¡De acuerdo!

La ciencia a tu medida

Edición N° 6

Cambios

¿Puede un superhéroe viajar tan rápido como la luz?

¡Sube la temperatura!

Jaula de iones y computadoras cuánticas

No hay mol que por bien no venga

La constante más iluminada en la liturgia del rock

La Química en la cocina

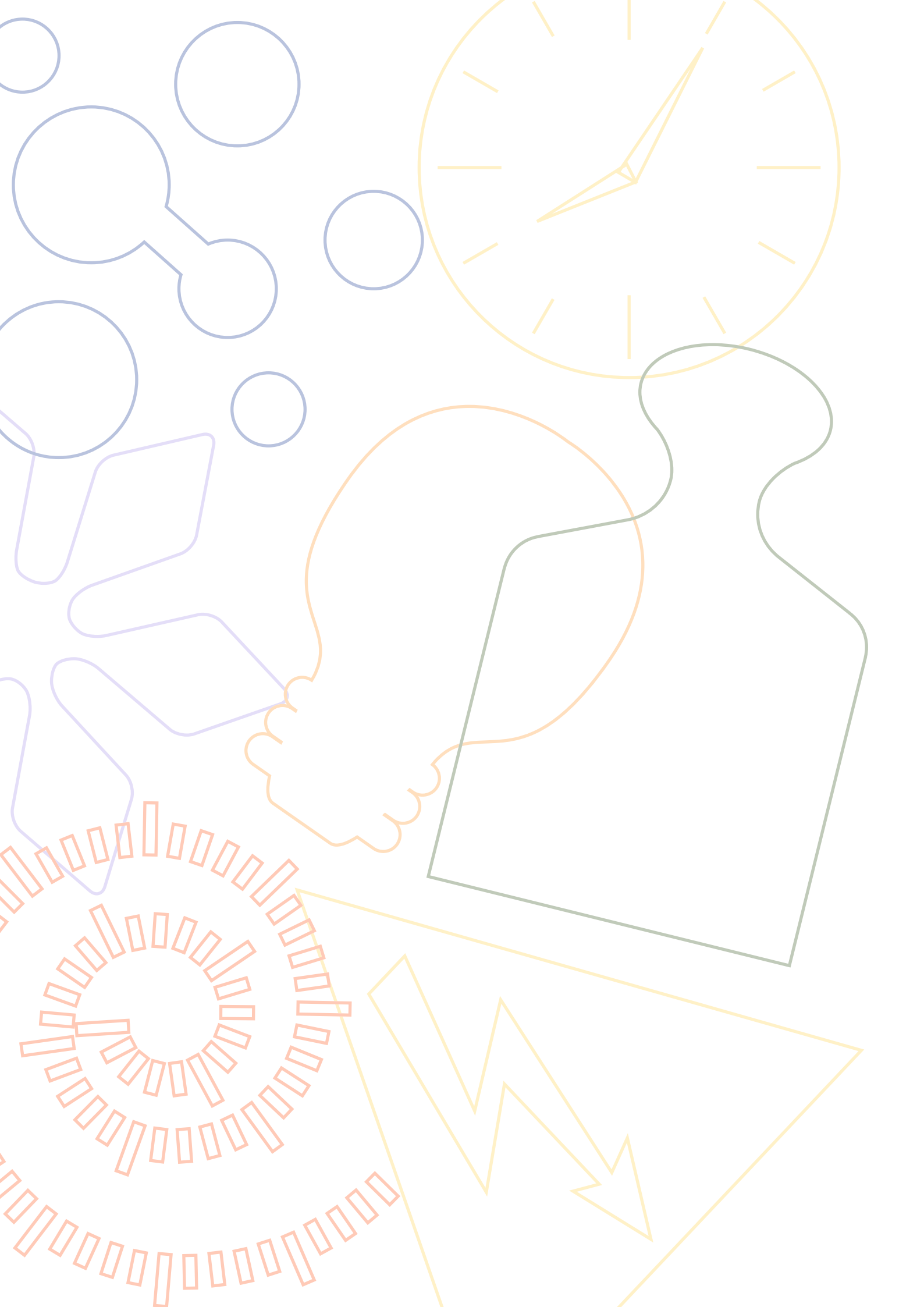
¡Que le den candela!

La constante de Avogadro

y mucho más...

SIM

IBMETRO



Prefacio

Estimado lector,

Este número trata sobre cambios y constantes. Puede parecerte una contradicción, pero cambios y constantes son parte de nuestra vida, de la existencia de nuestro planeta y del Universo.

Los cambios pueden ser notorios y radicales o sutiles e imperceptibles. A algunos los podemos captar directamente con nuestros sentidos; por ejemplo, los cambios de tamaño, de temperatura o de velocidad. Pero los que se producen a nivel atómico o molecular pueden pasar desapercibidos, salvo que nos apoyemos en instrumentos y métodos especiales de medición. Por otra parte, están las constantes; aquello que permanece invariable en el espacio y tiempo.

Para las relaciones y las normas de nuestra sociedad, y en especial en los procesos de producción y el comercio, es necesario medir ciertos parámetros, los cambios y las constantes. Y hacerlo de forma comparable y confiable. Por eso, hace más de un siglo varios países se pusieron de acuerdo para establecer y definir las unidades de medida de referencia. Esa fue la base para lo que hoy se conoce como el Sistema Internacional de Unidades o SI, por su sigla.

Con los años, los acuerdos sobre las unidades y la definición de cada una de ellas evolucionaron. El continuo desarrollo de la ciencia y la tecnología requiere medir nuevos parámetros y también que las mediciones ofrezcan cada vez mayor certeza. Los aportes y avances de la Metrología han sido fundamentales para la evolución del sistema y para encontrar nuevas formas de definir las unidades acompasadas a los nuevos requisitos y exigencias.

En 1899 un científico visionario, Max Planck, postuló que se deberían encontrar unidades de medida basadas en constantes naturales que deben ser válidas "en todos los tiempos y para todos…también para culturas extraterrestres y no humanas"[1]. Los nuevos cambios en el SI y el rol de las constantes son el foco central de esta nueva edición de la revista.

Actualmente las unidades básicas del SI son siete: el metro, el segundo, el kilogramo, el mol, la candela, el kelvin y el ampere. En cuanto a sus definiciones, hasta ahora algunas se basaron en un artefacto particular (es el caso del kilogramo) o en experimentos físicos (es el caso del kelvin y del ampere). Pero un artefacto inevitablemente sufre alteraciones y todo experimento físico tiene límites, y esto fue lo que motivó un cambio trascendente en el SI que regirá desde el 20 de mayo de 2019.

A partir de esa fecha, el SI se basará en siete constantes de la naturaleza. Para cada constante se ha fijado el valor numérico más exacto posible determinado hasta el 2018 y todas las unidades quedarán definidas en base a una ecuación con una o varias de estas constantes. Este cambio de paradigma permitirá que todas las unidades puedan ser realizadas en cualquier lugar del mundo o del Universo. Y algo que no es de menor importancia: la continua evolución de las tecnologías no requerirá nuevos cambios en las definiciones de las unidades. O por lo menos, eso se espera.

Quizás, como a mí, te surja la pregunta inevitable: las siete constantes escogidas, ¿son constantes?

Recibe un cordial saludo,

ALEXIS VALQUI

Alexis Valqui, Director Ejecutivo de la revista *¡De acuerdo! – La ciencia a tu medida*
Foto: Mónica Arias

[1] Planck, M. (1899): "*Über irreversible Strahlungsvorgänge". S. 479-480. Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. 1899 – Erster Halbband. Berlin*

Índice

Prefacio
Alexis Valqui... 1

¿Puede un superhéroe viajar tan rápido como la luz?
Carlos A. Donado Morcillo ... 4

La velocidad de la luz en el vacío (*c*) ... 8

¡Sube la temperatura!
Antonio Paz y Ciro Sánchez ... 9

La constante de Boltzmann (*k*) ... 11

Un nuevo conductor designado
Elvira Morgado y Mariana Arce-Osuna ... 12

De conejos, galeras, cuantos y pasamanos
Claudia Mazzeo ... 15

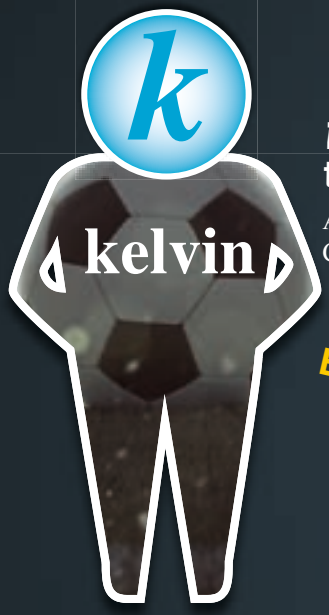
La constante de Avogadro (N_A) ... 18

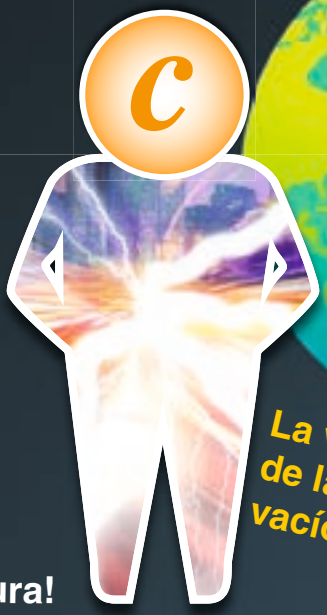
La constante de Planck (*h*) ... 19

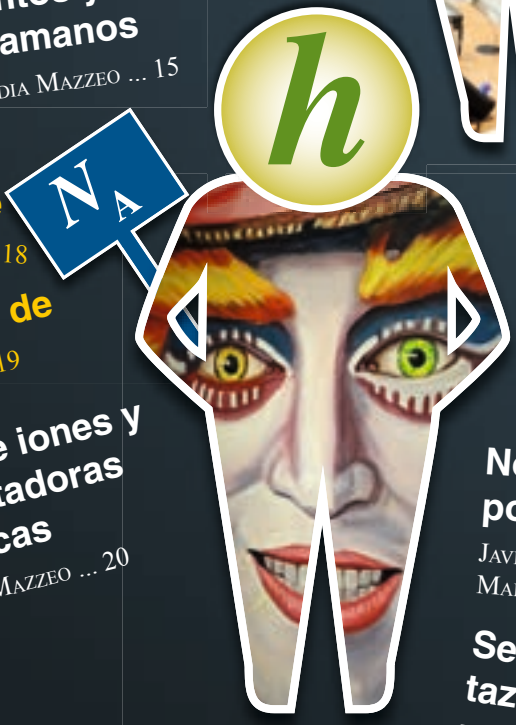
Jaula de iones y computadoras cuánticas
Claudia Mazzeo ... 20

No hay mol que por bien no venga
Javier Méndez Vedia y Mabel Delgado ... 23

Secretos de una taza de café
Fernando Aguilar ... 27







Cambios

La constante más iluminada en la liturgia del rock
Marcos Bierzychudek y Claudia Mazzeo ... 30

La carga elemental (*e*) ... 33

Trillones a la carga
Roque A. Báez, Fernando Kornblit y Enrique Garabetyán ... 34

Electrones a la pista
Enrique Garabetyan ... 36

La Química en la cocina
Raquel Tineo ... 39

La conservación de especies y la Metrología
Marcela Prendas Peña y Silvana Demicheli 42

Desde las piedras de fuego
Elizabeth De Oliveira, José Carlos Valente De Oliveira y Victor M. Loayza 46

¡Que le den candela!
Carlos H. Matamoros-García y Claudia Mazzeo... 48

La frecuencia de la radiación emitida en la transición hiperfina del átomo de cesio 133 ($\Delta\nu_{Cs}$) ... 51

1, 2, 3... tiempo y átomos
Grettel Rivera Alvarado y Marcela Prendas Peña ... 52

La constante de Avogadro
Alejandra Tonina ... 55

Un cambio que acabará con los viajes a Francia
María Paz Sartori ... 58

Ilustración de fondo: © ilovecoffeedesign - Fotolia.com

¿Puede un superhéroe viajar tan rápido como la luz?

A menudo, vemos a superhéroes en películas y series en TV viajando rápidamente para atrapar a supervillanos, para rescatar a personas o para competir por el título del más veloz. De algunos se dice que viajan "tan rápido como la luz". Antes de investigar si esto es posible, aprendamos más sobre la luz y cómo su conocimiento ha evolucionado a través de los siglos.

¿Qué es la luz?

La ciencia moderna nos enseña que la luz es una forma de radiación compuesta por partículas de energía llamadas fotones. Estas partículas no tienen masa (0 kg), pueden viajar y llevar energía de un lugar a otro, por ejemplo: del Sol al planeta Tierra. [Nota 0]

Además, la luz puede ser considerada como una onda de la misma familia que las ondas de radio, la radiación ultravioleta y los rayos X (todas son ondas electromagnéticas). Como estas ondas viajan con gran rapidez las usamos para transportar información, por ejemplo: por medio de las señales de teléfonos celulares, radio, TV, Bluetooth, WIFI, y comunicaciones satelitales. [Nota 1]

Antes de la ciencia moderna…

Cerca del año 400 a.C el filósofo griego Platón pensaba que desde nuestros ojos salían rayos de visión en líneas rectas para iluminar todo lo que vemos (como los rayos que salen de los ojos de Superman o Cíclope de X-men). Luego, otros filósofos como Euclides en Grecia y Ptolomeo en Roma estudiaron el trabajo de Platón y trataron de explicar matemáticamente cómo la luz se refleja y se refracta.

Siglos después, en el año 1021 d.C, el científico irakí Hasan Ibn al-Haytham (Alhazen) usó los estudios de Ptolomeo y descubrió algo excepcional: demostró que Platón se había equivocado, y propuso que la visión ocurre cuando la luz rebota en los objetos y luego es dirigida hacia los ojos. [Nota 2]

Los avances en Astronomía también mejoraron nuestro entendimiento de la luz durante el Renacimiento. A los astrónomos les interesaba hacer telescopios sofisticados que les permitieran predecir las posiciones de los astros y verificarlas con observaciones.

En Alemania, Johannes Kepler formuló las leyes que gobiernan el movimiento de los planetas según lo que observaba con telescopios recién inventados en aquella época. Su avanzado conocimiento de la refracción le permitió, en 1604, describir también cómo el ojo humano enfoca la luz en la retina. Esto lo hizo basado en los principios de propagación de la luz que él dedujo y que explicaban, entre otras cosas, que la luz viaja en línea recta y que puede cambiar de dirección al pasar de un medio a otro (por ejemplo del aire al vidrio). Además, planteó que la luz se propaga de forma instantánea, lo cual era aceptado erróneamente por muchos científicos de la época.

Kepler: la luz no viaja instantáneamente

Las ideas de Kepler sobre los movimientos de los planetas se propagaron rápidamente por Europa. Muchos otros astrónomos las utilizaron para predecir las posiciones de los planetas ayudándoles a perfeccionar sus observaciones. Tal fue el caso del danés Ole Rømer que durante muchos meses estudió los eclipses de una de las lunas de Júpiter, llamada Io. [Nota 3]

En sus observaciones Rømer notó algo curioso: el tiempo entre eclipses consecutivos de Io (medido al salir de la sombra de Júpiter) variaba sutilmente dependiendo del mes en el que se hiciera la observación. Como él sospechaba que la órbita de esa luna alrededor de Júpiter era estable y constante, pensó que la variación provenía del tiempo que tardaba en verse el eclipse desde la Tierra: en las épocas del año cuando ambos planetas se acercaban, el tiempo entre eclipses era más corto; y cuando se alejaban, era más largo.

Para explicar la variación, Rømer propuso que la luz viaja a una rapidez finita. Pero cuando publicó su trabajo, encontró gran oposición en la comunidad científica porque la mayoría creía que la luz viajaba de un punto a otro de manera instantánea (rapidez infinita). Otros criticaron el trabajo de Rømer porque requería que la rapidez de la luz fuera 220 000 000 m/s, un número enorme y muy difícil de creer. [Nota 4]

La luz viaja con una rapidez exacta de 299 792 458 m/s

De la publicación de Rømer en 1676, se dedujo que la luz tardaba unos 22 minutos en cruzar el diámetro de la órbita de la Tierra. En aquel entonces no existían relojes de alta exactitud (como los relojes atómicos), así que el error introducido por el reloj de péndulo que utilizó Rømer afectaba la calidad de sus mediciones. Por esta y otras razones, el valor calculado a partir de las mediciones de Rømer tuvo un error de 26,6 % con respecto al valor de la rapidez de la luz actual. [Nota 5]

Después del Renacimiento la Humanidad vivió cambios acelerados en la ciencia que contribuyeron a mejorar la tecnología de medición. Por ejemplo, la distancia estándar de un metro pasó de ser una fracción de la distancia entre el polo Norte y el ecuador (1798) a la longitud de una barra metálica mantenida en Francia (1889) y, más adelante, a las longitudes de onda de una lampara de kripton (1960). De igual manera, la forma en que medimos el tiempo evolucionó de relojes de péndulo a eléctricos (s.XIX), relojes de cuarzo (1927), hasta llegar a los relojes atómicos (1955), los cuales utilizamos desde 1967 para mantener la hora universal y definir la duración del segundo, la unidad de tiempo.

Con mejores medidas de distancia y tiempo, nuestras mediciones de la rapidez de la luz también mejoraron significativamente. Pasamos entonces de métodos basados en movimientos de lunas y planetas —que requerían grandes distancias y largos tiempos de observación—, a sistemas de espejos que usaban menores distancias y cortos tiempos de medición. Luego, con los avances de la Electrónica, se construyeron sofisticados sistemas láser que permiten calcular la rapidez de la luz a través de mediciones directas de la luz generada (midiendo frecuencia y longitud de onda).

La última medición directa de la rapidez de la luz se realizó en el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de EEUU, el NIST (por sus siglas del inglés), en 1972 donde se obtuvo un valor de (299 792 456,2 ± 1,1) m/s. Pero en la Conferencia General de Pesas y Medidas de 1983, científicos de muchos países propusieron que se podía lograr una mayor exactitud en la realización del metro si se establecía la rapidez de la luz como una constante universal, en lugar de medirla directamente. Entonces se le dio a la rapidez de la luz en el vacío, también llamada por la letra c, un valor exacto de 299 792 458 m/s, y se redefinió el metro como la distancia recorrida por la luz en el vacío en una fracción de tiempo de 1/299 792 458 segundos. [Nota 6]

La constante física *c*

Ya en el siglo XX la rapidez de la luz se repetía en muchas ecuaciones que describen el funcionamiento del Universo, y fue el físico alemán Albert Einstein quien le dio a c el título de constante universal. En su teoría de la relatividad especial Einstein postula que la rapidez de la luz en el vacío es constante y luego deduce que sólo cosas sin masa, como los fotones, pueden moverse con tal rapidez.

Einstein era un físico teórico y los físicos teóricos no hacen experimentos en laboratorios. Ellos prueban sus teorías con matemáticas y experimentos pensados usando teorías, imaginación y conocimiento.

Imaginemos entonces el siguiente experimento:
El superhéroe Flash viaja a la mitad de la rapidez de la luz ($0{,}5 \times c$) y patea un balón de fútbol que luego se aleja de él a 50 m/s (180 km/h). Según las leyes de movimiento de Newton, para una persona que esté sentada viendo la hazaña, el balón se mueve con una rapidez de $0{,}5 \times c + 50$ m/s.

Ahora imaginemos que, en lugar de patear el balón, Flash enciende una lámpara LED para iluminar el camino que tiene frente a él y le preguntamos al mismo observador con qué rapidez se mueven los fotones que salen de la lámpara LED de Flash. El observador, recordando a Newton, dice: "Obvio. Los fotones se mueven con una rapidez de $0{,}5 \times c + c = 1.5 \times c$, es decir, una vez y media más rápido que c". Un físico que pasa por allí se sorprende y dice: "¡Esto es un error! La luz en el vacío siempre viaja a una rapidez equivalente a c".

Al no tener masa y al moverse con una gran rapidez, los fotones no obedecen las leyes de movimiento de Newton. La rapidez de la luz depende del medio en que se propaga, no del movimiento de la fuente de luz. Así, la luz se propaga a una rapidez de c en el vacío, pero en cualquier otro medio, la luz viaja con mayor lentitud. Por ejemplo, en el agua, la luz viaja al 75 % de c ($0{,}75 \times c$) y en el diamante, al 41 % de c ($0{,}41 \times c$).

Como el balón de fútbol, la rapidez de luz depende del medio en el que se transporta o mueve.

Ilustración de fondo (modificada): © yiucheung - Fotolia. com, ilustración pierna: © h4nk - Fotolia.com, ilustración balón de fútbol: © MH - Fotolia.com, ilustración agua: © Trifonenko Ivan - Fotolia.com.

c es el límite de velocidad del Universo, incluso para Flash

De la teoría de la relatividad especial de Einstein se deduce que no es posible para algo con masa viajar tan rápido como la luz en el vacío. Esto se puede explicar con la famosa ecuación $E = m \times c^2$. A esta ecuación los físicos le llaman el principio de equivalencia de energía y dice que cualquier objeto que tenga una masa (m) posee una energía equivalente (E) que se obtiene al multiplicar la masa por la rapidez de la luz al cuadrado. En otras palabras, todo objeto tiene una energía asociada a su masa.

La famosa ecuación de Einstein es parte de una ecuación mucho más grande que describe cómo cualquier objeto que gane energía también gana pequeñas cantidades de masa. Los objetos pueden ganar energía al calentarse o moverse rápidamente [Nota 7].

De acuerdo a la teoría de relatividad especial, todo objeto con una masa en reposo (m_0) que se mueva a una rapidez (v), tiene una nueva masa observada que será:

$m = m_0 / (1 - v^2/c^2)^{1/2}$

Con esta información, podemos averiguar si un superhéroe puede moverse tan rápido como la luz.

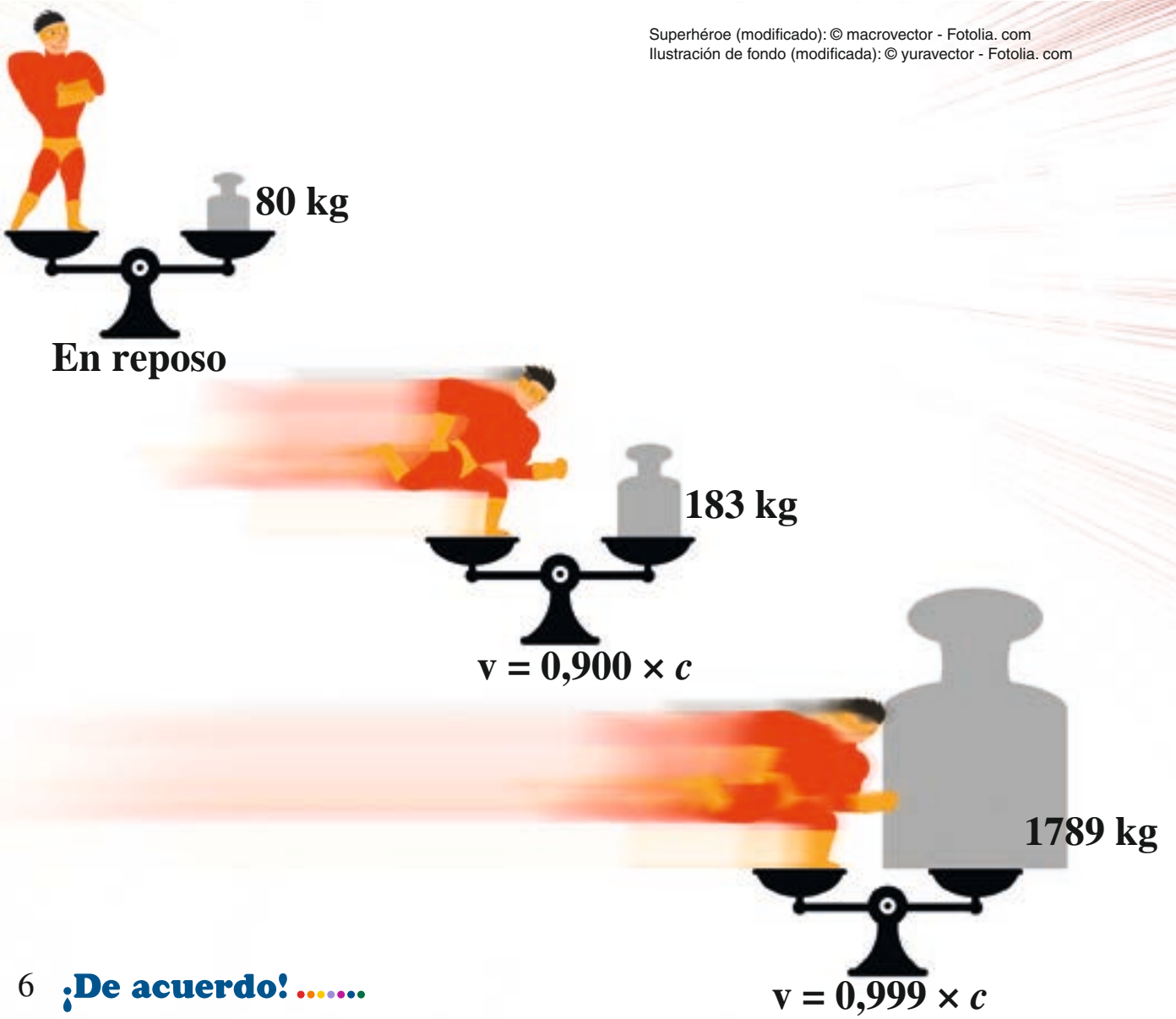
Ahora supongamos que Flash pesa 80 kg cuando está descansando (m_0 = 80 kg). Por mensaje un amigo físico lo reta y le dice: "Te apuesto que no eres capaz de viajar tan rápido como la luz". Siendo muy competitivo, Flash acepta el reto y comienza a correr.

Cuando corre a la mitad de la rapidez de la luz (0,500 × *c*), Flash se siente más pesado. Al moverse más rápido, ha ganado energía cinética y por lo tanto su cuerpo ha ganado masa. Según la teoría de la relatividad especial, con una rapidez de v = 0,500 × *c* la masa del cuerpo de Flash ya no es de 80 kg, sino 92 kg. Al alcanzar una rapidez de v= 0,900 × *c*, la masa de su cuerpo aumenta a 183 kg. A pesar de sentirse más pesado, Flash no se rinde y trata de correr con mayor rapidez. Ahora viaja a con una rapidez de 0,999 × *c* y se da cuenta que es imposible moverse (porque su cuerpo pesa 1789 kg). En ese momento, Flash se detiene con músculos exhaustos y le escribe al físico: "¡Tenías razón! Jamás podré alcanzar la rapidez de la luz ni superarla".

A lo que el físico le responde: "Te habrías ahorrado el esfuerzo si hubieras prestado atención a tus clases de Física".

Carlos A. Donado Morcillo (Panamá).

Superhéroe (modificado): © macrovector - Fotolia. com
Ilustración de fondo (modificada): © yuravector - Fotolia. com



Nota 0

Los fotones forman parte de un grupo muy especial en la Física llamado partículas fundamentales. Estas conforman los bloques básicos de las que están hechas todas las cosas en nuestro universo: desde los pequeños átomos, moléculas y los seres vivientes hasta los grandes planetas, estrellas y galaxias.

Nota 1

La rapidez se define como la distancia recorrida por un objeto dividida por el tiempo que le tomó recorrer esa distancia. Dicho matemáticamente: rapidez = distancia / tiempo. Los que han estudiado movimiento rectilíneo uniforme conocen la diferencia entre rapidez y velocidad. En Física decimos, por ejemplo, que un objeto tiene una rapidez de 100 km/h y que su velocidad es de 100 km/h con dirección Norte. Es decir, la rapidez es una magnitud escalar (no tiene dirección) y la velocidad es un vector (tiene dirección y sentido). A diario el término velocidad se usa en lugar de rapidez. Por eso usualmente se dice que la velocidad de la luz es de 299 792 458 m/s sin mencionar su dirección y sentido.

Nota 2

Durante el Renacimiento también se hicieron importantes avances en el estudio de la luz. Por ejemplo, en 1615 el holandés Willebrord Snel van Royen confirma los hallazgos del matemático persa Ibn Sahl en 984, y resume en la ley de Snell que la luz puede cambiar de dirección cuando pasa de un medio a otro. A este cambio de dirección de la luz se le conoce como refracción.

