

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?

Parte 1 de 2

Markus Müller Facultad de Ciencias, UAEM

Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

### El proceso de medición

Medir es una acción que se hace continuamente en la vida cotidiana. Nuestros sentidos son detectores capaces de medir una cantidad química, como la composición del olor de un rico mole poblano o de una cantidad física como la longitud y el peso. La facilidad de detectar propiedades de nuestro entorno y evaluar los resultados de la percepción es una aptitud sumamente importante para todos los seres vivos. Así, el proceso de medición ha ido evolucionando impresionantemente durante la evolución y encontró su máxima expresión de complejidad y exactitud cuando la especie *homo sapiens* apareció en la Tierra; es decir, cuando inició el desarrollo científico y tecnológico. Por ello, la introducción de un sistema universal de unidades fue fundamental para poder cuantificar objetos y/o fenómenos. Pero ¿qué significa medir? y cuando alguien mide, ¿qué es lo que hace? y ¿porqué el sistema de unidades es tal como lo conocemos, es decir, ¿por qué se divide el día en 24 horas y no en 25?; ¿por qué la unidad de 1 metro o 1 kilogramo es conveniente?; ¿sería grave si cambiásemos la definición de un kilogramo por lo que conocemos en el sistema actual por algo equivalente a 950 gramos? En una serie de ensayos se tratará de encontrar respuestas a estas preguntas.

Cuando un mono mide la distancia a una rama lejana, compara la distancia a la que se encuentra ésta con distancias que, según él, logra saltar. A través de la comparación el mono obtiene una imagen más precisa para tomar la decisión que si se puede alcanzarla con un salto o no. Crucial en este proceso es el momento de comparación. Se puede decir que medir significa, cuantificar la magnitud desconocida de una cantidad al compararlo con algo conocido. Esto podría ser un simple recuerdo, un umbral interno de una célula, como por ejemplo el valor crítico del estímulo de una neurona para generar un potencial de acción o, por supuesto, la escala de un termómetro para medir la fiebre. La can-

tividad conocida que se usa para esta comparación la llamamos la unidad. ¿Pero qué requisitos debe de cumplir la definición de una *unidad*, sobre todo cuando se habla de aplicaciones científicas?

Hasta la Edad Media no existía un sistema de unidades reconocido de manera general en todo el mundo, ni siquiera dentro de un país. Por ejemplo, un Estéreo de madera (brazo) en Alemania no necesariamente era la misma cantidad de madera que en Francia. Un Pie en Escocia era muy distinto que un Pie en Inglaterra y un sastre en un pueblo cerca de Londres usaba una unidad de longitud para medir la tela diferente a la empleada por el sastre del pueblo vecino. Debido al hecho de que la infraestructura en aquellos tiempos era limitada, y que por ello comunidades lejanas no pudieron comunicarse en cortas escalas de tiempo, tampoco existía la necesidad, ni la posibilidad, de establecer un sistema de unidades global, es decir a escala mundial. Por esta razón apareció en la historia de la humanidad una gran variedad de unidades con diferentes nombres y definiciones.

Pero el hecho, que estos fueron unidades locales, reconocidos solamente en una región pequeña, no es el problema fundamental. Si Henry I de Inglaterra definió la longitud de una yarda en el año 1120 a través de la longitud de su brazo o el rey David de Escocia definió una pulgada en 1150 a través de la anchura de un pulgar de un hombre promedio, la definición no era ni precisa, ni objetiva. ¿Quién sabe qué tan largo era el brazo del rey o que tan ancho es el pulgar de un hombre promedio? Además, la longitud del brazo puede modificarse debido a la edad o por una lesión y el promedio de la anchura de los pulgares puede depender de la localidad elegida y la forma en la que se selecciona la muestra de hombres para medir su pulgar. ¡Para todas las aplicaciones científicas es necesario contar con definiciones de unidades que no dependan del tiempo y que sean objetivas, es decir unidades que cualquier persona del mundo pueda verificar obteniendo el mismo resultado!

¿Y eso es todo lo que se requiere para definir una unidad? ¡No! Aún falta discutir un aspecto importante: la magnitud de la unidad.

Lo que percibimos fácilmente son



conjuntos pequeños de objetos. Es decir, con sola una mirada rápida distinguimos entre un conjunto de 3 y de 4 dulces. Si el número de dulces es 9 nos causaría más dificultad notar si alguien nos robó uno. El problema se vuelve imposible de resolver, a través de un solo vistazo si el número de dulces es 23 ó 57. Sabemos intuitivamente lo que significa un ramo de 5 o quizá de 10 rosas rojas, pero ¿podemos imaginar precisamente un ramo de 163 o de 432,854,945 rosas? La respuesta es no. Nuestro cerebro permite imaginar solamente números que son considerablemente pequeños. La

exactitud de la percepción decae rápidamente cuando el número de objetos aumenta. Por esta razón se necesitan unidades de diferentes tamaños para evitar números grandes o muy pequeños como resultado de la medición.

