



Todos los artículos publicados en esta sección de La Unión de Morelos han sido revisados y aprobados por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C., cuyos integrantes son: Dra. Georgina Hernández Delgado, Dr. Hernán Larralde Riadura y Dr. Joaquín Sánchez Castillo (Coordinador)  
Comentarios y sugerencias: joaquin.sanchez@microbio.gu.se

## ¿Qué rayos significa medir? y ¿porqué las unidades son tal como son?

Segunda y última parte

Markus Müller  
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

### El minuto, la hora y la antigua cultura de Babilonia

El tiempo es una cantidad más abstracta que, por ejemplo, la longitud o la masa porque al tiempo no se le puede percibir directamente a través de nuestros sentidos. Una masa se puede tocar y levantar para sentir su peso y una longitud se mide ajustando una regla con las manos o a través de caminar una cierta distancia. El tiempo a su vez fluye continuamente y cuando ha pasado no podemos regresar para volver a medirlo como, por ejemplo, volver a poner una masa en una balanza. El tiempo está presente en cada momento, pero un instante después éste momento huyó irrecuperablemente al pasado.

Sólo la duración de ciertos procesos como el periodo de respiración o del latido cardiaco puede dar una vaga idea sobre el significado de un intervalo de tiempo. Así, cualquier proceso periódico sirve para definir una unidad de tiempo cuando la duración del periodo es constante. Por lo tanto, diferentes tipos de péndulos proveen de manera natural una forma de contar el número de unidades básicas que tarda un cierto proceso. En principio, también eventos que suceden sólo una vez, como el intervalo de tiempo que necesita una cierta cantidad de arena para caer a través de una pequeña abertura, se podría usar para definir una unidad. Pero para estos fines, los osciladores resultan ser más prácticos. Seguir los "clicks" de un metrónomo con un "uno, dos, tres,..." es mucho más fácil y preciso que estarle dando la vuelta continuamente a un reloj de arena.

En este contexto, la periodicidad de los fenómenos que se observan en el cielo jugó un papel importante, en particular la periodicidad del aparente movimiento del Sol. Esta periodicidad se observó en todas las culturas y la unidad de tiempo de distintos calendarios estuvo basada en ello y no es sorprendente que la primera definición de unidades de tiempo, el minuto y la hora, también se haya basado en el movimiento solar.

La definición del minuto como la



$24 \times 60 = 240$ -ésima parte de un día, tiene su origen en la antigua Babilonia (ahora Irak). En aquel tiempo no se usaban el sistema decimal para el conteo sino el número 12 presentaba la base y aún más, los números 12 y 60 eran considerados como números sagrados. La razón de ello se encuentra en las matemáticas. El número 12 se puede dividir (sin generar fracciones) entre 1, 2, 3, 4 y 6 mientras que el diez sólo se puede dividir entre 1, 2 y 5. El número 60 es divisible entre 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20 y 30 mientras 100 sólo se puede dividir entre 1, 2, 4, 5, 10, 20, 25 y 50. Así, se dividieron la fase iluminada y la fase nocturna del día en 12 partes iguales lo que resulta en 24 horas. Cada hora, a su vez se dividió en 60 partes, los minutos. La definición del segundo como la 60-ésima parte de un minuto apareció mucho después debido al hecho que en aquel tiempo no hubo la necesidad de medirlo, ni la tecnología para hacerlo, de manera precisa.

Pero el periodo de iluminación varía con las estaciones, sobre todo si lo medimos en lugares más cercanos a los polos. Para evitar esta variación, se usa, en vez del Sol, una estrella mucho más lejana para medir el periodo de un día. En un momento durante una noche se marca la posición de una estrella lejana en un sistema de coordenadas. Luego se mide el periodo, el día estelar,

que tarda esta estrella en encontrarse en la misma posición que se ha marcado en la noche anterior. Resulta que el día estelar es por un factor  $1/365.256$  más corto que el promedio del día solar (tomado sobre un año) porque esto es la fracción de avance de la Tierra en su camino alrededor del Sol.