Los efectos descritos por la ley de Snell son fáciles de apreciar a través de un experimento sencillo. Toma un vaso de vidrio transparente y llénalo de agua hasta la mitad. Luego introduce un lápiz con la mayor inclinación posible con respecto al agua y observa cómo el lápiz parece partirse en dos secciones. Es interesante, ¿no? Este fenómeno ocurre porque los rayos de luz que rebotan (se reflejan) del lápiz viajan a través de trayectorias diferentes hasta llegar a tus ojos. La luz que proviene de la parte no sumergida tiene una trayectoria lápiz-aire-vidrio-aire-ojo, mientras que la que viene de la parte sumergida tiene una trayectoria lápiz-agua-vidrio-aire-ojo. Al refractarse por trayectorias distintas, la luz se desvía de diferentes formas y por eso el lápiz aparenta estar partido en dos secciones.

Nota 3

La luna de Júpiter, Io, demora aproximadamente 42,5 horas en orbitar el gran planeta y su órbita está en el mismo plano que el resto de los planetas del sistema solar. Esto quiere decir que, al observarla desde la Tierra, cada 42,5 horas se oculta detrás de Júpiter. A ese ocultamiento los astrónomos le llaman eclipse.

Nota 4

Para que un objeto viaje de forma instantánea se requiere que su rapidez sea infinita, es decir, que le tome exactamente 0 segundos desplazarse de un lugar a otro. El viaje instantáneo no existe; ni siquiera en obras de ciencia ficción. En dichas obras la teletransportación es un concepto similar pero dura unos cuantos segundos en ocurrir.

Nota 5

Para un análisis completo de las causas del error del experimento de Rømer ver: *https://aapt.scitation.org/doi/abs/10.1119/1.19020*

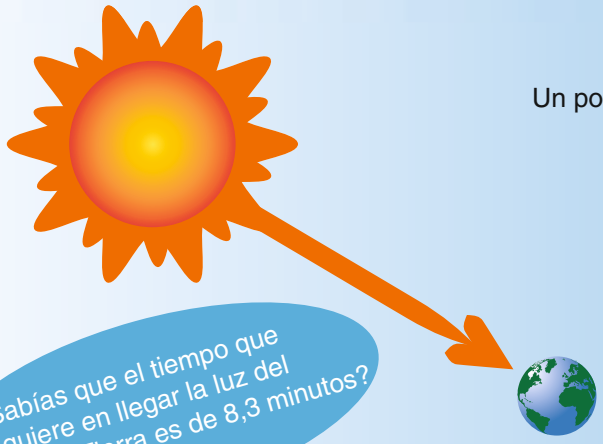
Nota 6

A partir de mayo del 2019, el Sistema Internacional de Unidades (SI) cambiará. Las siete unidades de base se definirán en base a constantes universales, a partir de fijar el valor numérico exacto de cada una de ellas.

Nota 7

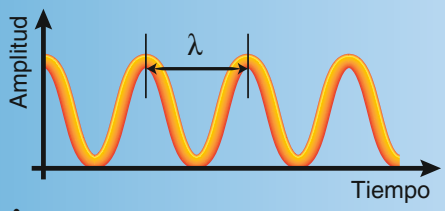
Al ganar calor, las moléculas de un objeto vibran rápidamente, es decir, el objeto se mueve muy rápido aunque aparente estar quieto, en reposo.

La velocidad de la luz en el vacío (*c*)



¿Sabías que el tiempo que requiere en llegar la luz del Sol a la Tierra es de 8,3 minutos?

Un poco de historia...



λ = Longitud de onda
υ = Frecuencia de onda por segundo

Lo que se requiere para conocer la velocidad de una onda luminosa es la longitud de onda lambda (λ) y la frecuencia (υ).

La rapidez de propagación de una onda en un medio es la relación que existe entre un espacio recorrido igual a una longitud de onda y el tiempo empleado en recorrerlo.

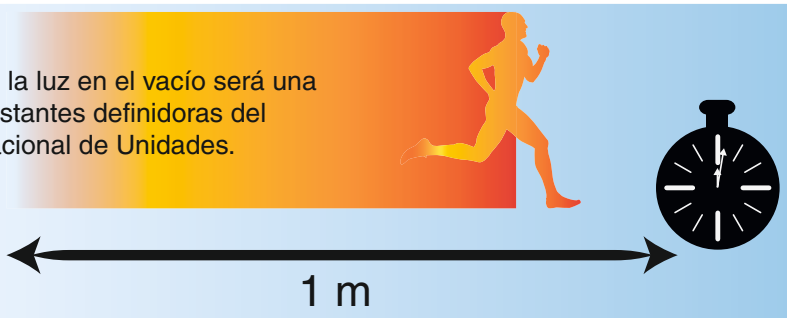
$$\upsilon = \lambda / T$$

Cuando el medio donde se propaga la onda es vacio, entonces la velocidad de propagación es igual a la velocidad de la luz (*c*).

$$c = \lambda / T \qquad c = \lambda \times \upsilon$$

c = 299 792 458 m/s

La velocidad de la luz en el vacío será una de las siete constantes definidoras del Sistema Internacional de Unidades.



El metro (m) es la unidad de longitud del SI. A partir de mayo de 2019 se defininirá tomando el valor numérico fijo de la velocidad de la luz en el vacío (*c*) igual a 299 792 458 cuando se expresa en la unidad m/s, donde el segundo está definido en función de $\Delta\nu_{Cs}$.

$$1\ \text{m} = \left(\frac{c}{299\,792\,458}\right) \text{s} = \frac{9\,192\,631\,770}{299\,792\,458}\,\frac{c}{\Delta\nu_{Cs}} \approx 30,663\,319\,\frac{c}{\Delta\nu_{Cs}}$$

La velocidad de la luz en el vacío se utilizará también para definir el kilogramo, la unidad de masa.

¡Sube la temperatura!

Desde que el árbitro hace sonar el pitazo inicial hasta que dispone el final del partido, el calor y la temperatura van en aumento en el estadio y en el cuerpo de los jugadores. En el mundo del fútbol, al igual que en otros ámbitos, ante situaciones dudosas hay que buscar soluciones que ofrezcan mayor certeza.

Una final de fútbol siempre es algo emocionante. Ya sea del campeonato local, de la Champions League o de un Mundial, la ansiedad se apodera de los jugadores y de los espectadores. Desde que el árbitro hace sonar el pitazo inicial hasta que se dispone a indicar que el partido ha llegado a su fin, el calor y la temperatura van en aumento, incluso en los días y noches más fríos.

Cada enfrentamiento es apasionante, pero no cabe duda: uno de los que más agitó los ánimos en Colombia ocurrió durante las Eliminatorias sudamericanas de clasificación para el Mundial Rusia 2018, cuando la selección colombiana disputaba con Perú el ingreso al evento futbolístico más importante del mundo. El equipo de Colombia buscaba su sexta participación y la selección peruana soñaba con volver al torneo luego de 36 años. El partido terminó 1 a 1 y con los resultados de los otros enfrentamientos Colombia clasificó en la cuarta posición. Perú, por su parte, tuvo que disputar su cupo —que finalmente obtuvo—en el repechaje contra Nueva Zelanda.

Durante un evento futbolístico, muchas veces escuchamos a los relatores decir que se siente el calor de los hinchas que animan al equipo desde las tribunas. Se refieren a señales, como el volumen de los cánticos en las graderías, la frecuencia de las olas humanas que forman en el transcurso del partido o la fuerza con la que agitan las banderas y gritan un gol.

En el caso de aquel partido de Eliminatorias, las cámaras mostraban otras señales que indicaban el calor que sentían los jugadores y que a cada minuto que pasaba su temperatura corporal iba en aumento. Las gotas de sudor corrían por sus rostros y la transpiración hacía ver a cada futbolista empapado, como si estuviera jugando bajo la lluvia.

Calor, sudor y transpiración son palabras asociadas a temperatura. En el caso del cuerpo humano, la temperatura ambiente elevada o la práctica de ejercicio intenso producen que la temperatura corporal aumente. La fiebre, la ansiedad, el miedo o la excitación también pueden aumentarla. Pero, así como un automóvil acciona el radiador para evitar un recalentamiento, nuestro cuerpo suda para enfriarse. La transpiración es un recurso del organismo para regular la temperatura corporal.

Los cambios en la temperatura influyen en nuestra vida cotidiana y en los deportes esto sí que es cierto. En el fútbol, por ejemplo, los jugadores sienten sus efectos y puede disminuir su rendimiento físico. Por eso no es extraño que en muchos países se programen partidos de fútbol en ciudades costeras —como en Barranquilla, (Colombia)— entre las 12:00 horas y las 15:00 horas, cuando el sol es más fuerte y se experimentan las temperaturas más elevadas. Esto hace parte de una estrategia muy utilizada para agotar a los jugadores que llegan desde otros países a disputar partidos.

La temperatura es medida y controlada en diversas actividades tales como la industria, la salud, la meteorología, la ciencia y la tecnología. Para medirla se utilizan termómetros. En Latinoamérica, y en varios países de otras regiones, para las mediciones de temperatura en la vida cotidiana se suele hacer uso del grado Celsius. A las personas les es familiar la designación de 0 °C como la temperatura de congelación del agua y 100 °C como su temperatura de ebullición (estrictamente esto es correcto si el agua es pura, destilada, y la medición se realiza a nivel del mar).

A nivel molecular, la temperatura está asociada a la medida de la energía cinética promedio (energía de movimiento) en un sistema. A mayor energía cinética promedio de un sistema, mayor temperatura; y a menor energía cinética promedio, menor temperatura. Al medir de esta forma la temperatura, se mide la temperatura termodinámica del sistema.

En el Sistema Internacional de Unidades (SI) la unidad de temperatura termodinámica es el kelvin (K), el cual se define como el equivalente a la fracción 1/273,16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua.

Para obtener el kelvin que se utiliza como referencia nacional para las mediciones de temperatura en los diferentes países esto requiere de experimentos que se realizan en los Institutos Nacionales de Metrología. En la práctica, para realizar (obtener) el kelvin, se utiliza una celda de punto triple.

La celda de punto triple de agua[1] no es más que un tubo sellado de vidrio que inicialmente contiene en su interior

[1] En el que coexisten las tres fases del agua: líquida, sólida y gaseosa.

dos fases de agua pura: líquida y vapor. Para formar la fase sólida la celda se enfría hasta que una parte del agua líquida se solidifica. Esto se logra con un sistema apropiado de enfriamiento; por ejemplo, dióxido de carbono en estado sólido o "hielo seco", cuya temperatura es −80 °C.

En una celda de este tipo, el punto triple se produce a 273,16 K (0,01 °C). Una vez que contiene las tres fases del agua, se preserva su estado en un ambiente cercano a los 0 °C y se utiliza como referencia en cada oportunidad que es necesario calibrar termómetros de las más alta exactitud[2].

Pero el agua que se utiliza para la realización práctica del kelvin, dependiendo del lugar en que se obtiene y el procedimiento de envasado, presenta variaciones. Por más que en la definición del kelvin basado en el punto triple del agua se especifica cómo debe ser el agua utilizada, esto no deja de ser un problema. Para ofrecer mayor certeza, se propone un cambio en la definición de la unidad kelvin.

Cambios necesarios

Así como la temperatura corporal o la ambiente pueden cambiar frecuentemente, la definición de las unidades en las que se miden las magnitudes también se modifican, aunque no en forma frecuente.

El mundo de la Metrología —ciencia que estudia las mediciones y sus aplicaciones— se está preparando para que, después de múltiples confirmaciones y comprobaciones experimentales, cambien las definiciones de cuatro de las unidades fundamentales del SI: el kelvin, el mol, el ampere y el kilogramo.

La nueva definición del kelvin ya no dependerá del punto triple del agua y en cambio dependerá del valor de una constante de la naturaleza: la constante de Boltzmann (k), que relaciona la energía con la temperatura.

$k = 1{,}380\,649 \times 10^{-23}$ J/K

Así, un kelvin será igual al cambio de temperatura termodinámica que produce a su vez un cambio equivalente en la energía térmica (kT) de $1{,}380\,649 \times 10^{-23}$ J.

Pero ¿por qué es importante que las unidades de medida se fundamenten en constantes de la naturaleza? La respuesta es sencilla y es que ellas, como su nombre lo indica, permanecen invariables en todo proceso físico o químico a lo largo del tiempo y en todo lugar.

La mayoría de las magnitudes se ven afectadas por la temperatura, por lo que su medición exacta contribuye a mejores mediciones globales. Una definición libre de limitaciones materiales y tecnológicas permite el desarrollo de técnicas nuevas y más exactas para obtener mediciones trazables al SI.

[2] Cada vez que se calibra un termómetro en el punto 0,01 °C, se debe asegurar que en la celda del punto triple del agua ésta tenga los tres estados.

Para determinar el valor de la constante de Boltzmann, se realizaron varios experimentos utilizando termómetros primarios. Entre los empleados podemos citar el termómetro de gas acústico, el termómetro de gas de constante dieléctrica, el termómetro de ruido eléctrico, el termómetro de radiación total y el radiómetro de filtro.

En las mediciones de temperatura en actividades de la vida cotidiana la nueva definición del kelvin no causará un efecto inmediato, así que por ahora podrás leer la indicación un termómetro sin preocuparte por el cambio.

El efecto de la nueva definición impactará principalmente en temperaturas bajas (menores a 25 K) y en altas temperaturas (mayores a 1000 °C). En el intervalo intermedio, mayormente cubierto por termómetros de resistencia de platino, la importancia práctica del punto triple del agua se va a mantener, pero no será más una realización de la unidad. Va a requerir una calibración respecto de la constante de Boltzmann.

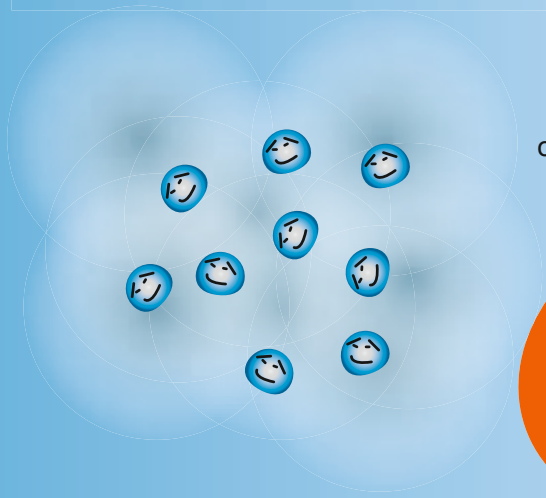
La exactitud es un factor esencial en el mundo de la ciencia de las mediciones. El cambio en la definición del kelvin permitirá realizar mediciones que serán reproducibles y replicables de múltiples maneras, en cualquier lugar, a cualquier hora y en una escala realmente universal. Esto quiere decir que se garantizará una mayor exactitud en las mediciones de temperatura y mejorará nuestra confianza en los bienes y servicios que consumamos.

No sería exagerado pensar en una analogía: en el mundo del fútbol, el VAR —sistema de video arbitraje— ha permitido que los árbitros tengan mayor certeza en situaciones dudosas como un penal, la anulación de un gol o un fuera de lugar. La nueva definición del kelvin busca algo similar: mejorar la exactitud de las mediciones y sentar las bases para futuras mejoras en todos los ámbitos de la vida.

Antonio Paz y Ciro Sánchez (Colombia)

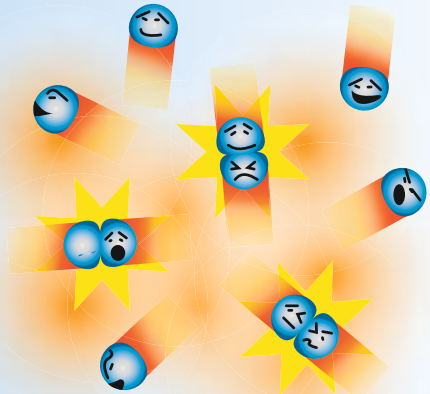
El ingeniero químico Sergio Andrés Carvajal Perdomo, del Laboratorio de Temperatura y Humedad del Instituto Nacional de Metrología de Colombia, realiza mediciones de temperatura de la más alta exactitud, contribuyendo así al mejoramiento de la calidad. Foto cedida por INM.

La constante de Boltzmann (*k*)



Al transferir energía a un gas, sus moléculas se moverán más rápido y se observará un incremento en la temperatura.

La constante de Boltzmann (*k*) es la constante física que relaciona temperatura absoluta y energía térmica



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

La constante de Boltzmann (*k*) será utilizada para definir el **kelvin (K)**, la unidad de temperatura termodinámica.

A partir de mayo de 2019 se definirá asignando el valor numérico fijo de $1{,}380\,649 \times 10^{-23}$ a la constante de Boltzmann (*k*) cuando ésta se expresa en la unidad J K^{-1} que es igual a kg m^2 s^{-2} K^{-1}, donde el kilogramo, metro y segundo estarán definidos en función de *h*, *c* y $\Delta\nu_{Cs}$.

$$1\ \text{K} = \left(\frac{1{,}380\,649}{k}\right) \times 10^{-23}\ \text{kg}\ \text{m}^2\ \text{s}^{-2}$$

$$= \frac{1{,}380\,649 \times 10^{-23}}{(6{,}626\,070\,15 \times 10^{-34})(9\,192\,631\,770)}\ \frac{\Delta\nu_{Cs}\, h}{k} \approx 2{,}226\,6653\ \frac{\Delta\nu_{Cs}\, h}{k}$$

Termómetro de gas

Para determinar el valor de la constante de Boltzmann, se realizaron varios experimentos utilizando termómetros primarios; entre ellos, termómetros de gas.

El termómetro de gas, a volumen constante, mide la temperatura por variación en la presión.

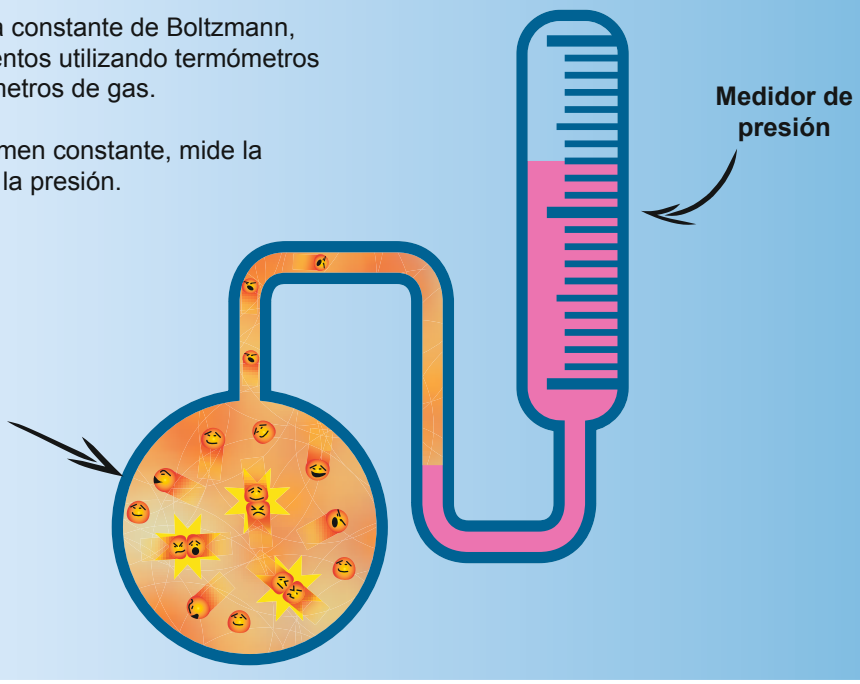


Foto cedida por el CENAM

Un nuevo conductor designado

La cantidad máxima de alcohol en sangre permitida para manejar vehículos varía de país en país. ¿Cómo funcionan los aparatos que se utilizan para controlarlo? ¿Son confiables los valores que indican? ¿Se avecina algún cambio?

Actualmente, elegir "conductor designado" es algo habitual cuando un grupo sale a tomar unos tragos o de fiesta. Frases como "Se recomienda beber con moderación" son comunes en publicidades y en envases de bebidas alcohólicas. El cambio ha sido notorio. Unas décadas atrás, a muy pocos conductores se les ocurría pensar que si había bebido alcohol en la fiesta no debía conducir su coche para volver a su casa. Ahora hay más conciencia del riesgo de conducir bajo efecto del alcohol y el control de la "condición etílica" de quienes conducen se ha incorporado en las costumbres y ya no sorprende.

Podemos considerar que alguien está "demasiado borracho" por algunas señales más o menos subjetivas: camina a los tumbos, habla a los gritos, se abraza con todos los que se cruza, se pone violento, etc. Para decidir si está en condiciones de manejar le podemos pedir que haga "la prueba del 4" o que camine en línea recta. Pero a nivel de oficiales de tránsito, cuando ocurre un accidente o cuando se realizan controles sorpresivos, la forma de medir cuánto alcohol tiene el cuerpo de un conductor es más rigurosa y se basa en el uso de ciertos instrumentos: los espirómetros o alcoholímetros.

Ilustración auto: © Hein Nouwens - Fotolia. com

Si el resultado de la prueba de espirometría (o alcoholemia) indica mayor cantidad de alcohol que la permitida en la normativa del país, el conductor podrá ser multado o acusado de tener responsabilidades civiles y penales en el accidente, lo que podrá significarle hasta ir a la cárcel. Por eso, en cualquiera de los casos, la exactitud de las mediciones que se hacen con esos aparatos es fundamental. Como también es importante entender algo de Química cuando de beber alcohol y manejar se trata.

¿Qué miden los controles de alcoholemia?

El tipo de alcohol que se utiliza para preparar las bebidas alcohólicas es el etanol. Es un compuesto químico cuya fórmula es CH_3-CH_2-OH. La cantidad máxima de etanol en sangre permitida para manejar vehículos varía de país en país. En México, al igual que en varios países, la normativa indica que no se debe manejar si en el aliento hay más de 0,25 mg de etanol por litro de aire espirado.

¿Por qué se mide el aliento si lo que se quiere determinar es la cantidad de etanol en sangre?

El nivel de etanol que tenemos en nuestro organismo también se puede medir tomando una muestra de sangre o de orina, pero te imaginas que no sería muy práctico hacer extracciones de sangre en la calle o que te hicieran bajar del coche y te dieran un recipiente donde colocar tu muestra de orina. Los espirómetros permiten realizar los controles de una forma sencilla y obtener resultados en el momento.

¿Cómo es que llegan las moléculas de etanol al alcoholímetro?

El alcohol circula por la sangre y llega al hígado, donde es metabolizado; de esta forma el organismo evita la intoxicación etílica. Sin embargo, cerca de un 1 % del alcohol se elimina sin metabolizar, a través de la orina, del sudor y del aire que espiramos desde los alveólos pulmonares.

Al soplar en la boquilla del alcoholímetro, las moléculas de etanol contenidas en el aire que espiramos son captadas por un detector electrónico de componentes químicos que hay en el interior del dispositivo, y el aparato indica la cantidad de etanol que en ese momento circula por las venas del conductor. Por eso, de nada sirve masticar goma o pasto o lamer monedas de cobre; si tenemos moléculas de etanol en nuestra sangre éstas serán detectadas y cuantificadas por el alcoholímetro.

¿A cuántas moléculas de etanol corresponde el valor límite establecido?

Lo primero que debes comprender es que en el Sistema Internacional de Unidades (SI) la unidad de medida aceptada para mediciones de cantidad de sustancia es el mol (su símbolo es mol).

En 1971 se definió al mol como el número de átomos que hay en 0,012 kg del elemento carbono 12. A ese número de átomos en Química se le llama número de Avogadro. De lo anterior sabemos que 1 mol de carbono 12 pesa 12 g. Si consideramos la composición química del etanol (CH_3-CH_2-OH) y los pesos molares de cada componente, podemos saber que un mol de etanol pesa 46,07 g.

Por Avogadro también sabemos que 1 mol de etanol contiene $6,022\,141\,29 \times 10^{23}$ moléculas. Entonces en México, por ejemplo, no se debe de manejar si se tiene más de $3,267\,929\,94 \times 10^{18}$ moléculas de etanol por litro de aire espirado. Fíjate que este número corresponde a la proporción entre la masa de 0,25 mg de etanol y el peso de un mol de etanol. ¿Ves por qué es importante tener nociones de Química?

¿Cómo contribuyen los Institutos Nacionales de Metrología para asegurar que las mediciones de los alcoholímetros sean correctas y confiables?

Los espirómetros indican la cantidad de etanol en gramos, y no cantidad de moléculas, por litro de aire espirado. La conversión de moléculas a gramos la realiza el propio aparato. Para estar seguros que la conversión es la correcta y que los valores que indica son confiables, el alcoholímetro debe ser calibrado y verificado en forma periódica.

La calibración del alcoholímetro es muy importante ya que una medición realizada en forma incorrecta o utilizando un aparato "desajustado" no sólo puede significarnos una multa injusta sino ser acusados injustamente de responsabilidades con consecuencias graves.

En cada país hay instituciones responsables que emiten y aprueban los patrones y sistemas de medición requeridos en la calibración y verificación de alcoholímetros. Son principalmente los Institutos Nacionales de Metrología

Ilustración policía (adaptada): © dzm1try - Fotolia.com

y su red de laboratorios secundarios. En tu país existen, y es tu derecho exigir que el alcoholímetro con el que te hacen la prueba de espirometría esté calibrado y verificado por alguna de ellas. Las dependencias de tránsito que utilizan alcoholímetros también deben considerar la importancia de utilizar únicamente alcoholímetros verificados y que cumplan con una calibración válida.

¿Qué va a cambiar a partir de 20 de mayo del 2019?

Es nuestro deber alertarte que la definición del mol va a cambiar, según ha anunciado la máxima autoridad internacional en lo que refiere a mediciones (el Buró Internacional de Pesas y Medidas – BIPM, por sus siglas del francés). A partir de los resultados de muchos análisis hechos en diferentes Institutos de Metrología, se ha resuelto que al número de Avogadro se le asignará un número fijo e independiente del carbono 12. Este nuevo valor numérico fijo de la constante de Avogadro será el nuevo conductor designado en lo que refiere a mediciones de cantidad de sustancia.

La nueva definición fue aprobada en la última Conferencia General de Pesas y Medidas y entrará en vigencia el 20 de mayo de 2019. A partir de entonces, un mol se definirá como la cantidad de sustancia que contiene exactamente $6{,}022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ entidades elementales (que pueden ser moléculas, átomos, iones u otro tipo de partículas o grupos de partículas).

¿Afectará la nueva definición del mol las mediciones con alcoholímetros?

Es lógico que pienses que la nueva definición de mol impactará en los valores que emiten los alcoholímetros. Si volvemos al ejemplo de aquellos países donde no se debe manejar con más de 0,25 mg de etanol/litro de aire, podríamos hacer los cálculos anteriores pero ahora con el nuevo número de Avogadro. Así obtenemos que no se debe de manejar con más de $3{,}267\ 929\ 65 \times 10^{18}$ moléculas de etanol/litro de aire espirado.

La nueva definición del mol conservará la relación entre la masa de una sustancia y su masa molecular (esto es, la masa de un mol de esa sustancia), por lo que el peso molecular de un mol de etanol no se verá afectado. Usando el nuevo valor del número de Avogadro se tienen 0,000 005 4 moles de etanol/litro de aire espirado. Aplicando la relación 46,07 g de etanol/mol el resultado es 0,000 25 g de etanol/litro de aire espirado, que corresponden a los 0,25 mg de etanol/litro de aire espirado permitidos.

Como ves, la nueva definición del mol, a nivel macro no variará los resultados medidos con los alcoholímetros ni de ninguna otra medición química. Pero a nivel "micro", sí tendrá efectos.

¿Cuánto alcohol deberías tomar si no quieres pasar la raya?

Siempre tomando como ejemplo la normativa de México, si comparas la cantidad de moléculas de etanol estimadas en los cálculos al inicio del artículo con la cantidad estimada considerando la nueva definición del mol, verás que hay una diferencia. El dato demuestra que a partir de mayo del 2019, para no infringir esa normativa, tendrás que tomar aproximadamente 3×10^{11} moléculas de etanol menos. ¿Te alcanzará una noche para contarlas?

Si te toca ser conductor designado, seguramente prefieras aplicar la fórmula infalible: "Si tomas, no manejes".

