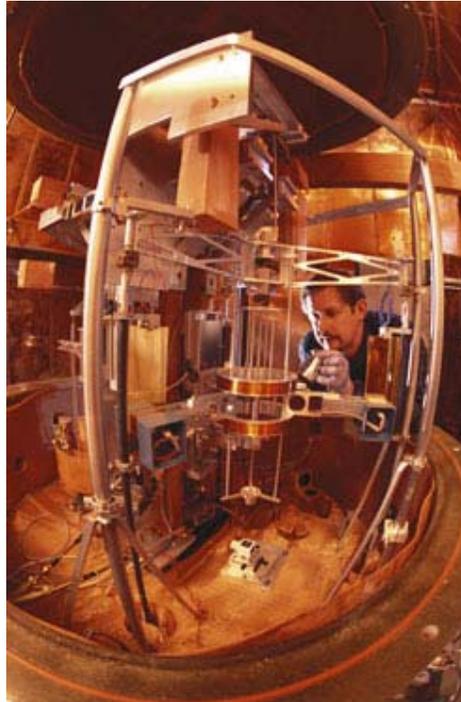


# Receta para definir un kilogramo<sup>1</sup>

David Kestenbaum, Science, Volumen 280, 8 de mayo de 1988

*El físico Richard Steiner ajusta el kilogramo-electrónico, un equipo experimental destinado a medir la masa en función de propiedades básicas de la materia.*

Contando átomos y generando una medida estándar de fuerza, los físicos están alimentando las esperanzas de lograr un estándar absoluto para el kilogramo, la única unidad fundamental aún referida directamente a un objeto.



## Resumen:

Las unidades fundamentales deben ser garantías de estabilidad, y esto se logra asociando la unidad macroscópica del kilogramo a constantes microscópicas universales y fiables. Hay dos grupos trabajando en esta tarea: uno de ellos son los contadores de átomos, quienes quieren asociar la unidad de masa a la masa atómica de un elemento específico. El otro grupo son los medidores de fuerza, quienes confían en las unidades eléctricas de voltaje y resistencia, las cuales descansan en números tan respetados y verificados como lo es la constante de Planck, la cual permite describir el radio de los electrones en un átomo. Ambas técnicas enfrentan duros problemas.

---

<sup>1</sup> Artículo original, en inglés, de David Kestenbaum, Science, Volumen 280, 8 de mayo de 1988. Página 823. Este artículo es una traducción libre y con algunas reducciones, del original.

## Introducción

Hay un problema con el kilogramo: es una cosa. Aún cuando el metro, el segundo, y otras unidades básicas están definidas en términos de constantes universales tales como la velocidad de la luz o los tics cuánticos de un átomo, el kilogramo oficial es sólo un montón de platino e iridio almacenado en una caja fuerte en Francia. Se podría perder e incluso dañar. Probablemente está aumentando su peso. Definitivamente es algo arcaico.

Si nosotros quisiéramos comunicar nuestro conocimiento acerca del mundo a algún grupo extraterrestre, nosotros podríamos codificar todo en un lenguaje binario, excepto el kilogramo. Para explicar la masa utilizada como unidad, simplemente tendríamos que facilitarles una muestra.

En parte como materia de principio, y en parte para estar un paso más allá de los requisitos cotidianos para una medida estable de la masa, los físicos desean mejorar este estándar. En el Instituto Nacional de Standard y Tecnología de Maryland, están tratando de reemplazar este pedazo de metal por un número que especificaría la misma masa. En este lugar esperan definir el kilogramo como:

- la masa de un número específico de átomos – digamos,  $10^{25}$  átomos independientes de silicio
- o como un peso equivalente que equilibre la fuerza generada por un alambre llevando un estándar de corriente enrollado alrededor de un magneto.

El resultado se convertiría en un estándar para el kilogramo universal, que podría ser recreado en cualquier parte del mundo y que estaría garantizado por las leyes de la física.