De estas consideraciones se puede resumir que:

- La comparación es una acción básica de la medida, que realizan los seres vivos permanentemente.
- La unidad científica debe ser constante en el tiempo, libre de influencias externas y ser reconocida en todas partes del mundo.
- El tamaño de la unidad deber ser

del mismo orden de magnitud que lo que se desea medir

¿Y cómo se encontraron las definiciones de las unidades como el metro, el segundo o el kilogramo?

Veamos en el metro.

### La dolorosa búsqueda del metro

Los experimentos modernos que realizan hoy en día los científicos en todo el mundo requieren una tecnología de más alta precisión. Por ello es indispensable que sobre todo las unidades de las cantidades físicas en cuestión sean bien definidas y precisas. En vista de esos requerimientos estrictos parece ser una ironía de la vida que, como veremos en este artículo, una de las unidades básicas, el metro, está basada en un error de medición.

Ya en los tiempos de los griegos se sabía que la Tierra no es un disco plano sino tiene una forma redonda, aunque este conocimiento cayó posteriormente en el olvido. Fue Aristóteles (384-323 a.C.) quien declaró por primera vez que la Tierra tenía la forma de una esfera. Esto lo propuso a partir de la mancha oscura que se ve en los eclipses de la Luna y que identificó como la sombra de la Tierra. Debido al hecho de que independientemente del momento en que se observe este fenómeno la sombra tiene la forma de un círculo, por lo cual llegó a la conclusión de que su forma era esférica. Una primera estimación de la circunferencia la realizó Eratóstenes de Cyro ((276 – 195 a.C.) en el año 240 a. C. Él usó el hecho que en el medio día del 21 de junio (fecha del solsticio de



## Diplomado Pensamiento científico en el aula



Este Programa tiene como objetivo la **actualización y capacitación en Ciencias para los profesores de Secundaria y Preparatoria/Bachillerato del estado de Morelos. Las sesiones son impartidas por científicos de primer nivel en los Institutos y Centros de Investigación de la UNAM Campus Morelos (Cuernavaca).**

Acreditación por parte de la Academia de Ciencias de Morelos y la Secretaría de Educación del Estado de Morelos, con valor escalafonario.

### INSCRIPCIONES ABIERTAS

Más información: [almadcaro@yahoo.com.mx](mailto:almadcaro@yahoo.com.mx)  
Tel: 3 11 08 88 y Cel 777 15 57 221

### Módulos

Se imparten en forma Intercalada:  
Biología, Física, Química e Historia de las Ideas Científicas.

### Plan de trabajo

- Semiescolarizado y sabatino.

- Horario de 9:00 a 12:00 horas - Secundaria  
11:00 a 14:00 horas - Preparatoria/Bachillerato

- Se realizarán conferencias especializadas para docentes y conferencias de divulgación para todo público.

Las instalaciones están ubicadas dentro del Campus de la UAEM.  
Secundaria-Auditorio del Instituto de Biotecnología, UNAM. De 9-12hrs.  
Preparatoria/Bachillerato- Auditorio del Centro de Ciencias Genómicas, UNAM. De 11-14 hrs.

## ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.



verano) un objeto colocado verticalmente en la ciudad de Syena (Asuan) no producía ninguna sombra, mientras que en la misma fecha y hora un obelisco en Alejandría, una ciudad 5000 *estadios* (aproximadamente 820 *km*) más al sur, producía una sombra que era justamente la fracción 1/50 de la altura del obelisco. Así, él estimó la circunferencia de la Tierra como  $50 \times 5000 \text{ estadios} = 250,000 \text{ estadios}$ , una longitud que corresponde aproximadamente 41,000 *km*. Ahora sabemos que el error de su experimento fue de tan sólo el 2.5%.

Mucho después, en una reunión de científicos realizada en París el 26 de marzo de 1791, la definición oficial del metro estableció que éste fuera justamente la diezmillonésima parte de un cuarto del meridiano que atraviesa París. Dos astrónomos, Jean-Baptiste-Joseph Delambre y Pierre-François-André Méchain, se hicieron responsables de calcular la longitud del meridiano midiendo la distancia entre Dunquerque y Barcelona. Durante años, ellos se dedicaron a medir minuciosamente ángulos de pendientes, alturas de montañas y profundidades de barrancas y estimaron lo más preciso posible anchuras de ríos y dimensiones de valles. A parte de estos trabajos laboriosos, ellos sufrieron por los peligros de la revolución francesa, de manera tal que Méchain fue temporalmente encarcelado (y considerado merecedor de la pena de muerte) por ser sospechoso de espionaje. A pesar de todas estas dificultades Delambre y Méchain llegaron finalmente a la conclusión de que el meridiano medía 40,000 *km*. En base a ese resultado se construyó el primer *metro patrón* el 7 de abril del 1795. Ese metro patrón, una barra fabricado de platino, se depositó en una caja fuerte en el Archivo Nacional de la República Francesa el 22 de junio de 1799. Posteriormente existieron numerosos debates en otros países que tenían como propósito aclarar si el sistema métrico propuesto por los franceses, era neutral o era específicamente francés. ¿Era natural o era histórico?; ¿derivaba realmente del tamaño de la Tierra o de una barra de platino que podía ser corrompida?