Elvira Morgado y Mariana Arce-Osuna (México)

Ilustración: © Pavel Mastepanov - Fotolia. com

De conejos, galeras, cuantos y pasamanos

Foto: Claudia Mazzeo

"Me resulta intolerable la idea de que un electrón expuesto a la radiación pueda escoger a su antojo el momento y la dirección del salto. Si así resultara, finalmente preferiría haber sido zapatero remendón, o incluso empleado de casino, antes que físico."

"La mecánica cuántica muchas veces es espantosa."
Albert Einstein

¿Te acordás cuál era la trama de *Alicia en el país de las Maravillas*? Tal vez no. Pero seguro que recordás vivamente la sensación que te produjo leer ese cuento o ver la película. Desde que Alicia se topa con el conejo blanco y se anima a beber un líquido que la vuelve increíblemente pequeña, se suceden innumerables situaciones que sin duda tienen algo en común: son ilógicas, o simplemente confusas y extrañas, y te llevan a un terreno que está más cerca de lo inimaginable que de la realidad cotidiana de cualquiera de nosotros.

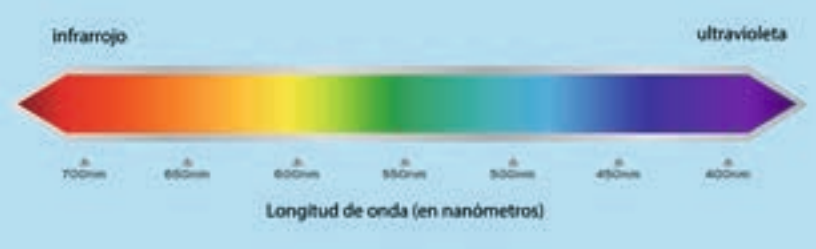
Aunque cueste creerlo, la Física cuántica tiene mucho de todo ello. La gran teoría física de lo infinitamente pequeño generó entre los mismos científicos asombro y confusión ya que significó, allá por el 1900 (y significa aún en nuestros días), una verdadera revolución científica, un cambio de paradigma a lo que en muchos casos postulaba la hoy llamada Física clásica (la de Newton, que se basa en las leyes básicas del movimiento sobre los objetos cotidianos).

Algunos incluso consideran que el libro —escrito en 1865 por un profesor de matemática de Oxford, Charles Lutwidge Dodgson, bajo el seudónimo de Lewis Carroll— casi refleja las teorías de la Física cuántica, al presentar objetos demasiado pequeños y demasiado grandes, similares a las partículas más diminutas (quarks, electrones) y lo más grande que se pueda imaginar (galaxias, agujeros negros, quásares).

Sin intentar discernir si Dodgson fue un visionario o sólo un virtuoso de la imaginación, lo cierto es que la Física cuántica nació impulsada principalmente por la búsqueda de una explicación científica al modo en que los cuerpos, al ser calentados, irradian energía.

Cuerpos negros y lamparitas

Hacia fines del siglo XIX estaba claro que la luz visible, la radiación infrarroja o la ultravioleta, eran —y son— distintos aspectos de un tipo de emisión que recibe el nombre genérico de radiación electromagnética. Sabían también que si un cuerpo absorbe radiación se calienta, y que un cuerpo caliente emite radiación. Sin embargo, desconocían el modo en que los diferentes materiales emiten radiación térmica. Para estudiarlo emplearon un modelo conocido como cuerpo negro, el que fue introducido por el físico Gustav Kirchhoff en 1862. Se trata de una especie de horno capaz de absorber todas las radiaciones que le llegan, sin reflejar nada. En su interior la materia y la radiación están en equilibrio, intercambiando energía de manera continua.



"El asunto es cómo es la radiación ahí adentro, cuáles son los colores de luz, cuánta energía tenés en cada color. En principio no lo podés ver, porque es un cuerpo negro y está todo cerrado, entonces lo que haces es abrir un pequeño agujero y mirar. Por ahí sale algo de radiación", dice el físico e investigador Juan Pablo Paz. Y añade: "Lo que se veía era que la luz emitida por un cuerpo negro era de distintos colores y la intensidad de cada color dependía de la energía. La dependencia entre la energía y la frecuencia no se lograba entender con las leyes de la Física que existían hasta ese momento. Y a partir de mediciones, se estudió justamente cuánta energía hay por unidad de frecuencia (la frecuencia de la luz es el color), cuánta energía hay en el color rojo, en el azul, y así sucesivamente, y se levantaba una curva. Esa curva no se podía explicar".

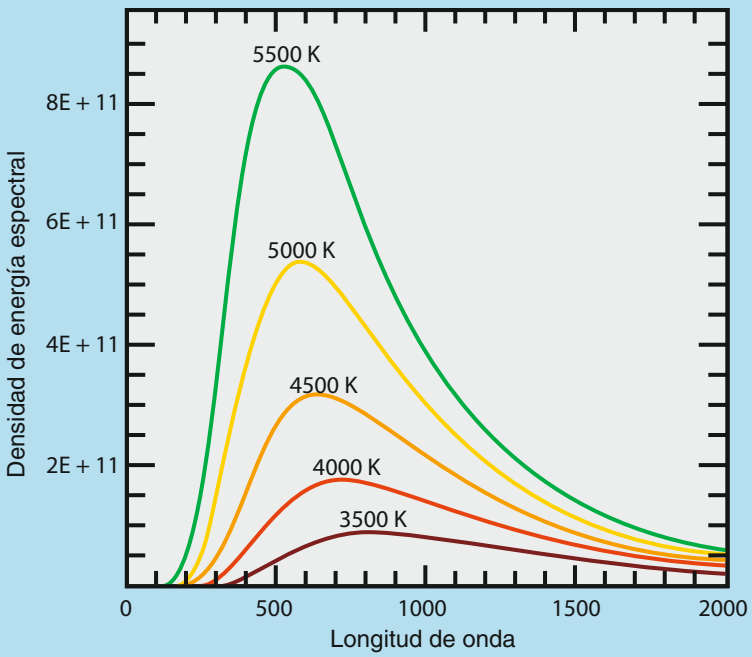
Ahí entra entonces en escena Max Planck —profesor de Física en Berlín en 1889, y merecedor del título de doctor en Física a los 21 años—, a quién el gobierno alemán le había pedido que determine a qué color debían emitir los filamentos de las bombitas para obtener la máxima eficiencia energética, minimizando la radiación en el espectro infrarrojo y en el ultravioleta.

Planck presentó una fórmula matemática que reproducía las curvas obtenidas. "Lo hizo de un modo totalmente *ad hoc*. No lo dedujo de una teoría, sino que, con mucha intuición, inventó una fórmula matemática que reproducía la curva y la publicó", dice Paz, al ser entrevistado por *¡De acuerdo!*

Pero la fórmula parecía sacada de la galera. Y Planck no podía aceptar que, aunque diera en la tecla con su fórmula, no pudiera relacionarla con ningún principio de la Física conocido hasta ese momento. Partió entonces de los resultados experimentales y de su conocimiento sobre las leyes de la termodinámica para proponer una nueva hipótesis, la que sería luego la primera regla de la Física cuántica.

Postuló que la energía no puede dividirse en cantidades infinitamente pequeñas, sino que está almacenada en paquetes o cuantos de energía, está cuantizada (de ahí recibe su nombre la teoría cuántica). Esto equivalía a decir que la energía no es un flujo continuo, sino que crece o decrece a saltos. Como cuando subís escalones, o avanzás de uno en uno con tus manos por los barrotes de unos pasamanos.

Max Planck supuso que en el interior del cuerpo negro había cuantos de energía para cada frecuencia de radiación, siendo la energía de cada cuanto (que es un fotón,) proporcional a la frecuencia.



A mayor temperatura de un cuerpo negro, menor es la longitud de onda en la cual emite. Una de las aplicaciones más importantes de este concepto (ley de Wien) es la obtención de datos sobre las estrellas.

Adaptada de https://cuentos-cuanticos.com/2012/05/04/cuerpo-negro/#more-3006

La constante de proporcionalidad entre la energía (E) y la frecuencia (ν) se denominó constante de Planck, formulando la siguiente ecuación $E = h \times \nu$

La constante de Planck (representada por la letra *h*) relaciona la energía (E) de los fotones con la frecuencia de la onda lumínica (letra griega, ν).

Mediante observaciones determinó que el valor de la constante era $6{,}55 \times 10^{-34}$ J × s y el 14 de diciembre de 1900 presentó una nueva constante universal a la Sociedad Alemana de Física, diciendo que la energía "está hecha de un número completamente determinado de finitas partes iguales".

Si tenemos en cuenta que la energía que libera una pequeña luciérnaga, por ejemplo, contiene miles de millones de cuantos, podemos deducir que el valor de la constante de Planck es diminuto.

La cuántica de nuestra vida cotidiana

"El mundo de las partículas, que es el mundo de los electrones, los fotones o los núcleos atómicos, se explica con la Física cuántica", dice Alejandra Tonina. "Los instrumentos y equipos que usamos hoy en día, como los celulares, las computadoras, los resonadores nucleares o los láseres, hacen uso de un comportamiento especial de estas partículas que sólo se explica a través de la teoría cuántica", agrega la investigadora del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

Tonina destaca que, quienes a principios del siglo XX modelaron y predijeron este comportamiento permitieron que exista la tecnología que hoy usamos en nuestra vida diaria. "La constante de Planck, *h*, aparece íntimamente ligada a la Física cuántica desde sus postulados fundamentales. Al incorporar las constantes universales al nuevo Sistema Internacional de Unidades, se hizo natural que una de ellas fuera la constante de Planck. Y esta constante es clave en los efectos Josephson y Hall que forman parte de lo que conocemos como Metrología Cuántica, teniendo el INTI uno de sus laboratorios dedicado en su totalidad a estos temas", puntualiza.

Fue así como la Conferencia General de Pesas y Medidas, que se reunió en noviembre de 2018 en Versalles, decidió sobre la nueva definición del kilogramo basada en la constante de Planck.

Eso implica un acuerdo mundial en cuál es el valor de la constante, lo que hace necesario llegar a un mismo valor mediante dos métodos diferentes: la balanza de Watt y la constante de Avogadro.

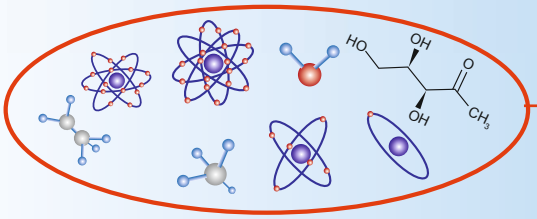
La balanza de Watt es un dispositivo electrónico capaz de medir la masa de un objeto a través de mediciones muy precisas de corriente y tensión eléctrica. Por su parte la constante de Avogadro es el número de partículas que hay en un mol de sustancia, la que en este caso se obtiene contando el número de átomos existentes en una esfera de silicio de 1 kg.

Si algo podemos afirmar sin temor a equivocarnos es que ni la propia Alicia hubiera podido imaginar que estimar el peso de unas deliciosas masitas sería la consecuencia de realizar tan complejas operaciones. Una vez más, Planck parece haber sacado la solución de la galera.

Claudia Mazzeo (Argentina)

Foto: Claudia Mazzeo

La constante de Avogadro (N_A)



Toda sustancia está formada por entidades elementales, que pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, partículas o grupo de partículas.

La constante de Avogadro (N_A) representa el número de entidades elementales en un mol de una sustancia.

$$N_A = 6{,}022\ 140\ 76 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$$

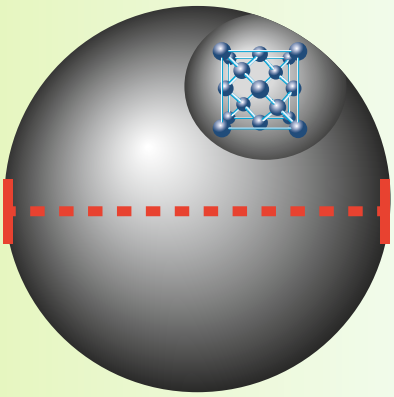
A partir de mayo de 2019, la nueva definición del SI establecerá que un mol contiene exactamente 6,022 140 76 × 10^{23} entidades elementales. Este número, llamado Número de Avogadro, corresponde al valor numérico fijo de la constante de Avogadro (N_A) cuando se expresa en la unidad mol^{-1}.

$$1\ \text{mol} = \frac{6,\ 022\ 140\ 76 \times 10^{23}}{N_A}$$

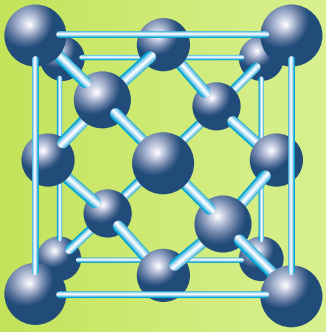
El experimento de Avogadro

Para determinar el valor de la constante de Avogadro experimentalmente se calculan los átomos de silicio que contiene una esfera de silicio enriquecido, de un kilogramo de masa.

¿Cuantos átomos tiene la esfera de silicio?



Midiendo el diámetro de la esfera se puede determinar su volumen.

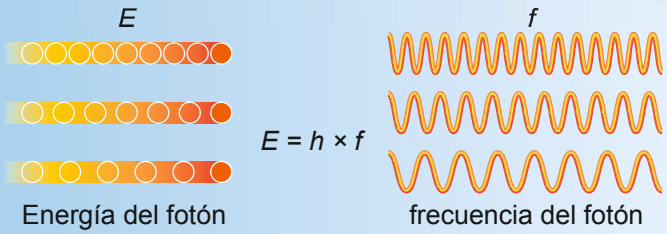


Midiendo la distancia entre los átomos de una celda elemental del silicio (compuesta por 8 átomos) se puede determinar el volumen de una celda elemental. Conociendo el volumen de la esfera y el volumen de una celda elemental es posible calcular el número total de átomos de silicio que hay en la esfera.

El Experimento de Avogadro constituye la determinación más exacta de la constante de Avogadro.

La constante de Planck (*h*)

La constante de Planck (*h*) es la constante física que relaciona la energía y la frecuencia de un fotón



El valor de la constante de Planck será la referencia para re-definir la unidad kilogramo.

$$h = 6{,}626\ 070\ 15 \times 10^{-34}\ \text{J s}$$

Esto equivale a $h = 6{,}626\ 070\ 15 \times 10^{-34}\ \text{kg} \times \text{m}^2 \times \text{s}^{-1}$

El kilogramo (kg) es la unidad de masa del SI. A partir de mayo de 2019 se definirá asignando el valor numérico 6,626 070 015 × 10^{-34} a la constante de Planck (*h*) expresada en la unidad J × s, que es igual a kg × m^2 × s^{-1}, donde el metro y el segundo estarán definidos en términos de *c* y $\Delta\nu_{Cs}$.

$$1\ \text{kg} = \left(\frac{h}{6,\ 626\ 070\ 15 \times 10^{-34}}\right) \text{m}^{-2}\ \text{s}$$

$$= \frac{(299\ 792\ 458)^2}{(6,\ 626\ 070\ 15 \times 10^{-34})(9\ 192\ 631\ 770)} \frac{h\,\Delta\nu_{Cs}}{c^2} \approx 1,\ 475\ 5214 \times 10^{40} \frac{h\,\Delta\nu_{Cs}}{c^2}$$

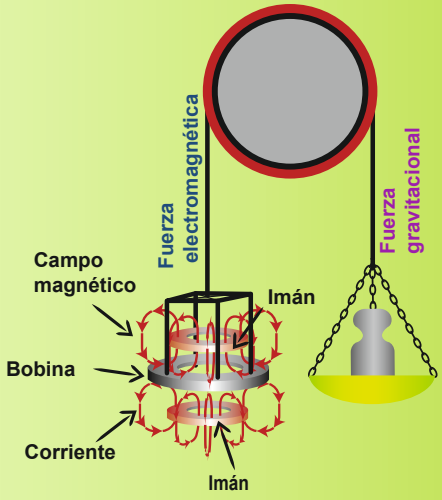
La balanza de Kibble

Un poco de historia...

Uno de los problemas que motivó la redefinición de la unidad kilogramo es que la relación entre el patrón internacional del kilogramo y todos los prototipos nacionales varía con el tiempo.

Para redefinir el kilogramo se han seguido dos métodos: el Experimento de Avogadro y la Balanza de Kibble.

Balanza de Kibble



Esta balanza permite equilibrar una fuerza electromagnética con la fuerza gravitatoria de un objeto de un kilogramo de masa.

Es uno de los métodos utilizados para determinar experimentalmente el valor de la constante de Planck (*h*).

Con el experimento de Avogadro se puede determinar la constante de Planck a través de la constante molar de Planck.

La constante de Planck (*h*) también se utilizará para definir otra unidad de base del SI: la candela (la unidad de la intensidad luminosa).

$$1\ \text{cd} = \left(\frac{K_{cd}}{683}\right) \text{kg}\ \text{m}^2\ \text{s}^{-3}\ \text{sr}^{-1} = \frac{1}{(6,\ 626\ 070\ 15 \times 10^{-34})(9\ 192\ 631\ 770)^2\ 683} (\Delta\nu_{Cs})^2\, h\, K_{cd}$$

Jaula de iones y computadoras cuánticas

Foto de Juan Pablo Paz: Claudia Mazzeo.

Entrevista a Juan Pablo Paz, doctor en Física e investigador en Física cuántica en la Universidad de Buenos Aires.

−Cuando Planck presentó su teoría de los paquetes de energía, de los cuantos, parece que él mismo no creía eso. ¿Es así? Cuesta imaginarse a un científico como Planck en esa situación.

−Es interesante esa historia. Planck estaba tratando de entender las propiedades de la radiación del cuerpo negro, cómo la cantidad de energía que se emite de un cuerpo depende de la frecuencia, para una dada temperatura, cómo depende del color, cuánta energía se emite en cada frecuencia. Fue una cosa curiosa. Dijo: "Yo tengo la fórmula que le pega a todos los resultados y experimentos y además tengo una manera de deducirla a partir de una hipótesis descabellada", y empezó a avanzar en esa dirección.

La primera vez que lo presentó fue casi como una curiosidad (porque) él no creía que esos paquetes de energía tuvieran una existencia real. Planck en esa época no creía siquiera en la existencia de los átomos. Era muy conservador. Dijo que se sentía obligado a dar una explicación a su fórmula que era tan buena, y lo que hizo fue un acto de desesperación. Inventó una demostración que aceptaba una hipótesis muy rara (que era la existencia de los paquetes de energía y que permitía explicar un montón de otras cosas) y después se animó a investigar qué otras consecuencias podía traer esa hipótesis. Y ese acto de desesperación de Planck, fue lo que dio lugar al surgimiento de la Mecánica cuántica.

−¿Por qué esa presentación de Planck que nace así, por ser demostrada, se la conoce como el origen de la Cuántica?

−Lo cuántico, tiene que ver con lo discreto. Descubrir que la energía no puede variar continuamente sino que solo puede variar en saltitos, de un tamaño dado, era algo que atentaba contra los principios de la Física clásica. Si eso era verdad, había que repensar todo. Y el trabajo de Planck fue el primero que le dio sentido a esa hipótesis.

−En tu laboratorio trabajás en el desarrollo de computadoras cuánticas. ¿Qué vínculo hay entre esa tecnología y la constante de Planck?

−La computación cuántica está muy relacionada con la constante de Planck en el sentido más profundo, es decir que hay paquetes de energía y también paquetes de

información. La información, de alguna manera viene en paquetes. Para almacenar y procesar información nosotros usamos bits cuánticos. Y los bits cuánticos son justamente eso. La computación cuántica está basada en la idea de almacenar información en el estado de objetos que son descriptos por la mecánica cuántica, que tienen propiedades discretas y finitas.

En cuanto a que la energía viene en paquetes, se puede aumentar la energía tanto como quieras agregando uno sobre otro, hasta construir una torre infinita. Entonces los valores posibles de la energía son infinitos, pero vienen como en escaloncitos. Con el tiempo se fue descubriendo que en la Física cuántica se comprueba esta propiedad de "granularidad" de la energía.

Luego se observaron propiedades de la materia que no solo tenían un carácter granular —venían en paquetes— sino que el número de resultados que podían obtenerse al medirlos no era infinito, sino que era finito. Un sistema sobre el cual una medición exhaustiva solo te da dos resultados, es el más cuántico de todos los sistemas físicos: el bit cuántico o *qubit* (por sus siglas del inglés, *quantum bit*).

Y hay cosas de la Naturaleza que se comportan de esa manera. El spin del electrón, que es como un imán que tienen las partículas elementales, es un ejemplo. La proyección del imancito en una dada dirección (la proyección sería como la sombra), cada vez que la medís, en una dirección cualquiera, te da dos valores posibles: más algo y menos algo. En esos dos resultados está presente la constante de Planck.

−¿Hay ya computadoras cuánticas en uso en el mundo?

−Lo que existen son prototipos pequeños. Pero aún no hay ninguna computadora cuántica que sea útil para resolver un problema que no pueda ser resuelto con una computadora ordinaria.

−¿Cómo va el proyecto de ustedes?

−Hace más de 20 años que vengo trabajando en el plano teórico de la computadora cuántica. Pero en 2015, a partir del regreso de unos de mis estudiantes de Alemania, donde realizó su post doctorado en técnicas que se usan en ese campo, comenzamos a armar un laboratorio de "iones y átomos fríos". Trabajamos en "trampas de iones", un tema que está muy de moda en el mundo y donde hubo muchísimos avances tecnológicos, con usos múltiples.

Hoy en día se pueden atrapar y manipular átomos de a uno a la vez, ubicándolos en lugares predeterminados del espacio. En realidad lo que se hace es manipular iones. Hay distintos tipos de trampas pero las más fáciles son así: tomás cuatro electrodos (conductores eléctricos, imaginátelos como cables) y los ponés derechitos, de dos en dos. A un par de ellos los conectás al mismo potencial, por ejemplo pueden estar cargados positivamente, y a los otros dos al opuesto, con cargas negativas.

Un ion es un átomo al que vos le "arrancaste" un electrón (carga negativa) a través de diferentes mecanismos.

Ahora imaginate que viene un ion que está dando vueltas por ahí y cuando se acerca a esa zona, donde están los electrodos, va a sentir una fuerza que lo repele de los dos cables cargados positivamente, ya que el ion también está cargado positivamente porque es un átomo al que le arrancaste una carga negativa.

Pero si los otros dos electrodos están cargados negativamente, va a sentir una fuerza que lo atrae hacia arriba. En consecuencia, se va a enfrentar a dos fuerzas, una que lo empuja para un lado y otra que lo hace para el otro. Como tenemos dos cargas de diferente signo en los electrodos, lo que hacemos es alternar los potenciales, conectándolos a un variador de potencia. De modo que los que estaban en positivo pasan a estar negativos, y los que estaban negativos pasan a positivos, y así sucesivamente. Se genera una dirección inestable y otra estable, que van cambiando. Entonces, la carga que anda dando vueltas por ahí va a tender a quedarse atrapada sobre el eje de estos 4 electrodos. Colocás dos tapas metálicas cargadas positivamente y así evitas que se pueda ir. Lo que puede hacer un ion cargado, es quedarse alineado en el medio.

Una trampa de iones es eso, una cámara de vacío en donde no hay nada, salvo estos 4 cablecitos y los (cables) internos de control. Tirás átomos —mediante un spray—, los ionizás con un láser (les sacás un electrón) y quedan cargados. Espolvoreás de manera tal de garantizar que haya un cierto número de átomos dando vueltas por ahí. Los que caen cerca del medio se quedan ahí, atrapados.

Existen dispositivos para atrapar un ion único o muchos. El número de iones que es posible atrapar depende de cómo es la trampa. Y una vez atrapados, los podés ver. Los iluminás con luz y los iones absorben la luz, porque hacen una transición de un nivel electrónico a otro; están "cuantizados", como lo dijo Planck. La energía del electrón en el átomo puede tomar valores discretos. Entonces los iluminás con luz, el ion absorbe luz, vuelve a emitirla y lo que ves es la luz emitida, su fluorescencia. No lo ves directo con los ojos porque en realidad están en la radiación infrarroja, pero sí los podés ver con cámaras especiales.

−¿Podés cambiarles el orden, a estos átomos?

−Podés hacer casi cualquier cosa. Lo primero es enfriar los iones. Porque una vez que estos átomos quedaron atrapados ahí, no se pueden ir para ningún lado y se la pasan dando vueltas, tratando de escaparse. En las últimas décadas se desarrollaron técnicas de enfriamiento láser (iluminás a estos iones con una energía determinada). Recordemos que enfriar un objeto es quitarle energía al movimiento a sus partículas. Para lograr que ese ion se comporte como un objeto cuántico lo tenés que llevar a niveles de energía muy, muy bajos.

–¿En qué etapa están de la construcción de la computadora cuántica?

–Con esta trampa o jaula de iones se ha logrado, en alrededor de 50 laboratorios de todo el mundo, atrapar entre 15 y 20 átomos a la vez, en la misma trampa. Lo que se hace es almacenar información en cada uno de esos átomos, dispuestos como en una especie de ábaco. Cada átomo es como una pelotita, ubicada en un lugar, y ahí almacenas información.

–Entre 15 y 20 átomos a la vez, ¿es poco? ¿es mucho? ¿Cuántos se necesitan?

–En cualquier computadora o tu teléfono, la cantidad de información se mide en gigabits; un giga son mil millones. En un teléfono inteligente disponés de alrededor de 50 gigabits, es decir, que podés almacenar 50 mil millones de bits. Con esta tecnología podés poner un bit en cada átomo. Si tenés 15 átomos, son 15 bits. Pero resulta que una computadora hecha con bits cuánticos, con átomos, es intrínsecamente mucho más poderosa que una computadora ordinaria. Con 15 bits cuánticos podés hacer más que con 15 bits clásicos, pero ciertamente menos que con 50 gigabits.

–¿A qué número aspiran llegar?

–Para resolver problemas matemáticos que no se pueden resolver en ninguna computadora de las que existen hoy necesitarías una decena de miles de bits cuánticos. Por eso hoy hablamos sólo de prototipos; tengo 15 y necesito 15 mil. Pero ahora hay nuevas ideas de cómo atrapar átomos, no sólo en una dirección sino en varias; de cómo escalar o aumentar estas computadoras.

–Las trampas de iones ¿son el único camino para construir computadoras cuánticas?

–No. Hay otras que se basan en trabajar sobre un sustrato sólido, es decir, poner los bits cuánticos no en átomos individuales sino en pedacitos de material que se comportan como si fueran átomos artificiales, usando la tecnología de silicio que está desarrollada para la microelectrónica. Hay mucha esperanza en escalar esta tecnología, conocida como de los *qubits* superconductores. Grandes empresas están invirtiendo en esto cientos de millones de dólares. También hay sistemas híbridos, que usan ambas tecnologías.

–¿Quiénes serían los usuarios potenciales?

–Las computadoras cuánticas se usarían para resolver problemas que no pueden solucionarse hoy en las computadoras ordinarias. Son planteos de la Física y de la Ingeniería, de las ciencias naturales: modelados de grandes moléculas, nuevos fármacos, estructuras químicas, cálculos de propiedades de nuevos materiales, aplicaciones ingenieriles.

Pero también, hay otra clase de problemas, los de la Matemática, que podrían ser resueltos en computadoras cuánticas, como la factorización de números enteros. Encontrar los factores primos de un número muy grande es un problema que tiene mucha utilidad para la Criptografía, porque se demostró que si te doy un número muy grande, con una computadora cuántica vas a poder descubrir cuáles son los factores primos que lo componen. Esto es fácil de resolver en una computadora cuántica, pero muy difícil de hacerlo en una común. Eso se emplea en Criptografía. Ahí los interesados son quienes trabajan en protección de datos; o, de la vereda de enfrente, los que buscan romper las claves de otros.

–En tu libro "La física cuántica" (de editorial Siglo Veintiuno) vos decís que muchos físicos desearían que la Física cuántica se derrumbara y que incluso lo verían con alegría. ¿Es sólo una ironía?