Avanzar no será fácil. Cualquier innovación en esta área debe mantener una precisión menor a una parte en 100 millones, este estándar forzará a la comunidad científica a preocuparse de efectos tan pequeños como átomos que faltan al interior del cristal y las variaciones en la atracción generada por los cambios en la posición relativa del sol y la luna con respecto a la tierra.

Revisemos que ha sucedido con el kilogramo estándar. En realidad se ha mantenido notablemente igual durante sus cien años de permanencia en el edificio internacional de pesos y medidas en Sevres, Francia. En 1989 los científicos de esta Institución sacaron al kilogramo patrón desde el interior de su triple jarro con forma de campana que lo protege por tercera vez, desde que fue colocado allí, lo compararon con algunas copias y concluyeron que el cambio experimentado por su masa es menor que 5 millonésimas partes de un gramo por año. Este trozo de metal se mantiene en el aire húmedo de los suburbios de París, el cual contiene toda clase de contaminantes que se podrían pegar a su superficie, afirman científicos de este Instituto. La política oficial para manipular esta unidad contempla limpiar el kilogramo patrón antes de usarlo para calibrar una copia, pero aún bajo estas circunstancias su peso siempre varía. Es increíble, como dice uno de ellos, que esta variación no fuera más notoria.

## Los contadores de átomos: Contando átomo por átomo.

Establecer un estándar basado en contar los átomos suena simple: sólo hay que imaginarse cuántos átomos hay en una masa conocida de un material específico. Los contadores de átomos enfrentan este problema tal como lo haría un estudiante de geometría, estimando cuantas pelotitas hay en la esfera mayor que las contiene.

A partir del tamaño de las esferitas y del tamaño de la esfera sería posible tener una idea aproximada de cuántas pelotitas contiene. En la versión atómica la esfera es un cristal de silicio, sólido y cuyos átomos forman una red rectangular regular. Para conocer el número de átomos que la componen, los científicos deben medir con gran precisión el tamaño de la esfera y la distancia entre los átomos en la red.

Esto es suficiente para contar los átomos en la esfera pero insuficiente para dar armar un protocolo que permita a otro grupo construir una esfera que tenga exactamente la misma masa.

Por otra parte, el silicio tiene varios isótopos, los cuales tienen pequeñas diferencias de masa, de esta manera para describir completamente una de estas esferas a partir del átomo, los científicos necesitarían saber la concentración de estos isótopos en el silicio – la proporción de sus átomos que tienen 15 neutrones en su núcleo en lugar de los usuales 14, por ejemplo.

Detalles sutiles como el que mencionamos han hecho esto de contar átomos una empresa internacional, ya que cada paso requiere un equipo y expertos que sólo se encuentran en determinados lugares. Las esferas mencionadas en el párrafo anterior, comienzan como barras de silicio de alta pureza fabricadas por compañías en Alemania o Japón. Laboratorios en Australia pulen las barras y las transforman en esferas de 93 milímetros de diámetro, perfectamente redondas con una precisión de una parte por millón.

Laboratorios en Alemania, Italia y Japón trasladan una esfera a sus respectivos países y miden: su masa relativa a la del kilogramo, su volumen y usando, rayos X, la distancia entre átomos. Algunos pedacitos de silicio de las barras, también se trasladan a un Instituto en Bélgica donde los investigadores los vaporizan y separan la concentración de isótopos mediante un espectroscopio de masa. Cada componente requiere un conocimiento absoluto, profundo y detallado de la ciencia de la medida (metrología).

En el transcurso de los años el conocimiento de estos procesos ha mejorado y los errores asociados han disminuido. En 1994 tuvieron eso sí un grave problema. Investigadores de Japón, Alemania e Italia se reunieron en una Conferencia Internacional para comparar sus resultados. El resultado de esta comparación fue un retroceso: las medidas de cada laboratorio estaban, por decirlo figuradamente, kilómetros a parte. La diferencia que tenían era alrededor de  $10^{18}$  átomos y eso equivale aproximadamente a 3 millonésimos de gramo, más del doble de la incertidumbre que ellos se habían fijado como estándar. A partir de esa fecha los grupos debieron revisar sus procedimientos.