Sin embargo, independientemente de cual de las dos definiciones de día se usa, sobreviene el problema de que ¡la rotación de la Tierra alrededor de su eje no es constante! Debido a la fricción del movimiento de la marea la velocidad angular de la rotación de la Tierra disminuye continuamente y por lo tanto el periodo de rotación de un día aumenta. Como para todos los fines científicos (y tecnológicos) la variación temporal de la magnitud de una unidad, o la dependencia de factores externos es intolerable, se buscó un oscilador diferente para la definición de un segundo. Los péndulos tienen la deficiencia de que su tiempo de periodo está determinado a través de la constante de gravitación  $g$ , que a su vez varía ligeramente con la altura sobre la superficie del mar. Más convenientes parecen ser los cuarzos. La rapidez de sus vibraciones está bien definida a través de la red atómica, pero varía ligeramente con el número de impurezas, un factor que difícilmente se puede controlar, aunque los mejores relojes de cuarzo son

aún más precisos que los primeros relojes atómicos.

Así como en el caso de la definición del metro, la definición moderna de un segundo se basa en un sistema atómico. En el año 1964 se usaba la frecuencia de la luz emitida por una transición hiper-fina de un átomo del elemento Cs133 porque resulta que esta transición es casi independiente de las fluctuaciones del campo magnético terrestre y por lo tanto es casi independiente del lugar. El principio de este método es que se usa un generador de ondas electromagnéticas como un marca-paso para ajustar un reloj (atómico), mientras que la frecuencia del generador se ajusta continuamente por la absorción en Cs. La exactitud de estos relojes es superior a  $10^{-13}$  s. De esta manera, la definición de un segundo es el periodo de tiempo que necesita la onda electromagnética para realizar 9,192,632,770 oscilaciones.

El hecho que los números 12 y 60 eran números sagrados en Babilonia provocó la división de una hora en 60 minutos y un minuto en 60 segundos. ¿No parece esto ser un accidente histórico? ¿Qué hubiera sucedido si en la antigua Babilonia en vez del número 12 el número primo 11 fuera un número sagrado? En ese caso es probable que nuestro sistema de reloj y por lo tanto la definición de un segundo fuera diferente.

### El kilogramo, la cantidad indefinida

Si revisamos los libros de texto de preparatoria se lee que la masa de un kilogramo se definió originalmente como el equivalente de la masa de un litro de agua a una temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$ . En este caso, la información adicional sobre la temperatura es importante ya que la densidad de toda la materia depende de ésta. A  $40^{\circ}\text{C}$  la densidad del agua alcanza su valor máximo. Resulta interesante notar que esta es la única unidad básica cuya definición se hace a partir de un múltiplo (1000) de una sub-unidad más pequeña: el gramo. Esto es debido a que es más cercano a la percepción humana el volumen de 1 litro de agua que el de 1ml de esta.

En 1889 se construyó una masa equivalente a través de una aleación de platino (90%) e iridio (10%) en forma de un cilindro con una altura de 39 mm y un diámetro de 39 mm y se produjeron varias copias de este kilogramo patrón para distribuir las a todos los países interesados. De esta manera la definición de un kilogramo ya no depende de la temperatura del ambiente, y, contrario a lo que ocurre con el metro patrón, este cilindro depositado en París sirve ¡hasta la fecha! para definir "la unidad" de la masa, el kilogramo.

Esto condujo a una problemática muy seria. A lo largo del tiempo se dieron cuenta que la unidad original, es decir el kilogramo patrón depositado en París, perdió masa en comparación con sus réplicas. La pérdida estimada es de 50 microgramos, es decir  $0.000,000,05\text{kg}$  (cinco cienmilésimas de gramo). La razón por la cual el cilindro de metal en París perdió esta cantidad de masa en contraste con sus copias, es completamente desconocida, sin embargo, las sospechas llegan hasta creer que se realizaron trabajos de limpieza de manera exagerada. Aunque esta pérdida parece ser despreciable, no es posible tolerar que la magnitud real de la unidad básica se modifique a través del tiempo.

Por eso existe un consenso internacional relativo a la necesidad de establecer una mejor definición de esta cantidad que evite los problemas que se han identificado. Por lo tanto, existen actualmente dos proyectos sumamente costosos en el mundo (en los cuales participan casi todos los países industriales) para encontrar una definición conveniente de un kilogramo que cumpla con todos los requerimientos