–Creo que (derrumbarla) en verdad sería divertido. Sería una verdadera revolución científica. Y participar en ella, sería mucho más interesante que contribuir a la consolidación de una teoría que ya está establecida de antemano. La cuántica es una teoría que parece superexitosa pero que te deja con un sabor extraño en la boca. Porque pareciera que hay cosas que todavía no entendemos. Por ejemplo, tenés que acostumbrarte a que la imagen del mundo que vos te hacés desde que nacés, no funciona igual en el mundo microscópico. Si te tiro un objeto, sé que sigue un camino, una trayectoria, una secuencia de puntos; pero en el mundo microscópico no podés pensar de esa manera. Si tengo una fuente de electrones y un lugar donde son detectados, desde la fuente hasta el detector los electrones no siguen un camino. ¿Cómo funcionan? En realidad no son partículas, son ondas, son las dos cosas a la vez, lo que hace difícil armarse una imagen intuitiva de qué es. Uno lo que tiene que hacer es acostumbrarse a que las cosas no son compatibles con el sentido común, y aceptarlo. Lo mismo sucede con la idea de que las propiedades de los objetos no preexisten a tu observación, sino que el acto de observación es algo que afecta al objeto observado y da origen al resultado. O la rareza de los estados entrelazados de la materia, base de la teletransportación.

Pero te guste o no, te la tenés que comer, porque todos los resultados de los experimentos son predichos con una precisión asombrosa por la Física cuántica. Ahora, si en los experimentos empezaras a detectar violaciones a las predicciones de la Física cuántica, sería realmente interesante. Abriría la puerta a descubrir algo más fundamental, y creo que sí, que la enorme mayoría de los físicos estaríamos muy contentos.

–¿Sería un poco lo que le pasó a Max Planck?

–Sí. Absolutamente.

Claudia Mazzeo (Argentina)

Ilustración: Alberto Parra del Riego

No hay mal que por bien no venga

La medición de nutrientes permite identificar alimentos seguros para quienes tienen intolerancia al gluten. Por eso los celíacos comen más granos andinos, como la quinua o quinoa.

A sus 13 años, Ariel Armaza Echazú lleva una vida normal, mide 1,80 m y practica salto alto. Pero cuando tenía poco más de 2 años sus dientes estaban en mal estado, sufría intensos dolores de estómago, se le entumecían las piernas y sentía que estaba muriendo. Su madre debía llevarlo donde el pediatra un día sí y otro también. Cuando finalmente se le diagnosticó la enfermedad que sufría y se indicó el tratamiento que debía seguir, los dolores cesaron en cinco días y recuperó la energía. Ariel es celíaco y por esto debe evitar ingerir, de por vida, todos los alimentos que contengan gluten.

El gluten está presente en varios cereales que se utilizan en la preparación de alimentos: trigo, avena, centeno y cebada son los principales. Es una proteína que, como su nombre lo indica, aglutina (une) las moléculas de agua y atrapa los gases cuando la masa madura. Los familiarizados con la enfermedad celíaca se refieren a estos cuatro cereales como TACC, por sus iniciales, y saben bien que deben evitarlos. Para ellos, basta ingerir una miga de pan para que se desencadene la respuesta de su sistema inmunológico, que a la vez daña la mucosa del intestino y provoca los dolores. Usar el mismo cuchillo para cortar pan y un producto libre de gluten puede causar la contaminación cruzada y en organismos como el de Ariel, puede conducir al borde de un "tacc de pánico" y desencadenar los síntomas.

¿Qué daño puede ocasionar el gluten?

Si bien fue Samuel Gee quien le dio el nombre de enfermedad celíaca en 1888, lo que hoy se sabe de la enfermedad es el resultado de la contribución de varios investigadores a lo largo de los siglos. La enfermedad ya se conocía durante el Imperio romano: en el siglo II, el médico Areteo de Capadocia notó desnutrición y diarreas en quienes comían trigo. En 1944, durante una hambruna en Holanda, el médico William Karel Dicke se percató que, cuando los niños con diarrea y dolores intestinales comían menos pan, los síntomas desaparecían. Karel fue el primero en el mundo en desarrollar una dieta libre de gluten. Luego, las biopsias que se hicieron en Inglaterra en 1955 permitieron descubrir lo que ocurre a nivel del intestino delgado enfermo.

En la parte interna de un intestino sano hay miles de vellosidades, como las de una toalla, que ayudan a absorber los nutrientes. Con la enfermedad celíaca estas pelusitas o vellosidades se pierden y el interior del intestino se vuelve liso, por lo tanto, incapaz de absorber nutrientes. Cuando un intestino se daña y no absorbe calcio, surgen problemas en la dentadura y retraso en el crecimiento de huesos, entre otros.

Fotos granos: © Oksana_S - Fotolia. com
Ilustración burbujas: © Maria Vazquez - Fotolia. com

Foto cedida por IBMETRO

Un estudio de la misma organización realizado en 2009 comparó el contenido de calcio, magnesio y zinc de la quinua con el de otros cereales y concluyó que tiene cuatro veces más calcio que el maíz y tres veces más que el arroz.

En el año 2010 se detectó lo que los investigadores de mercado llaman una "supertendencia" en el consumo de la quinua. El Centro de Desarrollo Culinario, que funciona en California y se dedica a identificar tendencias de consumo en Estados Unidos, colocó a la quinua en el nivel 4 de su escala (donde 5 indica el consumo masivo). En Europa, por su parte, cada vez más fabricantes de alimentos colocan una etiqueta que aclara "Con quinua" cuando está presente en sus mezclas. El aumento en el consumo de quinua ha sido tan notorio que ha impactado en su precio, según explica Amelia Galarza, comerciante de este producto. En su mejor momento, por un kilogramo de quinua llegó a pagarse hasta 60 bolivianos (casi diez dólares), mientras que a mediados de los años 80 el costo del kilogramo no superaba medio dólar.

Una vez identificada la proteína que daña el intestino, los laboratorios comenzaron a identificar los componentes que podían solucionar el padecimiento del 1 % de la población mundial que padece la enfermedad celíaca.

¿Cómo se asegura Ariel que, sin comer trigo, avena, centeno y cebada, tendrá todos los nutrientes que precisa para crecer fuerte y sano? La medición de nutrientes presentes en otros granos es fundamental para que quienes que sufren esta enfermedad puedan sustituir en su dieta aquellos que les producen padecimientos. El trabajo que se realiza en los laboratorios de Institutos Nacionales de Metrología, como el Instituto Boliviano de Metrología (IBMETRO), permite conocer esos nutrientes.

Una "supertendencia": el alimento de los incas

Según la FAO (sigla de la organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura), las personas tienen que ingerir 1300 miligramos de calcio por día. Uno de los alimentos que últimamente ha llamado la atención en la comunidad internacional por su aporte de calcio es la quinua o quinoa, un grano que se consume como un cereal (por eso es considerada un pseudocereal). Cien gramos de quinua comestible proveen 104 miligramos de calcio.

Con ayuda de la luz y un danés

Mabel Delgado, Supervisora de la Unidad de Metrología Química de IBMETRO, menciona que el Inca Garcilaso de la Vega ya atribuía la buena salud de la población del Imperio incaico al consumo de la quinua y del amaranto o kiwicha (nombre con el que se le conoce también, de origen quechua). Para determinar cada parámetro que define la calidad nutricional de los cereales andinos —entre ellos la quinua— y hacer mediciones con exactitud, se realizan ensayos aplicando métodos específicos y equipamientos especiales. Estas actividades son parte de su trabajo en IBMETRO.

Para saber cuánto calcio hay en un grano de quinua, Mabel aplica un método conocido como espectrofotometría de absorción atómica. El principio en el que se basa es que un determinado átomo solamente puede absorber la luz (energía) de ciertas longitudes de ondas luminosas (las correspondientes a las diferencias entre los niveles energéticos de sus electrones). Utilizando un equipo que se llama espectrofotómetro, se ilumina una muestra de granos y los átomos de calcio absorben aquella luz con las longitudes de onda características. Por lo tanto, dependiendo de la cantidad de calcio en la muestra, variarán las intensidades de la luz absorbida. Mientras más calcio contenga un grano, mayor será la energía que absorba. Un detector dentro del instrumento capta esa diferencia y la indica.

A partir de los datos que entrega el espectrofotómetro, se realiza un cálculo (aplicando la ley de Lambert y Beer) que permite conocer la cantidad de sustancia.

También es importante saber cuánta proteína tiene cada alimento. Las proteínas están compuestas por nitrógeno, carbono, hidrógeno y oxígeno. Tienen zinc, hierro y fósforo. Ingerir proteínas de buena calidad es esencial, porque contribuyen a la formación de los músculos y en el caso de Ariel, que practica el salto alto, conocer este dato es fundamental para programar su dieta.

Uno de los métodos que se utilizan para conocer cuántas proteínas tiene un alimento, fue creado por un gran danés (o, mejor dicho, por un gran químico danés) cuyo apellido se pronuncia kieldal, pero se escribe Kjeldahl. Su método, que presentó por primera vez en 1883, se basa en medir la cantidad de nitrógeno del alimento y en base a él, calcular la cantidad de proteína. Mabel lo aplica para analizar el contenido de proteínas que tiene la quinua.

"Es difícil determinar exactamente las proteínas —explica Mabel— porque son complejas y están de maneras diversas en las muestras de quinua. Lo que se hace en el mundo entero es determinar el nitrógeno y se aplica un factor, establecido para cada grupo de alimentos, para convertir el resultado en la cantidad de proteínas". Por ejemplo, para los cereales el factor es 6,25[1]; quiere decir que, si la cantidad de nitrógeno en la muestra es 2 g, la cantidad de proteínas será 12,5 g.

El método de Kjeldahl

1. La digestión: Para medir la cantidad de proteínas de un alimento, lo primero que se requiere es hacer visible el nitrógeno que contiene la muestra, convirtiéndolo en sales de amonio (con ayuda de ácido sulfúrico). Una vez que se obtienen sales de amonio, se les añade hidróxido de sodio para obtener amoníaco.

2. La destilación: El amoníaco que se ve en el tubo digestor como un líquido traslúcido, limpio, se destila y se recibe en ácido bórico.

3. Para determinar cuánto nitrógeno hay, se utiliza otro ayudante: el ácido clorhídrico. En ese momento, cada mol de ácido clorhídrico reacciona con un mol de nitrógeno.

4. Una vez obtenida la cantidad de nitrógeno, se multiplica por un factor establecido para cada grupo de alimentos y de este modo se sabe la cantidad de proteína que hay en la muestra.

Foto cedidas por IBMETRO

En ambos casos, tanto al analizar cuánto calcio o cuánto nitrógeno tiene un alimento, lo que Mabel contabiliza son moles. Mol es el término que el Sistema Internacional de Unidades (SI) ha establecido para designar a la unidad de cantidad de sustancia, una de las 7 magnitudes básicas. Su símbolo es mol.

Un mol y los ceros de Avogadro

El mol y la docena son nombres de cantidades. Sabemos que una docena representa, por ejemplo doce casas, doce naranjas, doce átomos, doce moléculas. El mol es un número tan grande que contiene muchos ceros. En notación científica, el valor numérico aproximado de un mol es $6{,}02 \times 10^{23}$ (seis coma cero dos elevado a la potencia ventitrés). En notación extensa se escribe 602 000 000 000 000 000 000.

Se trata de cientos de miles de trillones de entidades elementales (pueden ser átomos, moléculas u otras partículas). Si nos dieran un mol de pelotas de básquet, podríamos formar otro planeta Tierra solo de pelotas.

Un mol de cualquier sustancia siempre tendrá la misma cantidad de entidades elementales (pueden ser átomos, moléculas u otras partículas); o sea, la cantidad de entidades es siempre constante. Esta cantidad constante corresponde a un número denominado constante de Avogadro, en honor al científico Amedeo Avogadro, que vivió —y dicen que se enamoró varias veces— en Italia, entre 1776 y 1856.

[1] Se asume para la quinua el factor proteico de 6,25 por la similitud que tiene esta semilla con los cereales identificados en la norma ISO 20483:2013.

Avogadro postuló que volúmenes iguales de gases diferentes, con la misma presión y la misma temperatura, tienen el mismo número de moléculas. Muchos años después, otros científicos calcularon el número de partículas en un gas cualquiera, y fue el francés Jean Perrin quien propuso que ese número sea nombrado en honor a Avogadro, su colega italiano.

Desde 1971 se definió un mol como la cantidad de sustancia que contiene tantas unidades elementales como átomos de carbono hay en 12 gramos de carbono 12, pero se ha aprobado una nueva definición, que entrará en vigor en el año 2019.

En la nueva definición, se asigna a la constante de Avogadro un valor exacto de $6{,}022\ 140\ 76 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$.

¿Y cómo contamos esta cantidad de entidades, para saber cuántos moles hay en una determinada sustancia? Pues, una forma es a partir de la relación entre el mol y otra magnitud más fácil de medir: la masa. Durante los ensayos, aunque lo que se determina es la masa de calcio y nitrógeno, se puede conocer la cantidad de sustancia, o sea los moles, dividiendo este resultado entre su masa molar.

Si bien el mol se relaciona con la masa por la facilidad práctica, no se debe confundir con ésta. Al final debemos entender que, mientras el valor de la cantidad de átomos en un mol de cualquier sustancia es la misma, el valor de la masa de un mol varía según de qué sustancia se trate.

	Cantidad de átomos	Masa (aproximada)
1 mol de nitrógeno	$6{,}02 \times 10^{23}$ átomos de nitrógeno	14,00 gramos
1 mol de calcio	$6{,}02 \times 10^{23}$ átomos de calcio	40,01 gramos
1 mol de hierro	$6{,}02 \times 10^{23}$ átomos de hierro	55,85 gramos

Los análisis de laboratorio que se realizan en los Institutos de Metrología como IBMETRO, son útiles y contribuyen a mejorar la calidad de vida de la población, al ofrecer datos sobre la cantidad de nutrientes o proteínas que contienen determinados alimentos. Dentro de los servicios que ofrecen, se destaca la producción de materiales de referencia. Estos materiales son usados por los laboratorios de control de calidad, para generar la información precisa que luego se incluirá en la etiqueta sobre la composición nutricional de los alimentos.

En los casos de personas que, como Ariel, sufren de la enfermedad celíaca, conocer estos datos es fundamental para armar dietas equilibradas y dar, ellos también, un salto alto sobre su enfermedad.

Javier Méndez Vedia / Mabel Delgado (Bolivia)

Foto granos de café: © M. Pavlenko - Fotolia. com
Foto stampilla: © Silvio - Fotolia. com

Secretos de una taza de café.

Una taza de buen café guarda muchos secretos, siendo la temperatura uno de ellos.

En El Salvador, los jóvenes tienen por costumbre reunirse a tomar café para pasar un buen rato entre amigos. La bebida, de agradable sabor y exquisito aroma, tiene un origen antiguo (en la actual Etiopía) y llegó a las Américas en el siglo XVIII, donde se popularizó y se transformó en la favorita en varios países.

El café se prepara a partir de las semillas (granos) del cafeto, un arbusto que crece en zonas húmedas y entre los 600 metros y 1200 metros de altura. Sus frutos son carnosos, rojos o violáceos, y sus granos son color verde. El cafeto es uno de los productos vegetales más importantes del comercio internacional global. Según datos publicados por la Organización Internacional de Café[1], en 2017 la producción mundial de café alcanzó una cifra cercana a las 550 000 toneladas (9 205 460 sacos, de 60 kg cada uno). Brasil es el mayor productor y exportador de café.

Las especies de cafeto que se cultivan y comercializan mundialmente son la *Arábica* (que produce un café fino y aromático) y la *Robusta* (de menor calidad y precio, mayormente usada para fabricar café soluble o instantáneo). Los países productores cultivan diferentes variedades, en función de las características geográficas, climáticas y como producto de hibridaciones naturales o producidas a partir de investigaciones.

En El Salvador se cultiva café desde hace más de 200 años, siendo un pilar económico y también ecológico. Según datos aportados por el Consejo Salvadoreño del Café (CSC), el cultivo se introdujo en 1796 y desde entonces diferentes gobiernos en distintas épocas han tomado medidas para impulsar el desarrollo de la industria en el país. En la década de los años 50 se creó el Instituto Salvadoreño de Investigación del Café (ISIC), desde donde se encaminaron actividades de investigación e innovación que contribuyeron a mejorar la productividad y a la creación de nuevas variedades. El resultado fue que en los años 70 el país se convirtió en el quinto productor mundial.

Sin embargo, el nivel de producción ha descendido a niveles alarmantes en los últimos años, como consecuencia de varios factores (entre ellos la roya, una enfermedad que afecta a las plantas y disminuye la cosecha) por lo cual a partir del año 2014 se inició un nuevo impulso para reactivar la caficultura nacional y para concientizar a la población sobre la importancia del café para el país y su consumo.

Actualmente la producción se distribuye en 6 áreas cafetaleras y según datos de fines de 2017 las plantaciones están en manos de 22 390 productores (de los cuales el 35 % son mujeres) siendo la gran mayoría áreas pequeñas (de menos de 5 manzanas, equivalente a 3,5 hectáreas). Se cultivan 8 variedades diferentes de café. La principal variedad es la *Tekisic*, que ocupa un 50 % del área total dedicada al cultivo; su nombre se compone de vocablos derivados de tekiti (que en la lengua náhuat significa trabajo) e isic, por la sigla del instituto de investigaciones. Otras variedades en El Salvador son *Pacas, Pacamara, Catuai rojo, Cuzcatleco, Híbrido F-1, Icatú* y *Catisic.*

Cuestión de gustos… y de escalas

Al igual que el vino, las variedades de café se catan y evalúan. Las cualidades que se consideran son cinco: fragancia (aroma), cuerpo, sabor, acidez y resabio (*aftertaste*), y juntas componen lo que se conoce como perfil de taza (ver Figura 1).

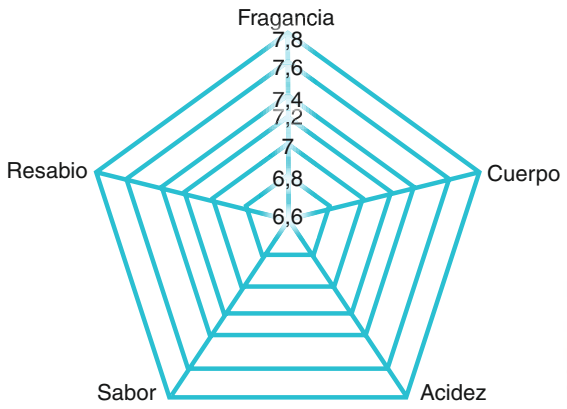


Figura 1. Representación gráfica del perfil de taza (adaptada de Perfiles de Taza - *http://www.csc.gob.sv/perfiles-de-taza/*).

[1] *http://www.ico.org/documents/cy2017-18/cmr-1217-c.pdf*

La variedad *Pacamara*, por ejemplo, se presenta como un café con *"impresionante aroma con nota de chocolate floral y miel; bastante cuerpo; excelente acidez muy fina y con brillantez; sabor de chocolate dulce, complejo; dulce (miel) y notas a canela; atributo de sabor a Jazmín y melocotón"*[2]. Esta variedad es el resultado de investigaciones y cruzamientos genéticos. Por su alta calidad y rendimiento su valor económico aumenta cada vez más y es un caso de éxito de innovación.

Los granos del cafeto se tuestan y posteriormente se muelen hasta obtener un polvo que será más fino o más grueso según las preferencias del consumidor y de las marcas que lo ofrecen. La bebida se prepara haciendo pasar agua hirviendo sobre el polvillo y se filtra, proceso que se puede hacer manualmente, por simple gravedad, o utilizando diferentes tipos de cafeteras. O por presión, como las que usamos para preparar café expreso.

La temperatura es un componente fundamental en el proceso que se sigue desde que se recolectan los granos hasta que se obtiene una taza de café. Durante el tostado de los granos, por ejemplo, al someterlos al calor, se producen cambios físicos y químicos. Cada grano de cafeto está compuesto por más de 1000 sustancias químicas diferentes incluyendo, entre otras, cafeína, azúcares, aminoácidos y más de 850 sustancias volátiles, que contribuyen al aroma y al sabor. El cambio de color de los granos, de verde a amarillo y luego a marrón, es producto de una reacción química —la reacción de Maillard, la misma que transforma el color de la carne al asarla—. Según las variedades, la temperatura y la duración del proceso de tostado la concentración de estos componentes podrá variar y afectar las cualidades finales del producto, lo que las convierte en secretos bien guardados por quienes producen café tostado para comercializar.

Los fanáticos bebedores de café y los expertos mencionan también otros secretos a tener en cuenta para lograr un mejor sabor y mayor aroma al preparar una taza de café, siendo la temperatura del agua con la que se prepara y a la que se bebe uno de ellos. Pero mientras algunos afirman que no es conveniente preparar el café con agua hirviendo (porque se malogra su sabor) la mayoría de las cafeteras basan su sistema en la ebullición del agua para iniciar el "percolado".

Cuando se requieren mediciones de temperatura se utilizan termómetros, los cuales se basan en escalas para proveer datos. En actividades de la vida cotidiana, en la mayoría de los países de Latinoamérica y en muchos del Caribe, se utilizan termómetros basados en la escala Celsius, en la cual la unidad de medida es el grado Celsius y su símbolo es °C. Es la que se utiliza para medir la temperatura corporal, la temperatura ambiente, las temperaturas de cocción o enfriamiento de alimentos y la de varios aparatos electrodomésticos; entre ellos, las cafeteras.

[2] *http://www.csc.gob.sv/variedades/.*

En general, cuando decimos que nuestro café está demasiado caliente no nos referimos a un dato obtenido con un termómetro, sino que nos basamos en un método que puede ser práctico, pero que no es preciso: utilizamos nuestro tacto (tocamos la taza con la mano, o la llevamos a los labios), por lo que en realidad nos estamos refiriendo a un aspecto cualitativo.

Si utilizáramos termómetros basados en la escala Celsius podríamos constatar que cuando el café sale de una cafetera expreso, de las que encontramos en bares, su temperatura puede llegar a 75 °C (a la cual es imposible beberlo sin causarnos heridas y quemaduras en nuestra boca y esófago), y que la temperatura a la que usualmente preferimos beber el café se ubica entre los 55 °C y los 58 °C.

La escala Celsius fue creada en 1742 por el físico sueco Anders Celsius. Para definirla asignó valores a dos estados del agua pura, trabajando a 1 atmósfera de presión: fijó el valor 0 para la temperatura en la cual el agua se convierte en hielo (temperatura de congelación), y el valor 100 para la temperatura en la cual el agua hierve (temperatura de ebullición). Para definir la unidad de su escala dividió el tramo entre ambas temperaturas en partes iguales, correspondiendo a cada centésima parte un grado. A partir de su creación es que afirmamos que el agua hierve a 100 °C y que se congela a 0 °C.

Sin embargo, a nivel científico se utiliza otra escala, creada en 1848 por el físico y matemático, William Thompson, también conocido como Lord Kelvin, por lo cual a su escala se le conoce como escala Kelvin. Para crearla se basó en la escala Celsius y en sus estudios en el campo de la Termodinámica, que es la rama de la Física en la que se estudian las relaciones de las distintas formas de energía de los cuerpos o sistemas.

Energías de moléculas

A nivel microscópico, un cuerpo o sistema está compuesto por moléculas que se mueven permanentemente (pueden vibrar, girar, trasladarse y rotar) con movimientos azarosos, desordenados. Su energía térmica es proporcional a la energía cinética media resultante de esos movimientos moleculares; incrementa o disminuye por transferencia de energía (generalmente bajo la forma de calor o trabajo). Por lo tanto, cuanto más caliente esté el agua que utilizamos al preparar nuestro café, mayor es la velocidad media con la que se mueven sus moléculas desordenadamente.

Para su escala, Lord Kelvin propuso que el 0 fuera fijado en el punto en que un cuerpo (o sistema) tenga el mínimo de energía térmica, al cual llamó cero absoluto. A nivel macroscópico, ningún sistema puede presentar temperaturas menores a cero, y es el motivo por el cual su escala no presenta valores menores a cero o negativos. En actividades científicas, cuando medimos la temperatura de un cuerpo o sistema utilizando la escala Kelvin, lo que obtenemos es el dato de su temperatura absoluta.

En el Sistema Internacional de Unidades (SI) la temperatura termodinámica es una de las siete magnitudes fundamentales y su unidad es el kelvin (cuyo símbolo es K), nombre adoptado en 1954 en honor al científico.

¿Qué se tomó de referencia para definir el kelvin como unidad de temperatura del SI? Nuevamente parámetros relacionados al agua, pero ahora ya no su punto de ebullición y de congelación como hizo Celsius, sino el llamado punto triple del agua.

Aunque pueda resultar llamativo, bajo determinadas condiciones de presión y temperatura, es posible encontrar al mismo tiempo, en estado de equilibrio, los tres estados de las sustancias (sólido, liquido y gaseoso). En el caso del agua, en el punto triple coexisten su estado sólido (hielo), el líquido y el gaseoso (vapor) y se obtiene a 273,16 kelvin exactamente y a una presión de 611,73 Pa. El kelvin se define actualmente como una fracción de 1/273,16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua[3].

El cero absoluto de la escala Kelvin equivale a −273,15 °C.

Para asegurar que los resultados de mediciones obtenidas con termómetros son correctos y confiables, estos necesitan ser calibrados. Las calibraciones de mayor exactitud son parte del trabajo especializado de los Institutos Nacionales de Metrología y requieren utilizar otra escala, la EIT-90 (Escala Internacional de Temperaturas, adoptada a partir de 1990) o ITS 90, por sus siglas en inglés.

Sin embargo, existe un problema. El agua que se utiliza para obtener su punto triple, presenta pequeñas variaciones de naturaleza de elementos químicos en su composición (características isotópicas), lo que genera diferencias en las mediciones o en los resultados que se obtienen en laboratorios ubicados en diferentes lugares. Es por eso que se ha decidido que el kelvin se defina de otra forma, para evitar el efecto de las variaciones propias de las características del agua. A partir del año 2019 el kelvin se definirá mediante una constante fundamental: la constante de Boltzmann (k).

La constante de Boltzmann expresa la relación que existe entre la temperatura de un sistema (expresada en kelvin) y la energía cinética media de sus moléculas (expresada en joules, la unidad de energía). El kelvin se definirá fijando el valor numérico exacto de la constante en $1{,}380\ 649 \times 10^{-23}$ J K^{-1}.

$$k = 1{,}380\ 649 \times 10^{-23}\ \text{J K}^{-1}.$$

A corto plazo tendrá impacto en la medición de temperaturas extremas, por ejemplo, aquellas debajo de los 20 K y por encima de los 1000 °C, pero no afectará las calibraciones hechas con base en el estándar EIT-90. A largo plazo, las consecuencias del cambio en la definición del kelvin pueden resultar en que los métodos de medición evolucionen y se logren errores de medición menores, pudiendo ser prácticos para el uso cotidiano y para reemplazar gradualmente la EIT-90 como base para las mediciones de temperatura.

No obstante, por ahora, para tomar un buen café seguiremos basándonos en nuestros sentidos y en los grados Celsius, mientras que los científicos continuarán sus mediciones de temperatura aplicando la nueva definición del kelvin, en términos de la constante de Boltzmann.

Fernando Aguilar (El Salvador).

Método de calibración de temperatura midiendo con un termómetro de resistencia de platino de 100 ohms como patrón. Lo que se está calibrando es un termómetro de columna de líquido (abajo en baño de silicón) en el Centro de Investigaciones de Metrología de El Salvador.

Celda del punto triple del agua del Centro de Investigaciones de Metrología de El Salvador.

Fotos cedidas por CIM.

[3] *La magnitud de temperatura y su metrología.* Ciro Alberto Sánchez Morales. Instituto Nacional de Metrología de Colombia. *http://www.inm.gov.co/images/Docs/2016/LaMagnitud-temperatura.pdf*

La constante más iluminada en la liturgia del rock

En los recitales, cuando los artistas interpretan una canción lenta, el público suele acompañar el espectáculo levantando en sus manos una luz que reproduce un firmamento que emociona. Y en ese rito hay una constante.

Cuenta la leyenda que en una lluviosa noche de 1969 la artista Melanie Anne Safka-Schekeryk estaba tocando durante el famoso festival de rock *Woodstock* cuando, al levantar la mirada, se encontró con la imagen de miles de velas encendidas por los espectadores que iluminaban el campo y que esto la inspiró para componer la canción *Candles in the Rain* (*Velas en la lluvia*[1]).