Lo que ha cambiado la situación en la actualidad es que al estudiar ahora con la tecnología de rayos X de alta resolución, encontraron que habían pequeños vacíos de unas pocas millonésimas de metro de diámetro en alguna de las barras dentro del silicio. Allí es posible ubicar miles de millones de átomos que en este caso estaban faltando. Piensan que estos vacíos se pueden haber generado por burbujas de gas atrapadas en el silicio durante su proceso de manufactura. La densidad de vacíos o huecos en el silicio, provenientes de Japón era suficiente para explicar la discrepancia entre los distintos grupos. De todas maneras es prematuro para declarar una victoria. Sin embargo, si se pudiera medir la densidad de estos agujeros que hay en el interior entonces, bajo esa premisa, ellos podrían acercar la exactitud del método a cuatro partes en  $10^7$ , esto es un factor 10 veces mejor que la actual medición del kilogramo.

## **Los contadores de los átomos parecen estar de nuevo en el camino correcto**

### **Medida de las fuerzas**

Aquellos que quieren medir la masa a través de la fuerza están también avanzando. Su meta es encontrar una forma que pueda balancear exactamente la fuerza de gravedad en un kilogramo mediante una fuerza electromagnética. En este caso, cada uno de estos aparatos podría ser usado en lugar del cilindro estándar de metal. Históricamente este método se denominó la balanza de Watt. La idea nació a mediados de los años 70, y los investigadores involucrados en este proyecto manifiestan que el trabajo ha sido lento y duro durante todos estos años.

Afortunadamente otros grupos se han ido sumando a la empresa. Para usar la fuerza electromagnética para calibrar el metro han debido construir un aparato que mide prácticamente 2 pisos de alto y se ubica en un edificio aislado de madera, construido para minimizar las vibraciones y las perturbaciones electromagnéticas que puedan incidir sobre él.

Una balanza convencional tiene dos platillos y se inclina hacia el que tenga el contenido más pesado. La balanza de Watt es similar pero los platillos en lugar de estar colgadas desde cada uno de los extremos de una barra, están suspendidos de los extremos de una correa que pasa sobre una polea de medio metro de diámetro. La polea permite a los platillos moverse hacia arriba y abajo sin deslizar hacia los lados. Colgando debajo de cada uno de los platillos de barras rígidas está una bobina de alambre a cual cae alrededor de un magneto cilíndrico que permanece fijo a la base. Al circular una corriente a través de la bobina genera una fuerza electromagnética. La cual empuja hacia arriba o hacia abajo el magneto y de esa manera empuja el platillo con ella. Cuando un kilogramo de oro o una copia del oficial es puesto en alguno de los dos platillos las corrientes son ajustadas para mantenerlo en equilibrio. Debido a que la gravedad – y de aquí el peso de kilogramo de oro – cambia con las mareas, los investigadores necesitan contar con un gravímetro de última generación en la vecindad para medir el cambio local que pueda experimentar el campo gravitacional. Analizando estos números en conjunto, los investigadores pueden medir la masa del kilogramo en términos de unidades estándar de voltaje y corriente.

Entender el funcionamiento de esta balanza ha tomado años. Recientemente el grupo se percató que el kilogramo patrón se ubicaba en un región más fría y que estaba probablemente ganando un poquito de peso debido a la condensación del aire a su alrededor. Ellos resolvieron este problema, pero en Septiembre de 1998 el kilogramo aumentó levemente su peso por un par de meses para retornar posteriormente a su viejo valor. “No sabemos aún exactamente como sucedió esto y menos cómo arreglarlo, el tiempo parece ayudar”.

Después de años de trabajar este grupo piensa que su balanza podría ser usada para monitorear fluctuaciones de la masa de un objeto al nivel de 1.5 partes en  $10^7$ , una mejora de dos veces sobre los resultados anteriores. La prueba de fuego será comparar su definición del kilogramo con aquella del grupo que cuenta átomos.

Finalmente, queda claro que el ideal es que ambos métodos funcionen y de esta forma tener una doble prueba de la exactitud de las medidas.