Segundo (tiempo): la duración de $9.192.631.770$ períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio-133.
- Amperio (corriente eléctrica): la intensidad de una corriente constante, que, mantenida en dos conductores rectos, paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección despreciable, colocados a un metro de distancia entre sí en el vacío, produciría entre estos conductores una fuerza igual a 2×10^{-7} newton por cada metro de longitud.
- Kelvin (temperatura termodinámica): la fracción $1/273,16$ de la temperatura termodinámica en el punto triple del agua.
- Mol (cantidad de sustancia): la cantidad de sustancia que contiene tantas unidades elementales como átomos existen en $0,012$ kilogramos de carbono-12.
- Candela (intensidad luminosa): la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} hertzios y cuya intensidad radiante en esa dirección es de $1/683$ vatios por estereorradián.