Si bien no se conoce con certeza el origen de la costumbre de los fans de acompañar ciertas canciones de sus ídolos encendiendo una luz, es un rito que ha perdurado en el tiempo, aunque variando la fuente de luz que utilizan. Durante algunos años las velas fueron sustituidas por encendedores y actualmente el rito se mantiene utilizando los teléfonos celulares. Mientras unos prefieren la luz de la pantalla, otros encienden el flash e incluso algunos emplean una *app* que puede recrear el titilar de una vela.

La tecnología ha ido variando, pero la emoción que provoca el rito no. Música, emoción y luz es una mezcla mágica que deja su huella.

En Argentina, la historia de encendedores que brillaron junto al rock nos lleva al estadio de *River Plate*, en Buenos Aires, la noche en que la banda *Soda Stereo* realizó su concierto de despedida en 1997, ante 60 000 fans. Al iniciarse el espectáculo las luces del estadio se apagaron por completo y se proyectó un videoclip de una canción antológica: *Ecos*. La emoción invadió el estadio casi con la misma velocidad que se encendieron los encendedores, y la imagen que se produjo permanece imborrable para muchos. Al punto que hoy, a 21 años de aquel instante, sus seguidores lo atesoran como uno de los hitos que los mantendrá unidos a *Soda Stereo* para siempre.

[1] Traducción de los autores

¿Qué es, en realidad, la luz?

La luz, al igual que las ondas de radio, los rayos X y los rayos gamma, es una forma de energía electromagnética que se propaga a través del aire u otros medios. Se percibe, por ejemplo, en términos de radiación solar, cuando el Sol calienta una superficie o el agua, o nuestro propio cuerpo.

Pero atención: no toda la radiación emitida por una fuente y que llega al ojo produce sensación luminosa, ni toda la energía eléctrica que consume una bombilla se convierte en luz.

El ojo humano se estimula únicamente con un pequeño rango de radiaciones que se corresponden con los colores que van desde el rojo hasta el violeta, como en un arcoíris. La mayor sensibilidad se obtiene con los colores amarillo y verde, por eso son los elegidos en los carteles viales. Otros rangos de radiaciones, como la luz infrarroja o la ultravioleta, no son percibidos por el ojo humano.

Por lo tanto, la luz es la radiación electromagnética capaz de estimular al ojo humano, y se estudia en dos áreas de la ciencia: la Radiometría y la Fotometría. La primera estudia a la luz como una radiación, mientras que la segunda considera al ojo humano como el receptor.

Supongamos que tenemos una lámpara incandescente de 60 W y otra de 100 W. Por experiencia, sabemos que la de 100 W dará una luz más intensa que la otra. No obstante, cuando hablamos de 60 W o 100 W nos referimos sólo a la potencia consumida por la bombilla, y de la cual solo una parte se convierte en luz visible. Esta radiación visible se conoce como flujo luminoso y la unidad que se utiliza para referirse a ella es el lumen. La medición de flujo luminoso nos da una idea de la cantidad de luz que emite una fuente de luz, por ejemplo una bombilla, en todas las direcciones del espacio.

Ahora bien, mientras muchas fuentes de luz iluminan en todas direcciones otras lo hacen sólo en una dirección puntual (pensá, por ejemplo, en una linterna o en un proyector). Si se quiere saber cómo se distribuye el flujo en cada dirección del espacio se calcula otra magnitud, llamada intensidad luminosa. El nombre de la unidad de la intensidad luminosa es candela (porque en sus inicios se definió en función de la intensidad luminosa generada por una vela fabricada con sebo de ballena) y su símbolo es cd.

Pero la ciencia ha avanzado mucho y hoy la unidad candela se define en otros términos: la candela es la intensidad luminosa en una dirección dada tal que el valor del flujo luminoso de una fuente de radiación monocromática de una determinada frecuencia (un único y dado color que corresponde a la frecuencia 540×10^{12} hertz) sea exactamente 683 lm/W. Esto significa que 1 W de potencia de esa radiación corresponde a 683 lm. (No confundir esta potencia con la potencia eléctrica consumida).

"Ese valor es una constante que se fijó por convención para mantener la consistencia con definiciones previas de la candela", explicó el jefe del Laboratorio de Radiometría y Fotometría del INTI, ingeniero Alberto Zinzallari. En esa constante se basan todas las mediciones de fotometría, se denomina eficacia luminosa y se simboliza como K_{cd}.

Banco de trabajo (llamado esfera integradora) para medir la cantidad de luz que generan las lámparas. Foto cedida por INTI.

Volviendo al recital de despedida de *Soda Stereo*, es imposible estimar cuántas lágrimas corrieron por las mejillas de aquellos fans que despedían a sus ídolos. Pero sí es posible estimar la cantidad de luz que generó aquella multitud. ¿Te animás?

Asumiendo que cada participante prendió un encendedor con una llama similar a la de una vela, podemos suponer que cada uno generó 1 cd, y como sabemos que asistieron 60 000 espectadores, entonces podemos estimar que la multitud generó 60 000 cd.

Además, se puede considerar que las personas estaban muy cerca unas de las otras y suponer que entonces la luz se dispersó en media esfera, por lo cual la cantidad de luz generada es 60 000 cd multiplicado por el ángulo sólido de la media esfera ($2 \cdot \pi$) dando como resultado 377 000 lúmenes. Es decir, ese gesto de despedida a sus ídolos produjo una cantidad de luz equivalente a casi 500 lámparas incandescentes de 60 W, asumiendo que cada lámpara produce 800 lm.

De los encendedores al celular

La mitología del rock se escribe continuamente y la historia nos traslada a una noche cubana de 2016. En esa ocasión, los *Rolling Stones* se presentaron ante más de 1 millón de espectadores, pero los encendedores ya no estaban; habían sido reemplazados por celulares, que generan mayor intensidad luminosa.

Para este caso, si queremos continuar con nuestros cálculos, podemos suponer que cada persona encendió un celular cuya intensidad luminosa era 20 cd, por lo que durante el rito, generaron 126 millones de lúmenes; el equivalente a 157 000 lámparas de 60 W. Como ves, la cantidad equivalente de lámparas incandescentes de 60 W se incrementó de manera notoria, no solo por el aumento de la cantidad de espectadores sino también porque un celular produce una intensidad luminosa 20 veces mayor a la de un encendedor.

En la actualidad existe una gran variedad de fuentes de luz y su tecnología avanza continuamente, lo que es posible a raíz de las mejoras en las ciencias de Radiometría y Fotometría. En el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de Argentina se logra determinar la potencia transmitida por una fuente de luz con gran exactitud utilizando un sistema conocido como

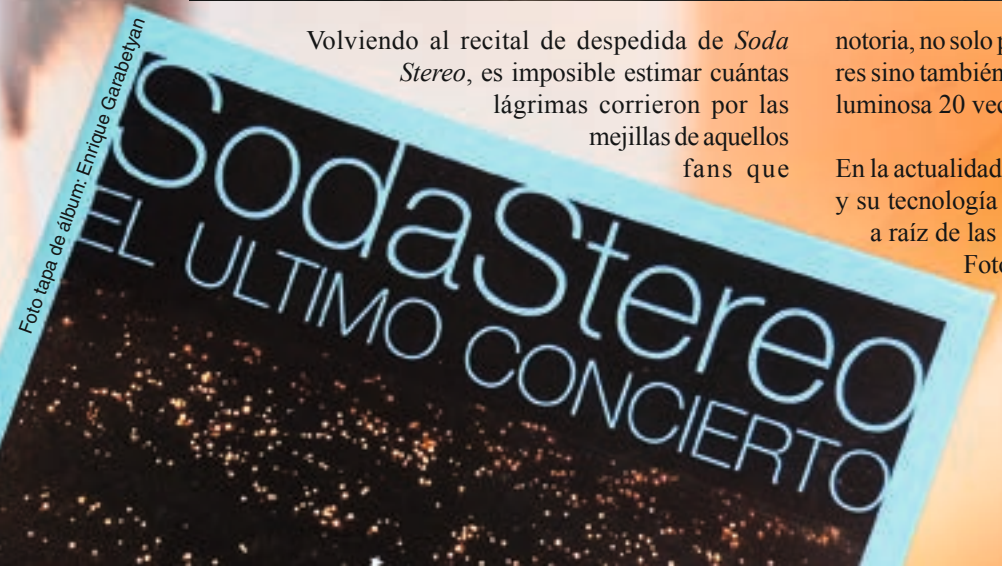


Foto tapa de álbum: Enrique Garabetyan

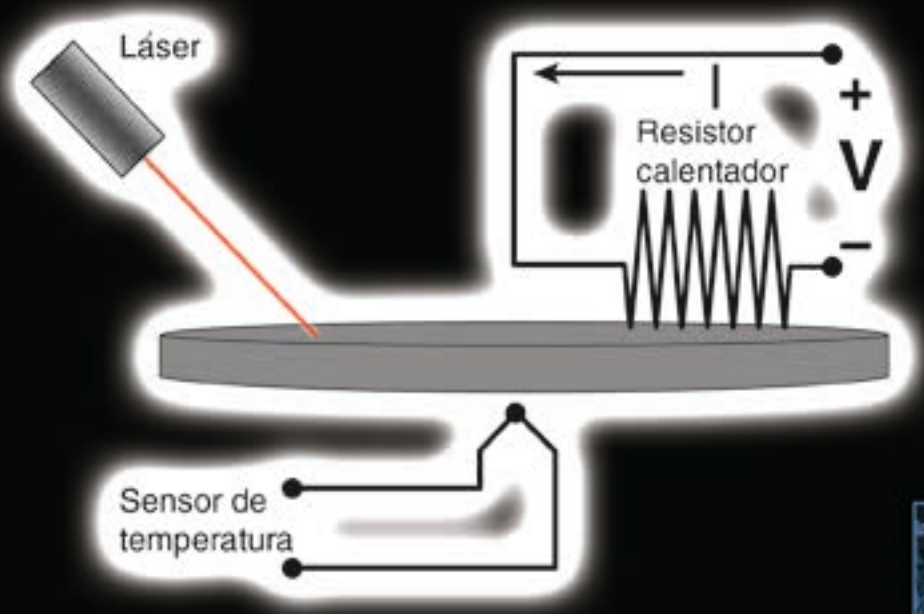


Diagrama simplificado de un radiómetro utilizado para determinar la potencia de radiación de un láser. El láser y el resistor calientan la superficie consecutivamente, mientras un sensor mide la temperatura en cada caso. Para igualar las lecturas del sensor, se ajusta la potencia eléctrica.
Ilustración: Alberto Parra del Riego.
Idea: Marcos Bierzychudek.

radiómetro criogénico. Con este sistema se inicia la cadena de trazabilidad para equipos fotométricos que miden la luz que emiten distintas fuentes, como los carteles luminosos que se encuentran en pleno centro de Buenos Aires, en la avenida 9 de Julio, una de las avenidas más anchas del mundo.

"Un radiómetro compara la energía irradiada que incide en un material con la energía eléctrica requerida para calentar ese material a la misma temperatura", explica Zinzallari.

Las tecnologías y las técnicas para lograr la trazabilidad de las mediciones fotométricas han evolucionado, desde una vela hasta un radiómetro criogénico (en el cual las mediciones son hechas a temperaturas muy bajas), buscando siempre la mejor exactitud, la que hoy podemos alcanzar gracias a la constante de eficacia luminosa, K_{cd}.

Marcos Bierzychudek /
Claudia Mazzeo (Argentina)

Utilización de láser rojo y azul para las calibraciones de detectores fotométricos con un radiómetro criogénico.
Foto cedida por INTI.

Compra complicada

Hoy en día comprar una lámpara es cosa seria.

Primero se debe decidir el tipo: halógenas, LED, fluorescentes o incandescentes.

Luego, debemos elegir su forma: compacta, bulbo, bipin.

Frente al mostrador, encontramos que están separadas en frías o calientes. En las frías la luz es azulada; en las calientes la luz es amarillenta.

El bolsillo hace lo suyo y pensamos en el consumo eléctrico.

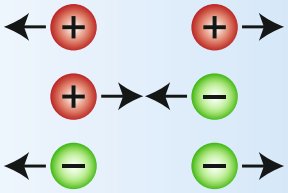
Elegimos una y nos preguntamos ¿cuánto ilumina?

Cada fabricante debe informar la cantidad de luz que genera la lámpara y en muchos países ya lo hacen utilizando la unidad lumen. En otros, para que los usuarios reciban la información en una magnitud que les resulte más familiar, también especifican la potencia de una lámpara incandescente que genera una cantidad de luz similar.

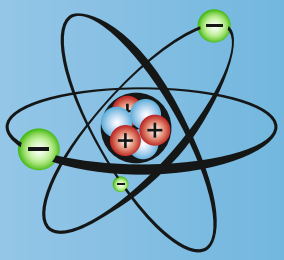
Foto bombilla: © thomasp24 - Fotolia. com

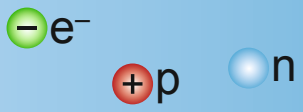
La carga elemental (e)

Las partículas cargadas eléctricamente pueden ejercer fuerzas de atracción o repulsión.



Los átomos están compuestos por protones (carga positiva), neutrones (carga neutra) y electrones (carga negativa). Los protones y neutrones componen el núcleo del átomo.

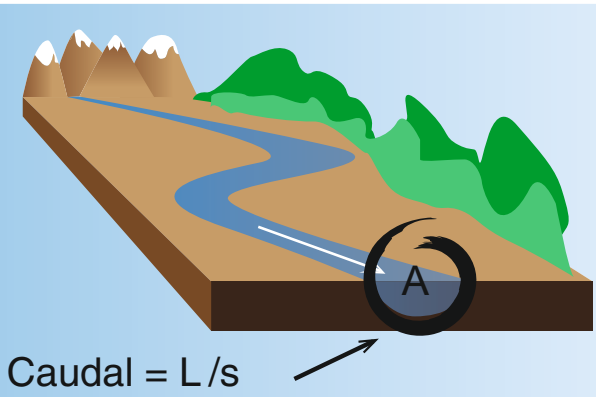


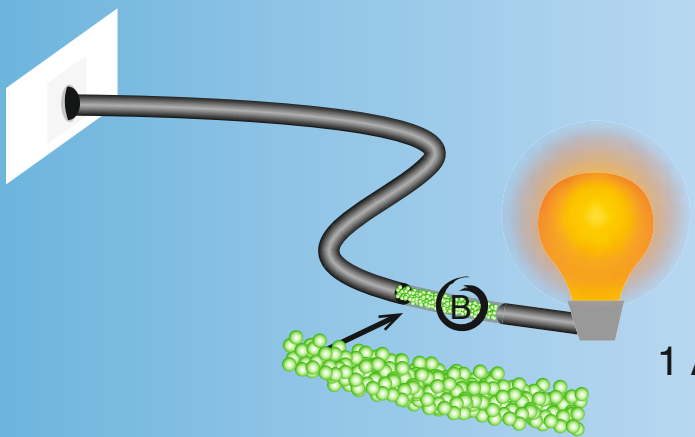


La carga elemental (*e*) es la carga eléctrica más pequeña que puede encontrarse de forma libre en la Naturaleza y es la constante utilizada para la definición del ampere.

$$e = 1{,}602\ 176\ 634 \times 10^{-19}\ \text{C}$$

Imaginemos el caudal de un río y que deseamos saber cuántos litros de agua pasan por una superficie perpendicular a la dirección de agua (A).





De la misma manera sucede con la corriente eléctrica, solo que por un cable pasan electrones, no agua. Son muchísimos los electrones que pasan en un segundo por una sección determinada (B).

La unidad de carga eléctrica es el coulomb (C) y representa la carga que tendrían $6{,}25 \times 10^{18}$ electrones.

$$1\ \text{A} = 1\ \text{C/s}$$

El ampere (A) es la unidad de la corriente eléctrica del SI. A partir de mayo de 2019 se definirá a través del valor numérico establecido de $1{,}602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$ para la carga elemental *e*, expresado en la unidad C (coulomb), que es igual a A × s, siendo el segundo definido en función de $\Delta\nu_{Cs}$.

$$1\ \text{A} = \left(\frac{e}{1{,}602\ 176\ 634 \times 10^{-19}}\right) \text{s}^{-1}$$

$$= \frac{1}{(9\ 192\ 631\ 770)(1{,}602\ 176\ 634 \times 10^{-19})}\, e\, \Delta\nu_{Cs} \approx 6{,}789\ 687 \times 10^{8}\, e\, \Delta\nu_{Cs}$$

Trillones a la carga

En 2019 el mundo incorporará una serie de cambios fundamentales, que no estarán relacionados con la política, la economía o el deporte. Serán cambios técnicos muy significativos dentro de la Metrología: comenzarán a usarse nuevas definiciones para cuatro unidades básicas de medida; el kilogramo, el kelvin, el mol y el ampere.

La nueva definición del ampere permitirá mejorar las mediciones eléctricas en el futuro. Hablamos de medir corriente eléctrica y otras variables eléctricas derivadas, como tensión, resistencia y potencia. Medir bien estas variables permitirá, entre otras cosas, seguir mejorando un objeto que cientos de millones de personas tienen tienen, literalmente, muy a mano a toda hora: los teléfonos celulares.

Ocurre que la tecnología de los semiconductores que se usa en estos dispositivos electrónicos que nos facilitan la comunicación, navegar por Internet, chatear, escuchar música o ver videos, se basan en circuitos integrados y chips semiconductores. Circuitos que, con cada nueva generación que llega al mercado, son más pequeños pero también más potentes, tienen un menor consumo energético y mayor autonomía.

El diseño y la fabricación de chips semiconductores requieren de mediciones y ensayos específicos. Se necesitan corrientes eléctricas de cada vez menor intensidad para que los microchips funcionen correctamente, y la medición de estas corrientes deben ser confiables, algo muy difícil de lograr. En los próximos años se logrará contar con microchips aún más veloces, eficientes y poderosos, pero también más pequeños. La nueva definición del ampere permitirá, entre otras cosas, medir estas pequeñísimas corrientes con patrones de referencia más sólidos y estables.

Larga historia

La corriente eléctrica no es otra cosa que la circulación de cargas eléctricas (electrones) a través de un material conductor, en forma similar al flujo de vehículos por una carretera. El físico francés André Marie Ampère descubrió, en 1820, que cuando circula corriente por dos conductores paralelos, se genera una fuerza entre ellos. Este efecto se denomina ley de Ampère y permitió definir la unidad básica de corriente eléctrica, el ampere, llamada así en su honor.

> Un ampere es la intensidad de una corriente eléctrica constante que, mantenida en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable, en el vacío y a una distancia de un metro el uno del otro, produce entre estos dos conductores una fuerza igual a 2×10^{-7} N por metro de longitud. (N es el símbolo del newton, unidad de fuerza).

Esta definición fue establecida en 1948 con el propósito de dar una referencia a las mediciones eléctricas. Sin embargo, esta definición presupone un experimento ideal que en la práctica no ha sido posible de concretar; entre otras cosas, porque los conductores deberían mantenerse en el vacío y tener una longitud infinita.

Por eso en la práctica se han venido utilizando como referencia otros efectos, propios de la Física cuántica, descubiertos algunos años después: el efecto Josephson y el efecto Hall cuántico.

En 1962, Brian Josephson anticipó que, al irradiar con microondas dos materiales superconductores separados por una membrana aislante delgada, aparecen escalones de tensión cuantizados, es decir, que sólo pueden aumentar o disminuir en forma de saltos. Este experimento se denomina efecto Josephson y permite reproducir el volt (V), la unidad de tensión eléctrica.

Por su parte, en 1990, el físico Klaus Von Klitzing descubrió el llamado efecto Hall cuántico: cuando un conductor es sometido a bajas temperaturas y fuertes campos magnéticos, su resistencia eléctrica empieza a variar, no de manera continua, sino… ¡adivinaste!, en forma de saltos cuánticos. Esto permite reproducir el ohm (Ω), la unidad de resistencia eléctrica.

Finalmente, la ley de Ohm, que relaciona la corriente eléctrica con la tensión y la resistencia, permite derivar el ampere (unidad de corriente) del volt y del ohm.

El cambio

Esta inconsistencia entre la definición teórica (basada en dos cables paralelos) y la reproducción práctica (a través del efecto Josephson, el efecto Hall y la ley de Ohm) terminó convenciendo a los metrólogos, físicos e ingenieros encargados de mantener y mejorar los sistemas de mediciones, que era necesario definir el ampere de una manera radicalmente nueva, teóricamente consistente y a su vez coherente con los efectos cuánticos. Pero, sobre todo, acorde a las necesidades: que permita alcanzar los niveles de exactitud que demandan tanto la ciencia como las aplicaciones tecnológicas actuales y futuras.

El ampere se definirá en base a una constante universal de la naturaleza: la carga del electrón (*e*). Claro, primero fue necesario que los científicos se pusieran de acuerdo en cuánto vale *e*.

El valor numérico exacto fijado para *e* es $1{,}602\ 17 \times 10^{-19}$ C.

El coulomb (C) o unidad de carga eléctrica, no es otra cosa que la multiplicación ampere por segundo (A × s). Por tanto, *e* = 0,000 000 000 000 000 000 160 217 A × s.

Imaginemos una autopista eléctrica de tráfico bajísimo, donde pasa sólo 1 electrón por segundo. La corriente sería de 0,000 000 000 000 000 000 160 217 A. Para que la corriente fuera de 1 A, deberían pasar 1/0,000 000 000 000 000 016 021 7 electrones por segundo, ¡Poco más de seis trillones!

A partir de la nueva definición, un ampere es la corriente eléctrica que corresponde al flujo de $1/1{,}602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$ cargas elementales por segundo.

Con el cambio, ya no será necesario recurrir a experimentos teóricos irrealizables y volveremos a la idea fundamental de qué es la corriente eléctrica: flujo de electrones.

Entonces, para realizar físicamente la definición, tendremos que contar "de a uno" los electrones que fluyen, durante un tiempo determinado, por un sistema. Para eso se utilizarán complejos equipos llamados SET (por sus siglas del inglés, *Single Electron Tunneling*). Para comprender su funcionamiento, imagina que los electrones van corriendo sobre la autopista. Cada vez que uno de ellos pasa por una especie de "puesto de peaje" hay un contador que aumenta en 1 su valor hasta llegar, por ejemplo, a los seis trillones. Ya está; tenemos 1 ampere. (Por supuesto que el experimento no es tan simple, pero esta es la idea básica).

Ventajas y desafíos

La nueva definición dará a los científicos la posibilidad de comparar mediciones sobre una base coherente y estable. En base a la nueva definición del ampere se ve como posible en un futuro próximo diseñar equipos comerciales que "cuenten electrones" y por lo tanto se calibren instrumentos eléctricos que permitan vincular al ampere los resultados brindados por estos instrumentos. Esto evitaría tener que someter estos instrumentos a controles periódicos en otros laboratorios, mejorando su exactitud y los costos industriales.

A su vez, la tecnología SET abre las puertas de otros avances tecnológicos: mejores circuitos integrados que requieren la manipulación individual de electrones. Ya se habla de electrónica molecular, circuitos con lógicas de electrones simples, computación cuántica, y un mundo fascinante de innovaciones

La tecnología, como los electrones, avanza a velocidad de autopista. Y, como suele pasar, nuevos procesos y productos requieren mejores mediciones que las sustenten y controlen.

Un mundo nuevo está llegando. Mientras tanto, cuando uses tu celular, pensá en cuantas autopistas tiene adentro y todas las mediciones que deben realizarse para asegurar su correcto funcionamiento.

Roque A. Báez (Paraguay), Fernando Kornblit y Enrique Garabetyán (Argentina)

Electrones a la pista

Ilustraciones: Alberto Parra del Riego

Un rato antes del mediodía Tomás comenzó a alistar la pista de carreras. Era domingo y, como todos los fines de semana desde hacía tres años, para el almuerzo llegarían sus tíos y primos y los jóvenes pasarían la tarde dedicados a su juego preferido: un largo campeonato de carreras de autitos eléctricos a escala, en la completa pista que le había regalado su papá.

Mientras limpiaba los pulsadores pensó, una vez más, cómo hacer para evitar la clásica discusión sobre cuántas vueltas había dado cada competidor para ganar la carrera. Y se le ocurrió que tal vez sus tíos —una pareja de físicos— tuvieran alguna idea.

–¿Sería posible armar una especie de casilla de peaje que cuente las vueltas de cada auto cuando pasa por un punto determinado? —les consultó Tomás, mientras los chicos comenzaban a "calentar motores".

–¡Seguro que sí! —le contestó su tía, que trabaja en un Instituto de Metrología—. Justo en el instituto estamos trabajando en algo similar, pero para contar el paso de los electrones.

–¿Cómo y para qué se cuentan los electrones? —quiso saber Tomás.

–La carga eléctrica del electrón (que se representa como *e*) es una de las propiedades fundamentales de uno de los constituyentes del átomo, el ladrillo básico que construye todo lo que nos rodea. Y *e* es la unidad más pequeña de carga eléctrica que puede encontrarse en forma libre en la naturaleza. Una enorme cantidad de aplicaciones, teorías y mediciones prácticas del mundo de la Física, la Química y la industria requieren conocer, con alto grado de exactitud, su valor numérico —resumió su tía.

Tomás quedó tan interesado que al lunes siguiente, a la salida del colegio, fue a visitar a sus tíos a su lugar de trabajo, y pudo dialogar con sus colegas.

–La *e* simboliza la carga eléctrica del electrón y es la unidad fundamental de carga eléctrica. Una corriente eléctrica es un montón de electrones circulando en un elemento conductor —le explicó el licenciado en Física, Mariano Real, experto del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de la Argentina. Y continuó—: Asociamos a la corriente con la carga. Y nuestra intención es poder contar las cargas individuales fundamentales, los electrones, de manera de poder también determinar la corriente eléctrica con altísima exactitud.

–El gran objetivo de la Metrología actual —agregó la doctora en Física y metróloga Alejandra Tonina— es buscar patrones universales que nos permitan relacionar las unidades de medida con constantes universales, como la carga eléctrica del electrón, para poder, por ejemplo, definir la unidad de medida de corriente eléctrica conocida como el ampere. Para eso tenemos que poder determinar en detalle la carga eléctrica del electrón.

–Por otra parte, todo esto es importante porque durante la próxima reunión de la Conferencia General de Pesas y

Medidas (CGPM), se aprobarán las nuevas definiciones para varias unidades, entre ellas el ampere, que se relaciona con la carga fundamental —le explicó amablemente el doctor Héctor Laiz, presidente del Sistema Interamericano de Metrología y gerente de esta especialidad en el INTI. Y agregó—: Lo que se está discutiendo es una nueva manera de definir las unidades de medida. De aprobarse, será el cambio más profundo en esta temática desde 1960.*

Una carrera electrizante

A fines del siglo XIX, los físicos "corrían" para completar un rompecabezas: la estructura atómica (cómo estaban formados y se comportaban los átomos). Y en su ruta, estimaban los valores exactos de las constantes físicas.

El físico irlandés George Stoney fue el primero en calcular, en 1874, un valor para la unidad básica de la electricidad, a la que denominó electrolion. En 1891 se rectificó y acuñó la palabra electrón para describirla.

Otros científicos propusieron que el átomo no es la partícula más pequeña posible y aventuraron que podría estar compuesto por otras aún menores. En 1897 J.J. Thomson, un físico inglés, propuso por primera vez que en el átomo había unidades hasta mil veces menores y sugirió que entre estas partículas subatómicas —en ese momento hipotéticas— podría estar el electrón. Thomson realizó una serie de experimentos y cálculos que lo llevaron a estimar, aunque con poca exactitud, la carga fundamental (o carga elemental) del electrón y relacionarla con su masa.

Recién entre 1910 y 1913 el estadounidense Robert Millikan realizó un experimento que logró resultados —entre otros hallazgos— que le valdrían el Premio Nobel de 1923. Y fue el primero en proponer una aceptablemente correcta estimación del valor de la carga eléctrica del electrón.

El experimento de Millikan se basó en medir y comparar la velocidad de movimiento de caída de minúsculas gotas de aceite situadas dentro de una cámara aislada, que se movían en un medio ionizado, cuyo campo eléctrico era controlado. Millikan, a diferencia de sus colegas que probaron métodos similares intentando medir microgotas de agua, decidió probar midiendo la velocidad de las pequeñísimas gotas de aceite. Estas tenían una gran ventaja para hacer las mediciones: al ser más estables no se evaporaban y le permitieron obtener mejores datos experimentales.