Aproximadamente cuarenta años después, ese ambiente de desconfianza fue atizado por la observación de que los extremos de la barra estaban rayados. Además se encontró que, contrario a lo que se pensaba, no era platino puro sino una mezcla de platino e iridio. Por todo ello se acordó forjar una nueva barra que reprodujera la definición adoptada en 1791 y que ésta fuera depositada en una oficina internacional para que ninguna nación pudiera aprovecharse de ésta. Esa barra de metro patrón provee una exactitud de  $10^{-7}m$ , exactitud muy notable para aquel tiempo.

Algunos años más tarde, la definición del metro patrón sufrió otro golpe. Una revisión del trabajo de Delambre y Méchain condujo a reconocer que la verdadera longitud del meridiano es 40,009 *km*. Esto conduciría a que el metro patrón resultase ser 0.2 *mm* más corto que lo que la definición requería. Sin embargo, se utilizó el dato original de Delambre y Méchain para construir el nuevo metro patrón.

Con el tiempo, las demandas de la comunidad científica y de ingenieros fueron más estrictas

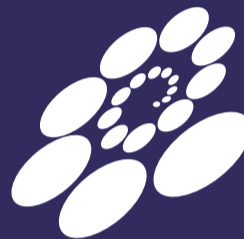
y la necesidad de una medida más precisa surgió. El problema principal fue que la extensión de los materiales, y por lo tanto la longitud del metro patrón, depende de la temperatura. Por esta razón una comisión internacional de especialistas estableció en 1960 la unidad de la longitud basándose en la longitud de onda de la radiación de una transición específica del núcleo del átomo de  $Kr^{86}$ . Según esta definición un metro equivale a 1,650,763.73 longitudes de onda de esta radiación. Luego, con la evolución de la tecnología de relojes atómicos resultó que la medición de intervalos de tiempo se puede realizar con una mejor precisión que

la medición de longitudes de onda. Esto motivó a realizar otro cambio de la definición del metro en 1983. Desde entonces su definición es la distancia que recorre la luz en el vacío en  $1/299,792,458$  segundos con lo que es posible alcanzar una exactitud de  $10^{-10}$  a  $10^{-11}m$ . Curiosamente, tanto esta convención como la de 1960 conservan la longitud original del metro de Delambre y Méchain de 1799.

¿Estos números no parecen ser arbitrarios? La definición original de un metro como una fracción pequeña de la circunferencia de un meridiano *sin* conocer la longitud del mismo

sí refleja una cierta arbitrariedad. Pero el hecho de que la base de todas las mediciones de longitud, la definición actual del metro, esté basada en una medida con un (pequeño) error de medición, subraya que esta definición es en cierta forma un accidente histórico. Los únicos objetivos fueron: (a) tener un marco de referencia absoluto y (b) escoger una fracción del meridiano que provea una unidad del mismo orden de magnitud que la altura de un hombre. Y con éstos objetivos se cumplió, con o sin un error de medición.

En la parte 2 de esta serie hablaremos de la hora y del kilogramo, estén pendientes.



ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

[www.acmor.org.mx](http://www.acmor.org.mx)

La Academia de Ciencias de Morelos se complace en invitar a la:



- Conferencia Magistral  
"La Ciencia en México, hoy y mañana"  
Dr. Ruy Pérez Tamayo, Profesor Emérito UNAM,  
Premio Nacional de Ciencias y Artes, Miembro de El Colegio Nacional

- Ceremonia de Admisión de nuevos Miembros
- Cambio de Mesa Directiva
- Presentación del video "Morelos: los caminos del conocimiento"

Detalles del programa en: [www.acmor.org.mx](http://www.acmor.org.mx)

**LUNES 24 de NOVIEMBRE de 2008 , Teatro Ocampo, 10:00 A.M.**

Galeana N° 8 esquina con Rayón, Cuernavaca , Morelos

**Entrada libre**

Para actividades recientes de la Academia y artículos anteriores puede consultar: [www.acmor.org.mx](http://www.acmor.org.mx)