En su ensayo, las gotitas de aceite se inyectaban en una cámara cerrada y allí absorbían la carga eléctrica del medio (aire ionizado). Estas gotas ya "cargadas" eléctricamente subían o bajaban bajo la influencia combinada de las fuerzas de gravedad, de la resistencia del aire viscoso y del campo eléctrico variable. Usando una mirilla, Millikan observaba las gotas y medía la velocidad a la que se movían. Después de cronometrar repetidamente los movimientos de estas partículas, el físico pudo calcular la carga eléctrica de las microgotas.

En 1910, publicó los resultados de sus experimentos y demostró que todos los resultados eran múltiplos enteros de una unidad fundamental de la carga eléctrica.

Foto cedida por INTI

La unidad de tensión eléctrica, el volt, se realiza con el efecto Josephson, en el Laboratorio de Patrones Cuánticos del INTI - Instituto Nacional de Tecnología Industrial de Argentina.

*NdeR: Los cambios mencionados y las nuevas definiciones de las unidades de medida efectivamente fueron aprobadas en noviembre de 2018 y entrarán en vigencia en mayo del 2019.

Durante dos años siguió refinando sus experiencias y en 1913 logró resultados que aún hoy impresionan: el valor establecido por Millikan para la carga elemental del electrón fue de $1{,}592 \times 10^{-19}$ coulomb. Una cifra apenas menor que el dato actualmente aceptado de $1{,}602 \times 10^{-19}$ C.

Sin embargo, con el paso de los años y los avances de la ciencia, aquellas determinaciones originales del valor de la carga fundamental no resultaron suficientes. "Lo que buscamos hoy es un patrón que relacione la constante universal de la carga del electrón, que vale lo mismo en todo el Universo, con la unidad de intensidad de corriente eléctrica que es el ampere" dijo Real.

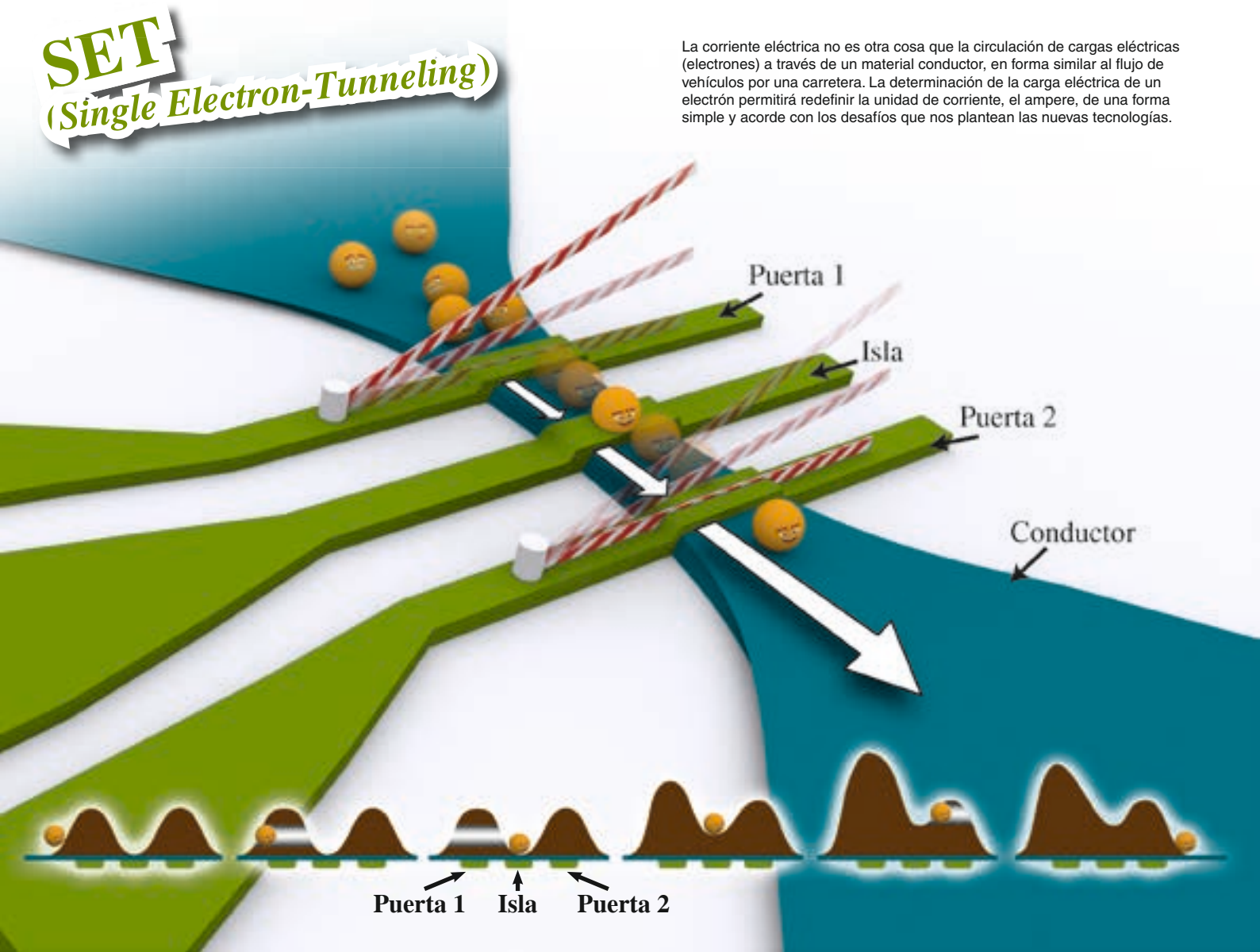
Para poder medir cargas eléctricas en detalle y relacionarlas luego con la definición del ampere, los metrólogos siguen un camino desafiante: intentar contar prácticamente de uno en uno a los electrones que fluyen en un pequeñísimo cable conductor de un puñado de nanómetros de diámetro (un nanómetro equivale a la milmillonésima parte de un metro) durante un tiempo exacto, tal como quería hacer Tomás con sus autitos de carrera.

Para eso diseñaron equipos de altísima tecnología denominados SET (por sus siglas del inglés, *Single Electron-Tunneling*) y luego combinaron dichas mediciones con algoritmos matemáticos y técnicas estadísticas. Con esta solución mostraron que es posible contar —uno por uno— a los electrones que fluyen por un cable conductor.

Vale recordar que el número de electrones que pasan en cada segundo por un cable conductor cuando hay un ampere de intensidad de corriente eléctrica es una cantidad enorme de electrones: poco más de 6,24 millones de billones de electrones. En otras palabras, desde el punto de vista metrológico, lo que lograron los expertos es asociar la carga elemental, conocida y bien definida que aporta cada electrón, con la intensidad de la corriente eléctrica que se desea medir.

Así, contando en detalle la cantidad de electrones que circulan por esta especie de "puesto de peaje" o "cuentavueltas" que corren sobre una imaginaria pista de cables conductores, es posible determinar —con exactitud—el valor de la unidad fundamental de la intensidad de corriente eléctrica y, por lo tanto, definir lo que es el ampere.

Enrique Garabetyan (Argentina)



La corriente eléctrica no es otra cosa que la circulación de cargas eléctricas (electrones) a través de un material conductor, en forma similar al flujo de vehículos por una carretera. La determinación de la carga eléctrica de un electrón permitirá redefinir la unidad de corriente, el ampere, de una forma simple y acorde con los desafíos que nos plantean las nuevas tecnologías.

La comida peruana es considerada una de las mejores en el mundo. Según los expertos, ello se debe a la variedad de ingredientes disponibles por su diversidad geográfica y a la influencia y fusión de otras culturas (como la asiática y la española), lo que hace que los platos de cada región del Perú sean únicos.

El cebiche (o ceviche)[1] se ha posicionado se ha posicionado como uno de los platos bandera del país y es común esperar que un turista no se vaya del Perú sin haberlo probado, e incluso que trate de replicar la receta. Se trata de un plato que no requiere cocción; se prepara en base a trozos de pescado fresco "marinados" en jugo de limón y ají picante.

Un amigo me contó la experiencia que tuvo un turista que visitó el Perú. Admirado por la culinaria, probó el cebiche en un restaurante de Lima y quedó tan fascinado con su sabor que pidió ver cómo se preparaba para poder replicarlo. Tomó nota de las explicaciones que le dio el chef y de las cantidades exactas de cada ingrediente y al volver a su país preparó el plato tal y como se le había indicado. Pero al probar un bocado notó que el sabor de su cebiche era dulce, menos ácido de lo que recordaba. Analizando lo sucedido, luego de un tiempo cayó en la cuenta de su error: había utilizado una especie de limón que no era la correcta.

El limón que se utiliza en Perú para preparar el cebiche es de la variedad *Citrus aurantifolia* (conocido en otros países como lima agria); es de pulpa verde y jugosa y posee un característico sabor ácido y aromático. El que él había utilizado era de color amarillo, de diámetro más grande, de la especie *Citrus limon* (conocido como limón dulce, porque es mucho menos ácido).

Moles y moléculas que hacen la diferencia

Al probar un plato, cuando describimos la impresión que nos causa, nos basamos en propiedades o características que son percibidas por nuestros sentidos (propiedades organolépticas), tales como su aroma, el sabor, su textura, los colores. Todos los alimentos están conformados por distintos compuestos químicos (como los carbohidratos, lípidos, proteínas, vitaminas, minerales, etc.). La composición de cada uno de los ingredientes que utilizamos al preparar un plato y sus interacciones producirán modificaciones e influirán en el resultado, y también en lo que percibimos.

En el caso del cebiche, por ejemplo, los trozos de pescado cambian de color y de textura al marinarse con el limón. Este cambio se debe, principalmente, a un compuesto químico presente en el limón, el ácido cítrico, que desnaturaliza la proteína del pescado[2]; el colágeno se degrada y la carne de pescado pierde su apariencia traslúcida y pasa a ser de color blanquecino.

También son las moléculas o los distintos grupos funcionales presentes en los compuestos químicos de los ingredientes los que estimulan nuestras papilas gustativas en la boca y aportan los sabores ácidos, salados o dulces que percibimos al probar un bocado. Por ejemplo, el mayor componente en la sal común es el cloruro de sodio, un compuesto químico cuya fórmula es NaCl y es el que aporta el sabor salado.

El sabor dulce del azúcar se debe a su contenido de sacarosa (otro compuesto químico, cuya fórmula es $C_{12}H_{22}O_{11}$) que está presente tanto en azúcar rubia (morena) como en azúcar blanca o refinada. Sin embargo, alguna vez puedes haber notado que al agregar azúcar rubia a tu taza de café "endulza menos" que cuando agregas la misma cantidad de azúcar blanca. ¿Te preguntas por qué?

Es la misma pregunta que se hizo el turista cuando obtuvo un sabor tan diferente al preparar su cebiche y que lo llevó

[1] Ambas formas son correctas, pero en Perú es más frecuente escribirlo con be (b).

[2] La desnaturalización de la carne de pescado es un proceso irreversible que ocurre por un cambio de las estructuras (secundaria y terciaria) de las proteínas por la reducción del pH, provocada por la adición del jugo del limón.

Ilustración Tabla periódica: © KABUGUI - Fotolia. com
Ilustración chile: © Gstudio Group - Fotolia. com
Ilustración limón: © mash3r - Fotolia. com

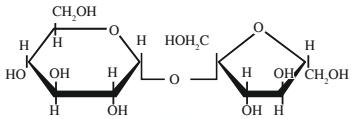
a pensar que había alguna diferencia en el tipo de limón que había utilizado. Pues, efectivamente la hay. Ambas especies de limón, la lima ácida y el limón dulce, contienen ácido cítrico (el compuesto químico que otorga acidez y provoca que el pescado se marine), pero si pudiéramos medir la cantidad de ácido cítrico que se encuentra en un vaso de jugo de cada una de las variedades podríamos constatar que la cantidad no es la misma.

En nuestra prueba estaríamos midiendo la cantidad de sustancia ácido cítrico. La cantidad de sustancia es una magnitud que se refiere a la cantidad de átomos, moléculas o partículas (entidades elementales) de un compuesto químico. En el Sistema Internacional de Unidades la unidad de base establecida para esas mediciones es el mol.

Cloruro de sodio

NaCl

Sacarosa



Reacciones y mediciones químicas

En muchas actividades, sobre todo en el campo de la Química, utilizando las técnicas e instrumentos apropiados, es posible medir la cantidad de determinada sustancia presente en muestras de alimentos, medicamentos, productos industriales, etc. En mediciones químicas a menudo también se utilizan unidades derivadas como, por ejemplo: la concentración de sustancia (mol/m^3), la cantidad de contenido de sustancia (mol/kg) o la cantidad de la fracción de sustancia (mol/mol).

En el ejemplo del azúcar, la respuesta a por qué el azúcar rubia "endulza menos" se relaciona con la cantidad de sustancia sacarosa. El azúcar rubia contiene aproximadamente 88 % m/m de sacarosa[3]; es decir, 1 gramo de azúcar rubia contiene 0,88 gramos de sacarosa. Considerando el peso molecular de la sacarosa (342,3 g/mol) eso equivale a 0,002 57 moles de sacarosa. Por otro lado, 1 gramo de azúcar blanca contiene 0,97 gramos de sacarosa; considerando su peso molecular sabremos que esto equivale a 0,002 83 moles de sacarosa.

En las interacciones de los distintos componentes químicos que tienen los ingredientes de una receta se producen muchas reacciones, no solo las que inciden en las propiedades organolépticas (las que captamos por nuestros sentidos) sino también las que se producen en nuestro organismo para asimilar los distintos nutrientes que aporta cada alimento. "Dichas reacciones llegan a ocurrir a nivel elemental; en otras palabras, pueden interaccionar trillones de entidades elementales", explica Galia Ticona, la responsable del Equipo Funcional de Laboratorios del INACAL, Instituto Nacional de Calidad de Perú.

La cantidad de entidades elementales contenida en 1 mol de cualquier sustancia es un valor constante que se conoce como constante de Avogadro (N_A), donde $N_A = 6{,}022 \times 10^{23}$ mol^{-1}. Esto quiere decir que un mol de cualquier sustancia contiene a $6{,}022 \times 10^{23}$ entidades elementales; o sea, 602 200 000 000 000 000 000 000 entidades elementales.

Dicho de otro modo, en una cantidad de sustancia de un mol hay N_A entidades fundamentales.

Aplicando la fórmula, podemos saber que en un gramo de ambas clases de azúcar, la diferencia en términos de constante de Avogadro es de varios millones de entidades elementales: exactamente 156 572 000 000 000 000 000 moléculas de sacarosa.

No es posible expresar la cantidad de sustancia contenida en un compuesto químico en magnitudes de masa o volumen. Asimismo, tampoco se puede esperar que un mol de un grupo específico (por ejemplo, cloruro de sodio) llegue a pesar lo mismo que un mol de otro grupo (por ejemplo, sacarosa), porque lo que se está midiendo son diferentes entidades elementales.

[3] Dato extraído de la Norma del CODEX para los azúcares CODEX STAN 212-1999.
La expresión % m/m indica el porcentaje de masa/masa.

Foto: Alberto Parra del Riego

Tras el cebiche peruano

Los principales ingredientes que le dan sabor al cebiche son la acidez del limón, la frescura del pescado y el picante del ají.

Según un estudio científico sobre el contenido de ácido cítrico (cuya fórmula es $C_6H_8O_7$) en diversas especies de limón[4], en 100 ml de jugo del *Citrus aurantifolia* se encuentran 5,09 mg de ácido cítrico. Considerando su peso molecular (192,124 g/mol) esa cantidad equivale a $2{,}649 \times 10^{-5}$ moles de ácido cítrico. En términos de constante de Avogadro esto corresponde a 15 952 278 000 000 000 000 moléculas de ácido cítrico.

En el mismo estudio se menciona que en 100 ml de jugo del *Citrus limon* se encuentran 0,002 mg de ácido cítrico, que de acuerdo con su peso molecular equivalen a $1{,}041 \times 10^{-8}$ moles de ácido cítrico. Aplicando Avogadro, esto corresponde a 6 268 902 000 000 000 moléculas de ácido cítrico.

Al replicar una receta, aun cuando se utilicen las cantidades exactas de cada ingrediente, el resultado dependerá de la cantidad de sustancia presente en sus componentes químicos. En el caso del cebiche, es la cantidad de ácido cítrico que requiere combinarse con los demás ingredientes para llegar al cambio de textura de la carne de pescado y al sabor ácido esperado.

Por eso, la especie de limón es un factor a respetar al preparar cebiche, ya que según la que se utilice variará la cantidad de moléculas de ácido cítrico que se agregan al preparar la marinada. Si se agregan 100 ml de jugo de limón dulce se estarán agregado $1{,}595 \times 10^{19}$ moléculas de ácido cítrico menos que si se agregara ese mismo volumen de jugo de lima agria.

Pero en el mundo culinario difícilmente en una receta encontremos una cantidad de algún ingrediente expresada en moléculas o en entidades elementales. Si por casualidad nos encontráramos con una que indicara: "Agréguense 0,0514 moles de cloruro de sodio", o "Agréguense 30 953 080 000 000 000 000 000 moléculas de NaCl", tendríamos que realizar los cálculos anteriores, pero aplicando la fórmula inversa. Considerando el peso molecular del cloruro de sodio (58,4 g/mol) sabríamos que esa cantidad equivale a 3 gramos de cloruro de sodio. Es una cantidad aproximada a la que hacen referencia las recetas que indican agregar una cucharadita de sal. Parece una indicación más simple, ¿verdad? Pero es menos exacta.

[4] Van Der Laat, *Estudio comparativo del contenido de ácido cítrico, Rev. Biol. Trop. 2 (1), pág. 45-58, 1954.*

Avogadro en la nueva definición del mol

La definición actual del mol se basa en la masa de una cantidad específica de carbono: un mol es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0,012 kilogramos de carbono 12; su símbolo es el mol.

Sin embargo, eso cambiará a partir del 20 de mayo (Día Mundial de la Metrología) del año 2019.

La nueva definición establecerá que el mol, cuyo símbolo es mol, es la unidad de cantidad de sustancia del SI de una entidad elemental especificada, que puede ser un átomo, molécula, ion, electrón, cualquier otra partícula o un grupo especificado de tales partículas. Se define asignando el valor numérico fijo de $6{,}022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ a la constante de Avogadro (N_A) cuando ésta se expresa en la unidad mol^{-1}.

La importancia de la nueva definición radica en que el número de entidades elementales (N) podrá ser determinada con la misma exactitud que la cantidad de sustancia (n) en una muestra, utilizando la ecuación $N = n \times N_A$ (donde N_A tiene un valor exacto).

Los pesos atómicos no se verán afectados por este cambio en la definición y la constante de la masa molar seguirá siendo 1 g/mol, aunque ahora tendrá incertidumbre de la medición; pero será tan pequeña que no requerirá ningún cambio en la práctica común.

Raquel Tineo (Perú)

Fotos de cebiche: Raquel Tineo.

La conservación de especies y la Metrología

"***El ser humano no ha tejido la red de la vida; somos solo un hilo dentro de ella y cualquier cosa que hagamos a la red nos la hacemos a nosotros mismos.***" (Jefe indio Seattle– 1855).[1]

Esta sencilla frase causó tal impacto en Roberto y Paula que, a partir de conocerla, comenzaron a preocuparse más por lo que los rodea, el deterioro ambiental y sobre todo por el aumento de la lista de especies en peligro de extinción. Fue entonces que decidieron tomar un rol activo para contribuir a "cambiar el mundo".

Cuando supieron de un programa de voluntariado para la conservación y protección de tortugas marinas en una playa de su país (Costa Rica), en el Pacífico Norte, se entusiasmaron. Inmediatamente se contactaron con la Red Integral de Tortugas Marinas (RITMA), una plataforma para el intercambio de conocimiento entre Costa Rica y otros países del Pacífico Tropical, orientada al estudio de las tortugas marinas y a la toma de decisiones para su manejo y su conservación. Una vez que conocieron detalles sobre el programa, sin dudarlo se inscribieron para trabajar como voluntarios.

El Jobo

El viaje hasta la comunidad donde trabajarían les tomó 5 horas por tierra desde su ciudad, San José (capital de Costa Rica). Es una comunidad de no más de 700 personas, ubicada en La Cruz, Guanacaste. Cuenta con siete playas donde, en escasos 500 metros de extensión, anidan tortugas de las especies *Carey*, *Lora* y *Verde*; algunas, durante todo el año.

En el camino, quienes los habían pasado a buscar para acompañarlos, les cuentan que fue la propia comunidad quien solicitó ayuda para crear un programa de protección de tortugas, ya que necesitan alternativas económicas a la pesca. Se conformó entonces una ONG (organización no gubernamental) local, conocida como Equipo Tora Carey, integrada por biólogos, pescadores y operadores turísticos, para el desarrollo sostenible de la zona. La comunidad recibe una retribución económica por alojamiento, alimentación y un salario para los "patrulleros", que son pescadores que se han reconvertido para actuar como investigadores. Entre otras actividades, toman medidas y muestras, llevan bitácoras de datos, rastrean tortugas marcadas y se comunican entre ellos. Todo esto con el fin de encontrar soluciones de desarrollo sostenible para su comunidad.

Las tortugas juegan un papel importante en el ecosistema marino al controlar el crecimiento de organismos como esponjas y algas. También proveen alimento y refugio para otros grupos en la cadena alimenticia, y actualmente constituyen una valiosa fuente de ingreso para las comunidades por concepto de turismo.

Datos que muestran su historia

La investigadora Maike Heidemeyer les explica que los llamados sitios de desarrollo son los más importantes de estudiar ya que es en ellos donde las tortugas pasan toda su juventud y su fase no reproductiva (lo que representa el 90 % de su vida). Son bahías ricas en arrecife de coral, con oleaje suave y de fácil ingreso, lo que las transforma en refugio para las tortugas que se protegen de depredadores de mayor tamaño. También pueden ser esteros y manglares.

En sus etapas tempranas las tortugas deben ser protegidas, por ejemplo, de tipos de pesca dañinas, pero para lograr esa protección se debe justificar el problema con datos científicos.

[1] Fragmento atribuido a Seattle, jefe indio de los suquamps y tribus aliadas, durante el discurso que ofreció en respuesta a la oferta del entonces Presidente de los Estados Unidos. La versión exacta del discurso en su idioma nunca pudo ser confirmada. La actual ciudad de Seattle, en el estado de Washington (EEUU) fue nombrada en su honor.

Ilustraciones animales: © ssstocker - Fotolia. com

Las tortugas son fieles a su playa de nacimiento para el desove y anidación: regresan siempre a la misma playa, orientadas por el magnetismo de la Tierra. Sin embargo, si en las playas hay gente, luces artificiales o ruido, escogen otra; pero siempre será dentro de la misma "firma magnética". Hay estudios que aseguran que los movimientos de tortugas cambian según se modifica el campo magnético. En base a muestras de piel se puede realizar el análisis genético y conocer el origen natal de las tortugas. Gracias a que son fieles a las playas, éstas se pueden caracterizar en términos de ADN mitocondrial y así determinar el sitio de nacimiento y adónde regresarán a anidar.

Un dato curioso es que las tortugas no tienen genes sexuales. Su género es definido por la temperatura de incubación de los huevos. Para determinar la cantidad de testosterona, a partir de análisis de proteínas, se les toma una muestra de sangre.

En las playas elegidas como sitios de desove, solo se encuentran hembras adultas y, como en su mayoría se encuentran patrulladas, el riesgo de depredación se reduce en un 90 %. Es allí que se toman medidas de longitud y colocan o chequean las placas identificatorias que permiten mapear el movimiento de las tortugas en las diferentes etapas de vida.

El monitoreo básico que se realiza en las tortugas adultas de diferentes especies consta de marcado con placa, toma de medidas morfológicas y caracterización genética. Las placas incluyen la información de contacto: institución que realiza el monitoreo, número de teléfono y un código único de identificación. Se colocan en las aletas traseras ya que solo las utilizan para guiarse al nadar y no están tan expuestas a dañarse o perderse como en las aletas delanteras. Las tortugas que ya cuentan con placa son medidas nuevamente, y en caso de que provengan de otra zona geográfica se comunica su hallazgo.

La investigadora les explica que las mediciones de longitud permiten calcular la tasa de crecimiento. Con una cinta métrica se mide la longitud curva del caparazón, la longitud recta del caparazón, y la longitud del plastrón (la barriga), el cual es más cóncavo en las hembras. También se toman mediciones de longitud de la última escama y entre escamas. La última escama se desgasta conforme la tortuga crece, pero con ambas mediciones se puede determinar el crecimiento del individuo y el desgaste con los años.

Fotos tortugas: Maike Heidemeyer
(Permiso de investigacion R-SINAC-ACG-PI-012-2018)

De la cola se toman dos medidas: desde la última escama hasta la punta y desde la última escama hasta el ano. En las hembras crece toda la cola, mientras que en los machos crece la porción final, pues sirve de gancho en el apareamiento. A partir de estas mediciones se puede calcular el número de hembras y machos en edad reproductiva en una población. Los datos indican que, producto del cambio climático y el aumento en la temperatura de los mares, la población de hembras se ha elevado sustancialmente.

"Luego de años de monitoreo y de recaptura de tortugas marcadas sabemos que pasan años desarrollándose. Las de algunas especies, como la *Carey*, crecen solo 0,8 centímetros al año y al encontrar una tortuga de 40 centímetros sabemos que lleva más de 30 años creciendo. El tamaño promedio de las tortugas *Carey* y *Lora* en edad reproductiva es de 85 centímetros. La longitud de una tortuga nos ayuda a definir si son juveniles o adultos, hembra o macho", les comenta Maike. Y agrega: "Por eso se debe realizar un planeamiento del manejo de las especies; para procurar que a lo largo de tantos años las tortugas puedan sobrevivir y llegar a su etapa reproductiva". La tasa de supervivencia de las tortugas es de 1 en 1000 y hasta 1 en 10 000. Varía según la especie.

La idea es que los resultados de los estudios en poblaciones de tortugas no se queden en los laboratorios, sino que sean una herramienta para los Gobiernos y las comunidades. "Necesitamos mentes brillantes, que crean en la colaboración y se identifiquen con la causa del desarrollo sostenible basado en la ciencia y que los pescadores de las comunidades sean científicos. Con esta información se puede brindar recomendaciones de manejo a las autoridades nacionales y tomadores de decisiones, basadas en datos reales", dice Maike.

Una velocidad inimaginable pero conocida.

La naturaleza esconde sorpresas maravillosas. Una de ellas fue el descubrimiento de que la luz (la radiación electromagnética) viaja a una velocidad constante.

Ese valor no depende del lugar ni del estado de movimiento de los observadores, sino que todos quienes midan la velocidad de la luz encontrarán el mismo valor, único y universal, que corresponde a aproximadamente a 300 millones de metros por segundo. En otras palabras, la velocidad de la luz es constante en cualquier lugar del Universo. Por eso se le considera una constante física y se define como una constante universal. Se le identifica con la letra *c* (minúscula y en cursiva) y su valor es 299 792 458 m/s. Y esa propiedad absoluta y única la hace ideal para definir distancias recorridas en lapsos conocidos de tiempo.

La velocidad de la luz (c) es constante en cualquier lugar del Universo. Esa propiedad absoluta y única la hace ideal para definir distancias recorridas en lapsos conocidos de tiempo.
$c = 299\,792\,458$ m/s

¿Cómo se relaciona la velocidad de la luz con las mediciones de tortugas que realizan los pescadores-patrulleros en una pequeña playa de Costa Rica? La unidad de base establecida por el Sistema Internacional de Unidades (SI) para las mediciones de longitud es el metro (su símbolo es m), y desde 1983 se define como la distancia que recorre la luz en el vacío en un intervalo de tiempo de 1/299 792 458 de segundo. Como ves, su definición está basada en la constante *c*. Por lo tanto, cada vez que se realiza una medición de longitud se está, aún sin saberlo, utilizando el valor de la constante *c* como base de la medición.

La unidad de base establecida por el Sistema Internacional de Unidades (SI) para las mediciones de longitud es el metro (símbolo m). Su definición actual se basa en la constante *c*.

El SI también establece que, para cantidades mucho mayores o mucho menores que la unidad, para expresar múltiplos y submúltiplos decimales, se utilizan prefijos que se combinan con el nombre de la unidad para formar una sola palabra. Para el factor 10^{-2} se utiliza el prefijo "centi", de allí la palabra centímetro, la centésima parte del metro.

La importancia de medir bien

Los metrólogos —científicos e investigadores que se dedican a la ciencia de las mediciones (Metrología)— que trabajan en los Institutos Nacionales de Metrología, tienen entre sus cometidos "diseminar" las unidades de medida del Sistema Internacional de Unidades en sus países (entre otras, la unidad de longitud), desde la realización práctica de la unidad hasta los instrumentos de medición de uso cotidiano.

Los estudios científicos, en cualquier rama o disciplina, para ofrecer confianza en sus resultados deben presentar datos precisos, algo que se logra recurriendo a la mejor medición posible. Para garantizar la calidad de las mediciones, se debe, entre otras cosas, medir con equipos calibrados. La calibración de equipos de medición es parte de las tareas de dichos Institutos, y de la red de laboratorios designados por ellos en su país. El Instituto Nacional de Metrología de Costa Rica es el LACOMET (Laboratorio Nacional de Metrología). Desde su laboratorio de Metrología Dimensional se disemina en el país la unidad del metro a través de servicios de calibración de instrumentos como bloques patrón y reglas rígidas, los cuales a su vez se utilizan para calibrar los instrumentos para mediciones en campo.

Para los muestreos biométricos en tortugas los equipos de medición que se utilizan son cintas métricas o reglas equivalentes. Su calibración es fundamental para asegurar que la medida de longitud que se toma en determinado lugar sea equivalente a la que haga otro colega investigador o patrullero, en otra parte del mundo (siempre y cuando su cinta métrica o regla equivalente también esté calibrada). Además, se debe contar con un procedimiento de medición claramente detallado, que indique, por ejemplo, cuántas series de mediciones se hicieron, si se realizaron en verano o en invierno, el equipo utilizado, si está calibrado, etc. Ya que ninguna medición es perfecta y siempre habrá una duda (incertidumbre) en su resultado, toda fuente de variabilidad que puede incidir en la medición debe considerarse y registrarse. Esto, permite cuantificar todas las fuentes de incertidumbres que aportan a la medición. (Los resultados de una medición, deben incluir siempre el valor de la incertidumbre).

Para que los cálculos y los registros que se mantienen sobre poblaciones de tortugas en las diferentes reservas, y que los datos estadísticos locales y generales (por ejemplo, la tasa de crecimiento) sean rigurosos y confiables, es necesario medir en forma trazable al Sistema Internacional de Unidades. Esto quiere decir que el resultado de una medición debe poder relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida. En estas actividades, como en tantas otras, los conocimientos sobre mediciones y Metrología son fundamentales. Como también lo son las actividades de investigación e innovación permanente que realizan las organizaciones metrológicas para el avance en esta ciencia.

En los últimos años, los metrólogos han venido desarrollando varios experimentos —algunos muy desafiantes— ensayando nuevos métodos para medir y comparando resultados, de manera de asegurar que las mediciones que se realizan en el mundo sean cada vez más precisas y confiables. A partir de los resultados obtenidos, el año próximo tendrán lugar cambios importantes en el Sistema Internacional de Unidades. Algunas de sus unidades de base serán redefinidas.

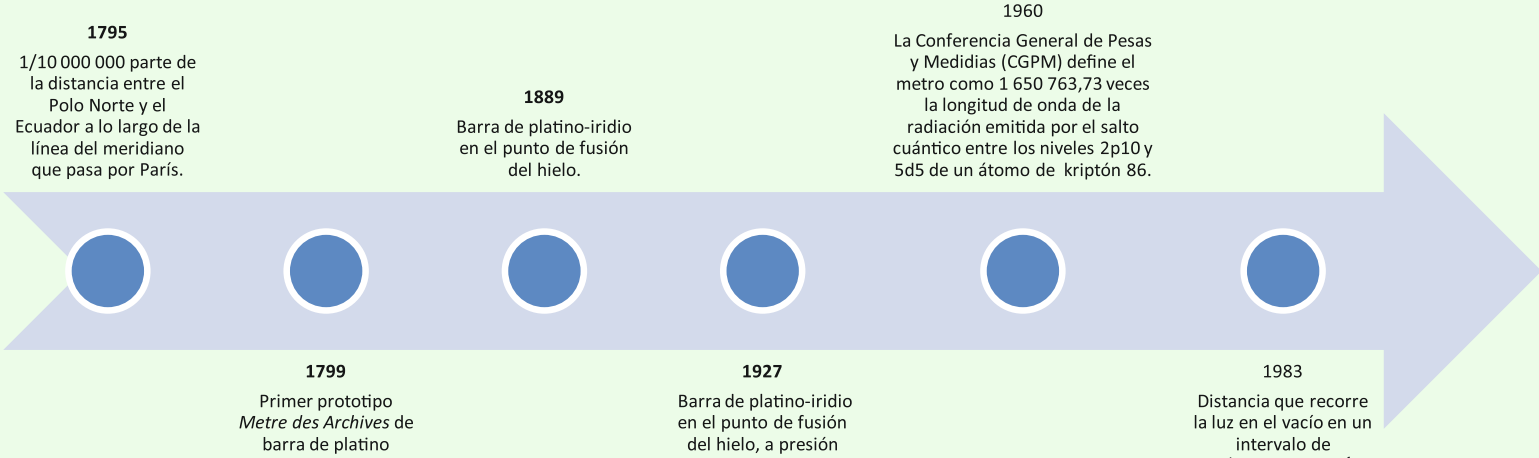
El nuevo paradigma del SI será que todas las unidades de medida se definan en base a constantes universales. Dado que la definición vigente del metro ya se basa en una constante (la constante *c*), no sufrirá una modificación sustancial pero, para dejar más claro que el metro depende del valor numérico fijo de la constante, sí se harán cambios en la forma de expresarla.

A partir del 20 de mayo de 2019 la unidad de longitud, el metro, se definirá asignando el valor numérico fijo de 299 792 458 a la velocidad de la luz en el vacío (*c*) cuando esta se expresa en la unidad m s^{-1}, donde el segundo es definido en términos de la frecuencia del cesio ($\Delta\nu_{Cs}$).

La aventura de Roberto y Paula apenas empieza. Por ahora seguirán trabajando como voluntarios con el Equipo Tora Carey con la firme convicción de que, al hacerlo, estarán aportando su granito de arena para que las playas de su país sigan siendo las elegidas por tortugas marinas y puedan continuar desarrollándose. Las mediciones de longitud que realizan son datos clave y, para asegurar que sean correctas y confiables, el desarrollo de la Metrología y el aporte de las organizaciones metrológicas serán siempre sus mejores aliados.

Marcela Prendas Peña (Costa Rica) y
Silvana Demicheli (Uruguay).

Evolución de la definición del metro



Desde las piedras de fuego

Ilustración olla: © VectorShots - Fotolia. com

Desde el descubrimiento del fuego por los llamados hombres de las cavernas muchas cosas han cambiado en la forma de preparar los alimentos. Sin embargo, hay algo que permanece como un elemento central: la temperatura es una variable esencial en el proceso de cocinar.

Ya los grupos sociales más antiguos, si bien no tenían los conocimientos actuales que permiten comprender los fenómenos físicos y químicos involucrados en el proceso, notaron que las carnes, vegetales y granos, al someterlos al fuego se vuelven más fáciles de ingerir y digerir. Cuando los alimentos son llevados al fuego, ocurren una serie de transformaciones, algunas de los cuales son fácilmente observables mientras que otras ocurren sólo a nivel molecular. El agua también ha sido desde tiempos lejanos un elemento fundamental para varias preparaciones. Si se coloca en un recipiente y se lleva al fuego, pasado un tiempo se puede observar que paulatinamente se transforma en vapor y comienza a burbujear. En términos científicos este fenómeno se conoce como punto de ebullición del agua. Si estamos cocinando en un sitio ubicado al nivel del mar, la ebullición del agua se produce cuando su temperatura alcanza aproximadamente los 100 °C.

Está comprobado que una vez que el agua en una olla (o cualquier otro recipiente abierto) llega al punto de ebullición, su temperatura no aumenta más. En la prisa cotidiana, para acelerar la cocción de alimentos que se preparan en olla y utilizando agua, muchas veces aumentamos la llama, pero eso no ayuda. El fuego más alto solo hace más rápida la transformación del agua líquida en vapor y por lo general representa un desperdicio de energía.

¿Existe alguna forma de aumentar la temperatura del agua luego de alcanzados los 100 °C? La respuesta es sí. Una manera es aumentando la presión dentro del recipiente. Por eso, al cocinar, muchas veces se utilizan las llamadas ollas a presión.

Una olla a presión es un recipiente que se cierra herméticamente y que posee una válvula que regula la presión en su interior, y con ello la temperatura. La válvula es un peso colocado sobre el área de la sección transversal de un pequeño tubo que se proyecta hacia afuera de la tapa, en general en el centro de la misma. Al calentarse el agua y producirse vapor, como la olla está cerrada herméticamente, la presión en su interior aumenta. A mayor presión, mayor será la temperatura de ebullición del agua.

La presión es fuerza por unidad de área ($p = F/A$). Cuando la presión en el interior de la olla es igual o mayor que el peso de la válvula dividido el área del tubo, el peso se eleva y permite que se libere vapor.

A partir de ese momento la olla ya no es más hermética, pues permite la salida de un flujo constante de vapor por el tubo de la válvula y así, se mantiene un régimen estable de presión y de temperatura durante el tiempo de cocción requerido.

La temperatura máxima que alcanza el agua en una olla a presión dependerá de las características del diseño de la válvula; generalmente es de aproximadamente 120 ºC y la presión relativa (o manométrica) máxima en el entorno de 180 kPa (1,8 atm).

Nada es tan simple como parece

La temperatura es una magnitud física, lo cual quiere decir que es una propiedad medible de un cuerpo o sistema. En Física, la temperatura está relacionada con la energía interna de un sistema, y en particular con la energía cinética (energía de movimiento) media de las moléculas. A nivel molecular, cuanto mayor es la temperatura de agua, mayor es la energía cinética de las partículas que la constituyen.

También es considerada una magnitud intensiva, ya que es independiente del tamaño del sistema o de la cantidad de sustancia o material que lo componga. Un ejemplo facilitará la comprensión: si tenemos agua hirviendo en una olla grande y también en otra pequeña, la temperatura será la misma en ambas, aunque la olla de mayor tamaño tenga una mayor cantidad de moléculas.

La temperatura es una variable importante en varias actividades, no sólo para la preparación de alimentos, y medirla de una forma correcta y confiable es fundamental. También es importante expresar claramente la unidad que se utiliza en la medición.

El Sistema International de Unidades (SI) es un acuerdo aceptado por muchos países[1] en el que se establece cuáles son las unidades de medida para determinadas magnitudes, y sus definiciones. Una de sus siete unidades de base es el kelvin, la unidad para medir temperatura termodinámica. El kelvin actualmente se define como la fracción 1/273,16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua (los valores de temperatura y presión en los que están en equilibrio las tres fases del agua: sólida, líquida y gaseosa).

Para que las unidades de medida establecidas por el SI se apliquen, y que las mediciones que se realizan en diferentes ámbitos y actividades locales sean confiables y comparables, los Estados designan instituciones que están a cargo de estas cuestiones; son los Institutos Nacionales de Metrología (INM).

Una de sus actividades es materializar las unidades de medida (o sea, obtenerlas experimentalmente). En el caso del kelvin, esto es necesario para poder calibrar termómetros de alta exactitud.[2]

La obtención del kelvin depende de una temperatura específica (la temperatura del punto triple del agua pura). Y a su vez este valor depende de la composición isotópica del agua y de la cantidad y naturaleza de sus impurezas (sales y gases). Estas y otras cuestiones tienden a provocar variaciones en la obtención del kelvin, lo cual motivó que los INM llegaran a la siguiente conclusión: sería mejor que la definición del kelvin, en vez de depender del punto triple de agua, se relacionara a una constante física, y fijar el valor numérico de la constante.

A esta misma conclusión llegaron también en relación a otras unidades del SI, por lo cual para el año 2019 se prevé la entrada en vigor de las redefiniciones de cuatro de las siete unidades de base del SI (el kilogramo, el ampere, el kelvin y el mol), todas ellas basadas en constantes físicas de la naturaleza. En el caso del kelvin su nueva definición se basará en la constante de Boltzmann (k).

Redefiniciones y cambios desafiantes

Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906) fue un físico austríaco que contribuyó a muchos avances científicos y la constante que lleva su nombre es considerada de gran importancia para estudios de la Física y de otras áreas del conocimiento. Una de las fundamentaciones de la constante involucra la correlación entre la energía cinética promedio de las moléculas de un gas ideal con su temperatura. En la Física molecular la energía térmica está asociada al producto kT.

Para redefinir el kelvin fue necesario definir el valor numérico para la constante de Boltzmann y realizar experimentos para medir k, en los cuales se conoce el valor de la temperatura. Por eso, en los últimos años varios Institutos Nacionales de Metrología se dedicaron a realizar experimentos trabajando en conjunto y comparando resultados para obtener un valor confiable de k.

Un criterio a cumplir fue que la diferencia relativa numérica del valor de k, obtenido por diferentes INM, fuera menor o igual a uno en un millón con el mismo método o experimento, y tres en un millón al emplear un segundo método (con principio de medición diferente). Esto ya se logró, por lo cual la nueva definición tomará dicho valor medido y consensuado como referencia[3] y a partir de él se definirá al kelvin.

Uno de los experimentos que tuvo éxito se basó en la determinación de la velocidad del sonido en un gas (monoatómico). En otro caso, se logró a través de mediciones eléctricas con un termómetro especial, lo que posibilitó la determinación de la densidad del gas helio, a cierta presión (siendo la temperatura un dato conocido y conociéndose la densidad fue posible determinar el valor de la constante).

La determinación de la constante de Boltzmann, con la exactitud requerida, fue una tarea desafiante, pero los Institutos Nacionales de Metrología esparcidos por el mundo tienen el compromiso de diseminar las unidades de medida del SI, a partir de patrones que garanticen la confiabilidad de los resultados de mediciones realizadas. Lo que se buscó fue que el valor de la constante fuera tal, que la temperatura del punto triple del agua fuera 273,16 K.

En la definición actual del kelvin, la temperatura del punto triple del agua es, por convención, 273,16 K ¡exacta! Con la nueva definición del kelvin, la temperatura del punto fijo del agua será 273,16 K, pero no va a ser exacta por convención, sino que habrá que medirla y tendrá incertidumbre.

Después de la entrada en vigencia de la nueva definición del kelvin habrá amplia difusión y orientación para la realización práctica del kelvin con descripción de métodos primarios para la medición de temperatura termodinámica. En la escala EIT-90 el punto triple de agua es fundamental para medición de temperatura desde −200 °C hasta 962 °C, por lo cual se seguirá usando esta escala en este intervalo.

En un futuro, con la evolución de la termometría primaria, las mediciones termodinámicas directas acabarán reemplazando a la Escala de Temperatura ITS-90.

Elizabeth De Oliveira,
José Carlos Valente De Oliveira
y Victor M. Loayza (Brasil)

[1] Actualmente hay 60 estados miembros y 42 más asociados al Tratado del Metro, que aceptan el SI.
https://www.bipm.org/en/about-us/member-states/

[2] Basándose en la Escala Internacional de Temperatura ITS–90.

Foto: © dglimages - Fotolia. com

[3] (sin incertidumbre)

¡QUE LE DEN CANDELA!

A diferencia del kilogramo, la candela cambió su definición varias veces a lo largo de su historia. Debido a que esa definición depende de la percepción del ojo humano, algunos consideran a la candela como el patito feo de la familia de unidades de medida.

La escena se repite todas las semanas. Terminada la cena, corres a tu cuarto para sentarte enfrente de la computadora y entrar al *lobby* de tus amigos, o te recuestas a disfrutar un episodio de tu serie preferida; y transcurrido un corto tiempo (justo cuando estás entre los últimos 20 en pie en la isla, hacia el final de una partida o cuando acabas de empezar una peli nueva), escuchas del otro lado de la puerta una voz adulta conocida que, primero como un ruego y ya después en tono de amenaza, te pide que apagues todo y te vayas a dormir.

La insistencia parental por separar la vigilia del descanso nos ha acompañado a lo largo de la civilización, aunque con nuevas particularidades marcadas por las características de la tecnología. Sin ir más lejos, mi abuela Vito recurría a la luz de una vela cuando su mamá la mandaba a la cama y ella quería seguir jugando a las figuritas con dos de sus siete hermanos. Mi mamá, en cambio, como no podía dormirse si no terminaba el libro que había empezado, se escondía bajo las mantas de la cama y leía, con una linterna como única aliada, hasta llegar a la última página. Siempre y cuando las pilas no se agotaran antes.

La realidad es que la luz desempeña un papel clave en nuestras vidas, tanto en el desarrollo de las actividades cotidianas, como en la percepción de objetos, formas y colores, en aspectos de la salud, e incluso en nuestros estados de ánimo. También resulta relevante en situaciones que hacen a la seguridad y el desempeño profesional. Imagínate las dificultades que afrontarían los cirujanos en un quirófano con escasa luz, o el especialista en pinturas de una fábrica de autos buscando obtener dos colores iguales sin la luz adecuada. ¿Cómo harían para lograr un trabajo profesional en un set de televisión en plena filmación? ¿Y para garantizar la seguridad en un cruce de caminos o rutas, o en la señalización de las salidas de emergencia de los lugares públicos?

La luz es indispensable, en otro orden de cosas, para que los seres vivos puedan completar procesos metabólicos; por ejemplo, la fotosíntesis en las plantas, y la síntesis de vitamina D en los seres humanos, que es fundamental para lograr huesos sanos.

Pero como toda moneda, la realidad tiene dos caras. Y es que tanto el color como la intensidad de la luz interfieren con el buen descanso. Se ha demostrado que la luz azulada (como la que emite la pantalla de tu celular o tablet, que seguro dejas al lado de tu cama) bloquea la producción de melatonina —hormona del sueño— actuando como un estímulo, en lugar de ayudar a relajarnos y descansar. Para evitarlo, lo mejor es no usar estos equipos antes de dormir. Pero si la dependencia tecnológica te gana, puedes al menos instalarte alguna de las aplicaciones gratuitas disponibles para reducir en tus equipos la emisión de luz azulada.

Recuerda, no obstante, que existe abundante evidencia científica de que la exposición a fuentes artificiales de luz durante la noche (en el trabajo, el hogar y la comunidad) lleva a la interrupción de los ritmos circadianos (aquellos que regulan el sueño y la vigilia) y aumenta el riesgo de padecer enfermedades; entre ellas, obesidad, diabetes, debilitamiento del sistema inmunológico y hasta ciertos tipos de cáncer. Esta problemática ha sido muy estudiada en personas que realizan trabajos nocturnos.

Pero incluso la ciencia ha avanzado aún más: en 2017 se dio a conocer una investigación que abarcó todo el planisferio con la mirada puesta en entender los cambios que acompañan al uso de led. El estudio, publicado en la revista *Science Advances*, reflexiona sobre la eficiencia energética que ofrecen esas luces, al brindar más iluminación con menor consumo energético, lo que ha permitido instalar luminarias en espacios abiertos y lugares antes no iluminados, que suelen permanecer bajo la luz la noche entera. Por esa causa, calculan que a partir de la adopción estas fuentes luminosas de mayor eficiencia, el brillo nocturno de la Tierra crece cada año el 1,8 %, generando efectos indeseados, como dificultades en la gente para conciliar el sueño, cambios temporales en la migración de

aves, alteraciones en el inicio y duración de la floración en plantas, entre otros.

"Que le den candela, ¡ay! que le den…"

La luz está compuesta de radiación electromagnética, una combinación de campos eléctricos y magnéticos que se propagan a través del espacio en forma de ondas portadoras de energía.

De todo el espectro, la parte visible por el ojo humano es pequeña, y corresponde a longitudes de onda que van de 380 nanómetros a 780 nanómetros (un nanómetro equivale a una milmillonésima parte del metro). Esto es, desde el violeta hasta el rojo, que son los colores que podemos ver en el arcoíris. Lo que conocemos como luz blanca es la suma de todas las ondas comprendidas entre esas longitudes de onda, o una combinación de algunas de ellas[1].

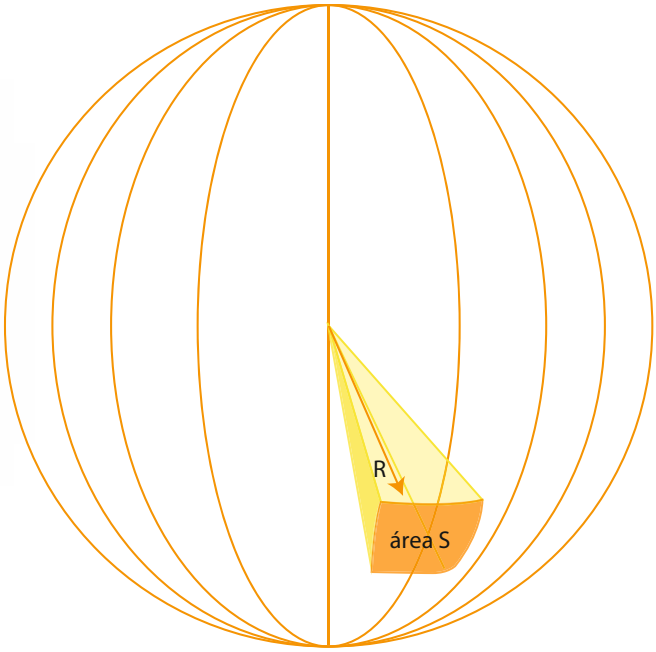
Dada la importancia de la luz en las actividades diarias, los científicos se plantearon la necesidad de evaluar las características de la radiación visible con el fin de establecer parámetros de utilidad, que fueran a su vez comparables. Así, en 1933, el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM), creó el Comité Consultivo de Fotometría y Radiometría (CCPR). La Comisión Internacional de la Iluminación - CIE (por sus siglas del francés, *Comission Internationale d'Éclairage*) oficializó los términos técnicos usados en iluminación y sus definiciones[2]. Y en 1954, la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) incorporó a la candela como la sexta unidad de base del Sistema Internacional de Unidades (SI), después del metro, el kilogramo, el segundo, el ampere y el kelvin.

La ciencia que se ocupa de las mediciones de la radiación en la parte visible del espectro electromagnético, evaluado de acuerdo con los efectos visuales que ésta produce en las personas, es la Fotometría. En sus inicios, se basaba en la comparación visual de fuentes luminosas y los primeros patrones fueron velas (candelas), de ahí el nombre dado a la unidad de intensidad luminosa.

En 1948 la candela fue definida con base en la radiación del platino a la temperatura de su solidificación. Como esa definición en la práctica era muy complicada de materializar, se fueron proponiendo otras formas de realizar la unidad, hasta que el CIPM adoptó la actual, en 1977, que tiene en cuenta el color y la dirección de la luz.

La candela es, pues, la intensidad luminosa en una dirección determinada de una fuente que emite radiación monocromática (de un solo color o línea espectral) a una frecuencia de 540×10^{12} hertz y que tiene una intensidad radiante en esa dirección de 1/683 watt por estereorradián.

Un estereorradián es el ángulo sólido que nace en el centro de una esfera y tiene una superficie (sobre la esfera) igual al cuadrado del radio. Si te resulta muy abstracto el concepto, puedes imaginarte al estereorradián como un área, un ángulo interno, de una esfera transparente que rodea a una vela encendida, o a cualquier otra fuente luminosa.



El ángulo sólido (ω) es medido en la unidad estereorradián (símbolo sr). El ángulo sólido correspondiente a una figura cualquiera, con área S, en la superficie de una esfera de radio R, es:

$$\omega = \frac{4\pi S}{S_{esf}} = \frac{4\pi S}{4\pi R^2} = \frac{S}{R^2}$$

Un casquete esférico cuya área S es igual a R^2 define al ángulo sólido unitario (1 sr).

Ilustración: Alberto Parra del Riego. Idea: Ivo Ázara - INMETRO

Y tú, ¿qué ves?

La curva espectral de sensibilidad a la luz se determinó a principios del siglo XX a partir del valor promedio de mediciones realizadas sobre alrededor de 500 observadores, en su mayoría de origen europeo. Tomando sus respuestas a diferentes estímulos lumínicos, los metrólogos definieron el grado de sensibilidad del ojo humano a la luz, el que es altamente sensible a la franja de color verde-amarillento y poco sensible al rojo y al azul.

A diferencia de las otras, la candela es la única unidad básica del SI para cuya definición se usaron experimentos hechos con seres vivos; más específicamente, de la percepción del ojo humano. Imaginando a ese panel a comienzos del 1900 es inevitable preguntarse,

[1] Para producir luz blanca no son necesarios todas las longitudes de onda. Un ejemplo de esto son las lámparas LED *RGB*, que combinan rojo, verde y azul para formar una amplia variedad de colores, inclusive la luz blanca.
[2] *http://eilv.cie.co.at/?utm_source=CIE+Newsletter&utm_campaign=27ef48f646-CIE_Newsletter_10_2012_15&utm_medium=email*

¿cómo se estandarizó esa medición realizada con voluntarios que, además de ser sólo europeos, debieron presentar diferencias (al menos en cuanto a la edad y la agudeza visual)? Y los estímulos visuales que les presentaron, ¿cómo hicieron para mantenerlos invariables? ¿Cómo habrán asegurado que se mantuviera el mismo nivel de intensidad lumínica del entorno a lo largo de las pruebas? Si se repitiera hoy, ¿daría igual?

Lo cierto es que esa determinación ("a ojímetro", diríamos) ha llevado a que algunos especialistas consideren a la candela como el patito feo de las unidades de medida.

Patrones de medida

Muchas veces te contamos que una de las tareas clave de la Metrología es conservar y diseminar las unidades del SI, es decir, extender ese conocimiento a todos los ámbitos (científico, industrial, de intercambio comercial, entre otros). En el Centro Nacional de Metrología de México (CENAM), la realización de la candela por medio de experimentos está basada en un conjunto de detectores fotométricos calibrados con referencia a otros patrones nacionales mantenidos por el propio CENAM, cuya exactitud se disemina actualmente, como en muchos otros Institutos Nacionales de Metrología, empleando lámparas de tipo incandescente.

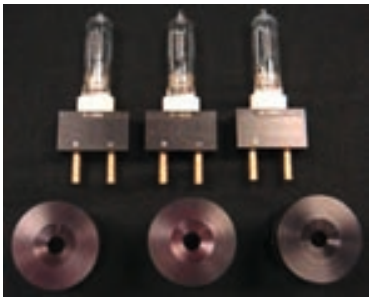


Foto cedida por CENAM.

No obstante, con la tendencia mundial de reducir la comercialización de estas lámparas, seguramente en un futuro también se verá afectada la producción de lámparas de uso científico. Por eso, los laboratorios de medición del mundo ya están investigando y desarrollando otros métodos para garantizar la equivalencia de sus mediciones a realizaciones de la candela.

A partir de estos patrones se calibran luxómetros (instrumentos de transferencia) con los que se realizan unidades derivadas, como el lumen (que es igual a la intensidad luminosa multiplicada por ángulo sólido) o el lux (que es igual a la intensidad luminosa dividida por el cuadrado de la distancia), y se asignan valores de intensidad a otras lámparas.

Las lámparas que se usan para diseminar la candela tienen una validez que depende fundamentalmente del tiempo de uso, por lo que se requiere de recalibraciones e intercomparaciones periódicas.

En la industria se están empleando sistemas espectrorradiométricos para sus mediciones rutinarias, y algunos Institutos Nacionales de Metrología los han adoptado como parte de sus métodos para la diseminación de la unidad. Adicionalmente ya se están estudiando fuentes de luz basadas en led.

La evolución hacia la revisión del SI.

Si bien en el pasado mes de noviembre (2018) se aprobaron las nuevas definiciones para el kilogramo, el ampere, el kelvin y el mol, éstas no tendrán un impacto en el segundo, el metro y la candela. Aunque los metrólogos no se quedan nunca quietos y siempre buscan cómo mejorar la exactitud de las mediciones, la candela por ahora continuará con su definición actual.

Y mientras tanto tú, cuando se acerque la noche y la escena tan temida amenace con repetirse, piensa en que si tus padres hubiesen sido otros (Bill y Melinda Gates, por ejemplo, o Steve Jobs —todos genios de la tecnología—), aún así no te salvarías de la invitación a desconectarte. El fundador de Microsoft ha dicho públicamente que sus tres hijos, de 15, 18 y 21 años, no sólo no pudieron tener un móvil hasta los 14 años, sino que tienen prohibido los dispositivos en la mesa de comer y tampoco pueden conectarse a Internet cuando se acerca la hora de acostarse. Por algo será.

¿Cómo se mide el brillo de las pantallas que miras?

Una propiedad que se puede medir de las pantallas o artefactos que emiten luz, es su brillo.

El término científico correcto es luminancia y se refiere a la cantidad de luz emitida en una determinada área. La unidad que se utiliza para expresarla es candela por metro cuadrado (cd/m²).

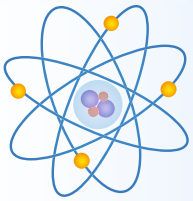
En algunos países hay normas estrictas que reglamentan el máximo de luminancia permitido para no perturbar la visión; rigen, por ejemplo, para los carteles de luces led que se utilizan para hacer publicidad en la vía pública.

Fuente de luz	Luminancia
Vela	1 cd/m²
Tv doméstica	250 cd/m²
Monitor profesional gama básica	350 cd/m²
Monitor profesional gama media	500 cd/m²
Monitor profesional alta gama	700 cd/m²
Monitor profesional de alta luminosidad	2500 cd/m²
Pantalla exterior de luces led	6500 cd/m²

Tabla adaptada de *Luminosidad en una pantalla, candelas. Videotips, Mass University.https://www.youtube.com/watch?v=UahCRbfGjj0*

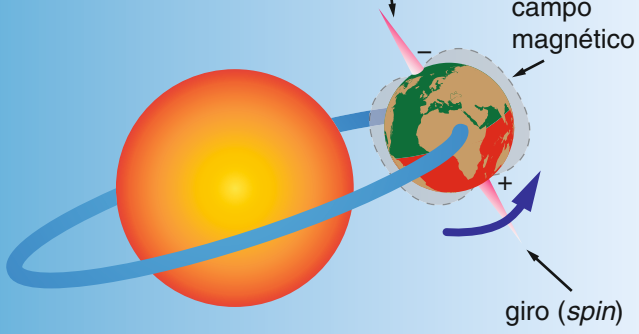
Carlos H. Matamoros-García (México)
y Claudia Mazzeo (Argentina)

La frecuencia de la radiación emitida en la transición hiperfina del átomo de cesio 133 ($\Delta\nu_{Cs}$)

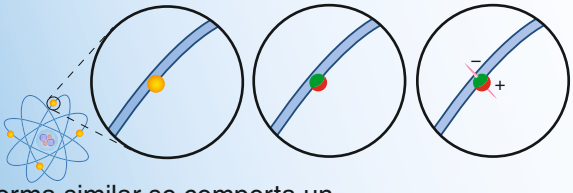


Como sabemos, un átomo está formado por un núcleo (compuesto por protones y neutrones) y electrones que se desplazan en diferentes niveles energéticos.
Dependiendo de la energía de cada electrón en relación con el núcleo, entre ellos se genera un campo magnético.

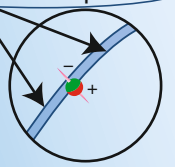
Ahora pensemos en la Tierra y su rotación. No solo gira alrededor del Sol, sino que además gira sobre su propio eje



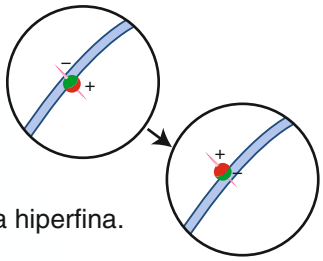
Un efecto de ese giro (o spin) es el campo magnético característico de la Tierra.

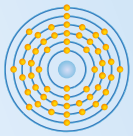


En forma similar se comporta un electrón con respecto al núcleo del átomo, pero dentro del nivel energético en el que se desplaza y gira el electrón, existen subniveles que forman la estructura hiperfina del átomo.



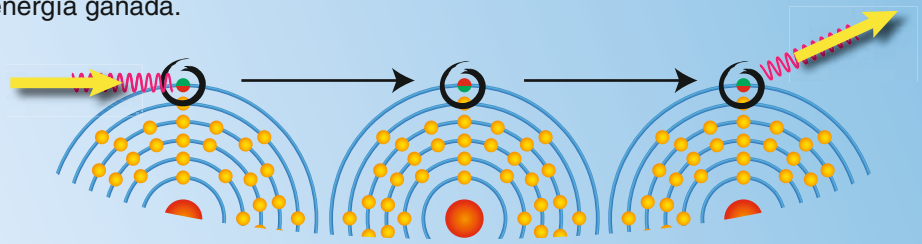
Si logramos afectar su *spin*, la polaridad del electrón se modifica, afectando a su vez el campo magnético, y el electrón se traslada a un nivel superior o inferior dentro de la estructura hiperfina.





Átomo de cesio (Cs133)

Si al electrón de la última órbita del átomo del Cs133 se le aplica una microonda con una frecuencia determinada, el electrón gana energía y se desplaza a un nivel superior dentro de la estructura hiperfina, modificando también su polaridad. Para regresar al nivel inferior el electrón emite o libera esa misma energía ganada.



$$\Delta\nu_{Cs} = 9\ 192\ 631\ 770\ \text{Hz}$$

El segundo (s) es la unidad de tiempo del SI. A partir de mayo de 2019 se definirá asignando el valor numérico fijo de 9 192 631 770 a la frecuencia de la radiación emitida en la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del isótopo Cs133 no perturbado ($\Delta\nu_{Cs}$) expresado en la unidad Hz, en donde Hz es igual a s^{-1}.

$$1\ \text{s} = \frac{9\ 192\ 631\ 770}{\Delta\nu_{Cs}} \qquad 1\ \text{Hz} = \frac{\Delta\nu_{Cs}}{9\ 192\ 631\ 770}$$

La constante $\Delta\nu_{Cs}$ también se utilizará para definir el kilogramo, el metro, el ampere, el kelvin y candela.

1, 2, 3… tiempo y átomos

En la escuela nos enseñaron que los átomos son los componentes fundamentales de la materia. Un átomo en particular tiene un rol fundamental para medir el tiempo.

Ana va de camino a su primer día en la Universidad. Su mañana empezó algo apurada. El despertador no sonó y se levantó tarde. Se bañó rápidamente, desayunó algo ligero y se despidió de su mamá.

En el autobús mira constantemente la aplicación de mapas de su teléfono móvil para corroborar el estado del tránsito. La aplicación que emplea GPS le indica que podría llegar 15 minutos tarde. Para Ana, cada segundo de atasco vehicular cuenta. Después de todo, es su primera clase de la carrera de Física.

¿Crees que Ana llegará a tiempo?

La confiabilidad que brindan tu teléfono y la Internet te ayuda a levantarte a tiempo o recordarte que tienes que estudiar para el examen. Estas herramientas funcionan gracias a que los sistemas de telecomunicaciones están sincronizados en tiempo para tener precisiones de menos de un segundo.

Pero, toma en cuenta que en las mediciones siempre hay un margen de error. Tal vez te ha pasado que el mapa del teléfono te indica que falta cierta cantidad de tiempo para llegar a un lugar, pero cuando llegas, te das cuenta que llegaste más tarde o en el mejor de los casos, llegaste antes.

Anteriormente, la forma natural de medir el tiempo era el día, el cual se define por la rotación de la Tierra sobre su propio eje. Por tradición, cada día está dividido en 24 horas, cada hora en 60 minutos y cada minuto en 60 segundos.

¿Cómo nos aseguramos que las mediciones del tiempo sean lo más exactas posibles? Pensarás que un segundo es un segundo… pero ¿cómo llegamos a calcularlo?

Midamos el tiempo con átomos

Desde 1967 los científicos de los Institutos Nacionales de Metrología utilizan el elemento químico cesio (Cs) para medir el tiempo de manera precisa con relojes atómicos. Para ello, utilizan la frecuencia de transición del isótopo de cesio 133 como base para definir la duración del segundo en el Sistema Internacional de Unidades (SI).

El número másico es la suma del número de protones y de neutrones en el núcleo de un átomo.

Probablemente has estudiado la tabla periódica de los elementos, ¿no? Recordarás que los elementos están compuestos por átomos de la misma clase. En el núcleo de cada átomo hay un número definido de protones y neutrones. Y a su alrededor, electrones; en igual número que los protones.

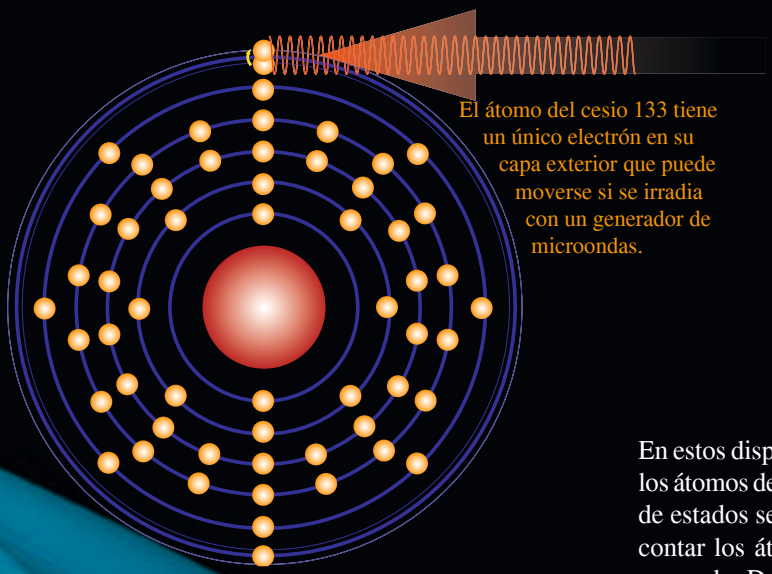
Sin embargo, existen los isótopos: átomos de un mismo elemento que en sus núcleos tienen una cantidad diferente de neutrones y, por tanto, distinto número másico.

Los electrones de un átomo giran en capas alrededor del núcleo en la llamada nube electrónica. Cada capa de la nube tiene un nivel de energía y si queremos hacer que un electrón salte de una capa a otra superior, necesitamos que el átomo reciba energía. ¿Qué tiene que ver todo esto con el cambio de la frecuencia y el segundo?

Cada capa tiene un nivel de energía. Entonces, si queremos cambiar de posición a un electrón de una capa a otra superior, debemos entregarle al átomo una energía igual a la diferencia energética entre ambos niveles. ¿Y cómo transferimos esta energía? Una de las formas de hacerlo es con radiación, brindando ondas energéticas que tienen

frecuencias específicas. Recuerda que la frecuencia es el número de veces que se repite un suceso en un período de tiempo. En este caso, es el número de veces que se repite el patrón de la onda en un segundo.

¡Y aún hay más! El átomo de cesio 133 tiene un único electrón en su capa más externa. Si controlamos la cantidad de energía que emitimos al átomo, podemos lograr que el electrón salte hasta el nivel que queremos. Y ese movimiento del electrón es lo que se utiliza para definir un segundo.



El átomo del cesio 133 tiene un único electrón en su capa exterior que puede moverse si se irradia con un generador de microondas.

En base a la nueva definición, el segundo es igual a la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado base del átomo de cesio 133.

Ilustración: Alberto Parra del Riego

Nuestro ojo no está diseñado para ver este movimiento dentro del átomo. Por eso los metrólogos, científicos que estudian las unidades de medida que utilizamos diariamente, utilizan equipos especiales como el reloj atómico de cesio para realizar la medición.

Reloj atómico o fuente de cesio que permite medir el tiempo con la mayor exactitud posible.
Foto cedida por PTB.

En estos dispositivos, un generador de microondas irradia los átomos del cesio 133, mientras que un magneto selector de estados separa los que estén polarizados, permitiendo contar los átomos con el nivel de energía de transición esperada. De hecho, el segundo es la unidad de medida más exacta, y por ello otras unidades como el metro o el volt se miden a partir de ella.

Relojes atómicos del Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas (LMVE) del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).
Foto cedida por LACOMET.

El tic-tac que marca nuestra vida

El tiempo es una magnitud física que impacta en todas las actividades de la vida. Todas las personas tenemos un reloj y organizamos nuestra vida en torno a él.

No importa si vives en Costa Rica, Argentina, México, Estados Unidos, Alemania o Italia, el segundo durará lo mismo en todos los países del mundo.

Aunque no estemos totalmente sincronizados, los laboratorios de tiempo e Institutos Nacionales de Metrología (INM) de todo el mundo comparan sus relojes atómicos para, de esta manera, calcular el UTC - Tiempo Universal Coordinado. El UTC es la referencia de tiempo mundial y está basado en el promedio ponderado de los datos obtenidos.

Por ejemplo, en Costa Rica, el Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas (LMVE) del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) es el encargado de realizar la hora local y compararla con la del resto de los laboratorios alrededor del mundo.

La Internet, tu computadora, el teléfono móvil de Ana, las tabletas, los satélites alrededor de la Tierra, el receptor GPS de un avión y otros equipos de telecomunicaciones y posicionamiento, emplean el UTC como referencia para su funcionamiento. Podríamos decir que necesitan tener un segundo en común.

Imagina si un avion comercial no tuviera su receptor GPS calibrado de manera correcta, o no recibiera instrucciones a tiempo por parte de la torre de control; habría riesgo de un accidente y pérdida de vidas humanas.

Los aviones requieren indicaciones en tiempo real para operar con seguridad. Si no midiéramos lo que es un segundo, los horarios de trenes y autobuses serían un caos en cualquier país del mundo. Y los dispositivos móviles no funcionarían bien al contar nuestros pasos cuando corremos o para recordarnos que debemos despertar temprano.

Ahora, volviendo con Ana...

Por fin, el autobús llega a la parada donde Ana debe bajarse. Ella corre y llega a su clase. Revisa la pantalla de su teléfono. El reloj marca las 08:20. Sonríe al ver que su profesor aún no ha llegado.

Feliz por su suerte, Ana se prepara para convertirse en física y quién sabe, quizá algún día ella descubra una nueva forma de medir el tiempo de forma mucho más exacta que la actual.

Grettel Rivera Alvarado y
Marcela Prendas Peña (Costa Rica)

Información adicional

El reloj atómico de cesio es uno de los instrumentos que se utilizan para realizar el segundo y consiste en:

- Un oscilador interno (átomos del isótopo cesio 133, debido a que brindan una gran exactitud en la medición, exitados por microondas o láser).
- Un mecanismo de conteo, para medir la frecuencia de transición del isótopo de cesio 133.
- Sistemas electrónicos de control para mostrar y desplegar información (pantalla que muestra la hora, salida de pulsos por segundo, salida de frecuencia, etc.)

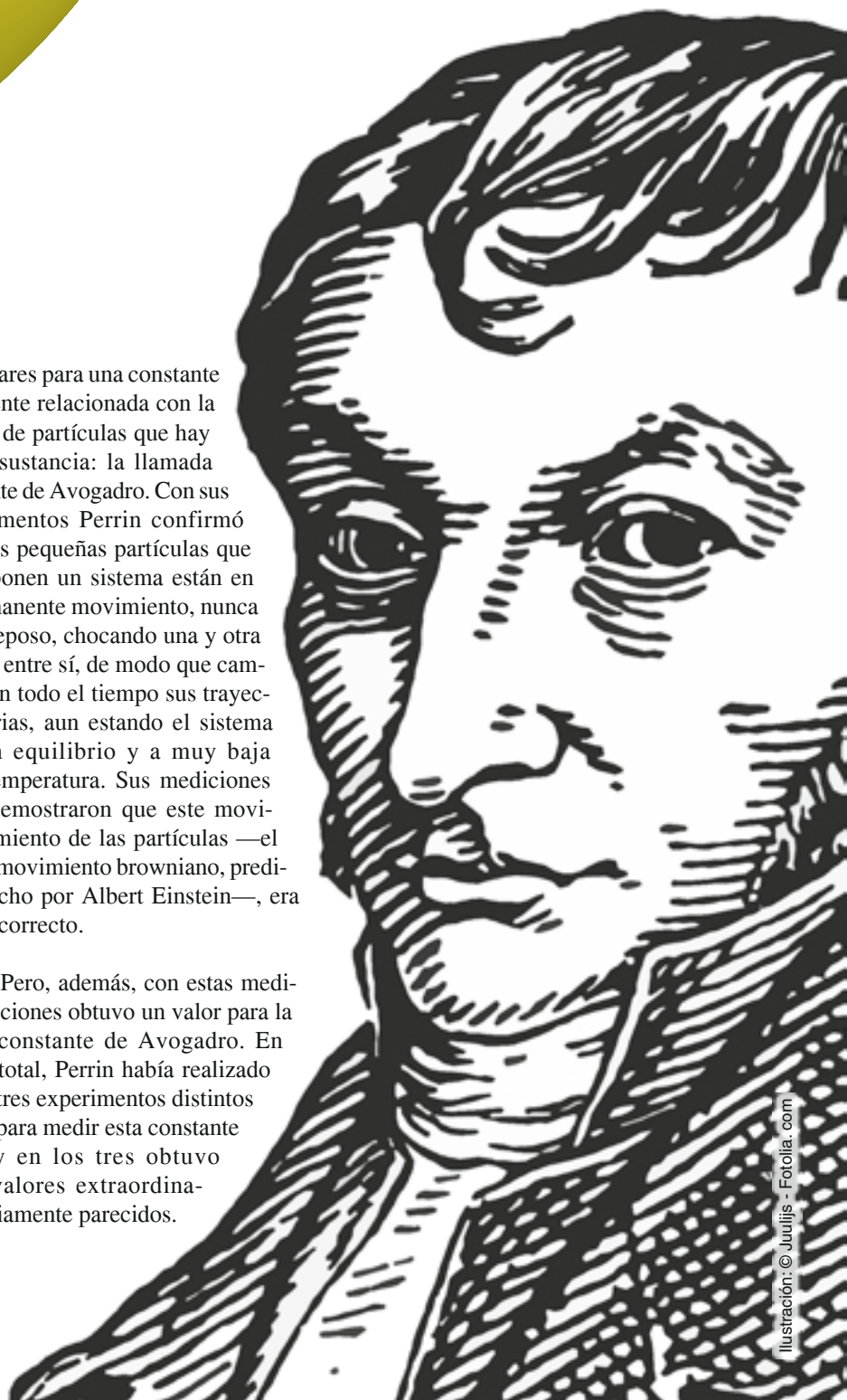
¿Cómo mejorar la medición del segundo?

De acuerdo con investigadores del PTB[1], actualmente se está procurando pasar al uso de relojes ópticos -que pueden ser 100 veces más precisos que los relojes de cesio- aunque aún tendremos que esperar unos años hasta que se comiencen a utilizar.

[1] El PTB (*Physikalisch-Technische Bundesanstalt*) es el Instituto Nacional de Metrología de Alemania.

Foto: Alberto Parra del Riego

La constante de Avogadro



A principios del siglo XX el físico químico francés Jean Perrin recibió el Premio Nobel de Física por sus trabajos sobre la naturaleza de los sistemas materiales. Perrin había hecho grandes aportes en el entendimiento de la estructura de la materia. En ese momento los conceptos de partículas, moléculas, átomos y electrones como componentes de la materia, si bien ya estaban sólidamente establecidos, requerían aún de mayor comprobación experimental. Entre otras cosas, Perrin se preguntaba por qué si los gases pesan no se encuentra todo el aire comprimido en la superficie de la Tierra, sino que, por el contrario, subiendo a las más altas montañas e incluso más arriba se sigue encontrando aire, aunque en menor cantidad.

Para responder a sus preguntas hizo varios experimentos. Por métodos distintos y en forma indirecta, encontró valores muy similares para una constante íntimamente relacionada con la cantidad de partículas que hay en una sustancia: la llamada constante de Avogadro. Con sus experimentos Perrin confirmó que las pequeñas partículas que componen un sistema están en permanente movimiento, nunca en reposo, chocando una y otra vez entre sí, de modo que cambian todo el tiempo sus trayectorias, aun estando el sistema en equilibrio y a muy baja temperatura. Sus mediciones demostraron que este movimiento de las partículas —el movimiento browniano, predicho por Albert Einstein—, era correcto.

Pero, además, con estas mediciones obtuvo un valor para la constante de Avogadro. En total, Perrin había realizado tres experimentos distintos para medir esta constante y en los tres obtuvo valores extraordinariamente parecidos.

Ilustración: © Juulijs - Fotolia.com

¿Cuántas moléculas, átomos o electrones hay en cierta cantidad de sustancia y cómo se cuentan?

La unidad que se usa en el Sistema Internacional de Unidades (SI) para la cantidad de sustancia es el mol y es una de las siete unidades de base.

En la actualidad el mol se define como la cantidad de sustancia en un sistema con tantas entidades elementales como cantidad de átomos hay en 0,012 kg de carbono 12. En esta definición los átomos están en su estado más bajo de energía, en reposo y sin interactuar unos con otros.

La definición del mol también determina el valor de la constante que relaciona el número de entidades de lo que se desea medir con la cantidad de sustancia para cualquier muestra: la constante de Avogadro (N_A).

N_A representa el número de entidades elementales (que pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, otras partículas, o grupos específicos de tales partículas) en un mol de una sustancia. Si el número de entidades de una sustancia Z es N(Z) y si n(Z) es la cantidad de sustancia de esas entidades, entonces: $N(Z) = N_A \times n(Z)$

El valor mejor medido para N_A hasta el momento es $6,\ 022\ 140\ 857\ (74) \times 10^{23}\ mol^{-1}$.

El valor numérico de la constante de Avogadro depende del sistema de unidades que utilicemos para medirlo. Esto sucede con otras constantes, por ejemplo, para la velocidad de la luz (299 792 458 m/s), su valor numérico depende del tamaño que se eligió de forma convencional para el metro y el segundo. El mol también es una unidad elegida en forma convencional. Los metrólogos en sus laboratorios siguen realizando experimentos para conocer el valor más exacto posible para la constante de Avogadro, es decir el valor con la menor incertidumbre de medición[1] que las nuevas tecnologías nos permiten en la actualidad. El experimento más importante realizado hasta el momento para lograrlo es la esfera de silicio.

La esfera de silicio

La esfera de silicio es la esfera más perfecta obtenida alguna vez por la Humanidad. Está hecha de un cristal casi puro de silicio 28. Fue pulida a tal grado que las diferencias de altura en la superficie son de tan solo 0,3 nm (0,3 nanómetros), casi el espesor de una capa de átomos.

El silicio tiene una estructura cristalina homogénea. El silicio 28 es un cristal en el que se puede medir muy bien la distancia entre los átomos que lo forman, usando difracción de rayos X. Midiendo el volumen de la esfera se puede calcular con muy alta precisión el número de átomos, y así determinar un nuevo valor, más exacto, de la constante de Avogadro.

La esfera de silicio, además, es hermosa.

Foto: Alberto Parra del Riego

El Proyecto Avogadro —nombre del proyecto internacional desarrollado con el fin de construir la esfera— involucra el trabajo en conjunto de reconocidos técnicos en el campo de las mediciones, pertenecientes a Institutos Nacionales de Metrología de Europa, Australia, Japón, Rusia y Estados Unidos.

Existe una relación muy estrecha entre la realización de la constante de Avogadro y la nueva definición del kilogramo, que se referirá a la constante de Planck. Por todo esto, el mundo metrológico espera con atención el nuevo valor experimental de la constante. A partir de 2019, ese valor será usado para redefinir el mol como la cantidad de sustancia de un sistema que contiene $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ entidades elementales especificadas.

Seguramente, el Proyecto Avogadro, a Perrin le hubiera encantado.

[1] La incertidumbre es la duda sobre el valor de una medición; las mediciones siempre están expuestas a errores y el valor de la incertidumbre debe indicarse siempre al expresar una medición.

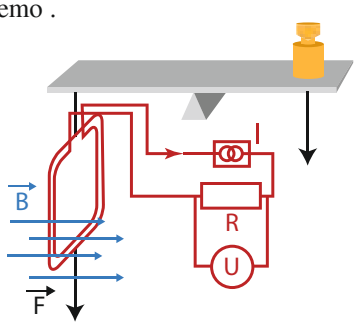
Ilustración globos: © natros - Fotolia. com

La constante de Planck y la nueva definición del kilogramo

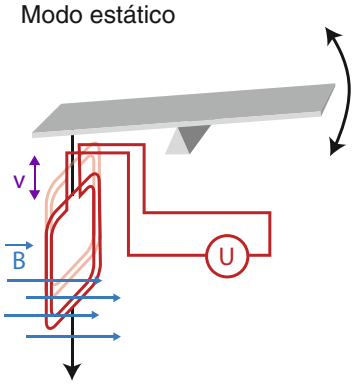
NH_3

Para entender los procesos atómicos y moleculares de los elementos se necesita la Física cuántica, y la constante fundamental de todos los procesos cuánticos es la constante de Planck (*h*).

Los mayores esfuerzos tecnológicos para obtener el valor de esta constante en la práctica, están puestos en una balanza, la balanza de Kibble. Esta permite equilibrar una fuerza electromagnética dispuesta en uno de los brazos de la balanza con la fuerza peso de una masa ubicada en el otro extremo .



Modo estático



Modo dinámico

La fuerza electromagnética es la que ocurre (o se produce) en un cable o bobina conductora por donde circula una corriente eléctrica con determinada intensidad (I), a la que se le aplica un campo magnético perpendicular (B). Al hacerlo, se genera una fuerza en la bobina, la fuerza de Lorentz (F_L), cuya magnitud es posible conocer aplicando una ecuación:

$F_L = B \times I \times L$
(L es una cantidad geométrica propia de la bobina).

Para lograr el equilibrio de la balanza (que las fuerzas de ambos brazos de la balanza —la electromagnética y la de la pesa— sean de la misma magnitud), se puede ir modificando la intensidad de corriente hasta que la fuerza de Lorentz ($B \times I \times L$) sea igual a la fuerza peso de la masa ubicada en el otro brazo ($m \times g$).

En equilibrio: $B \times I \times L = m \times g$

Pero medir la cantidad geométrica de la bobina (L) y el campo magnético (B) es muy difícil. Para solucionar este problema, en 1976 Kibble propuso un cambio: utilizar la balanza de otro modo, el modo dinámico, que implica hacer mover la bobina en el campo magnético.

En el modo dinámico, la bobina se hace mover en el campo magnético lentamente, a velocidad constante, lo que induce una propiedad que sí se puede medir con exactitud: la tensión eléctrica (U).

En este caso, para estimar la tensión se aplica la ecuación:
$U = B \times L \times v$
Reemplazando y despejando términos se obtiene:
$U \times I = m \times g \times v$

Ahora bien, la tensión eléctrica y la intensidad se pueden medir con muchísima exactitud a través de dos efectos cuánticos llamados el efecto Josephson y el efecto Hall cuántico.

Reemplazando y despejando términos, la ecuación resultante expresa una relación entre la masa y la constante de Planck (*h*):

$m = C\ (f_J \times f_{J'} / g \times v) \times h$

Las dos frecuencias (f_J y $f_{J'}$), la masa y la velocidad son magnitudes que pueden medirse con mucha exactitud (y dependen de los valores acordados por convención para el metro y el segundo). Finalmente, C es una constante que engloba a otras constantes del experimento.

Las ecuaciones anteriores son ideales. En la práctica hay muchas correcciones que deben hacerse teniendo gran cuidado en las condiciones en las que se hacen las mediciones: medir la aceleración de la gravedad local, la velocidad constante, que el campo y la espira estén perfectamente alineados, etc. Todo esto contribuye a la evaluación final de la incertidumbre del experimento.

En el Proyecto Avogadro, la esfera de silicio representa una forma completamente distinta de medir *h* que al hacerlo con la balanza de Kibble, y esto se debe a que existe una relación estrecha entre la constante de Avogadro y la constante de Planck. Por esta razón había un interés doble en la comunidad metrológica en medir muy bien N_A. Por un lado, para redefinir el mol, y por el otro para tener una medida de la constante de Planck. Así los valores aportados por ambos experimentos ayudaron a encontrar el mejor valor de la constante de Planck, lo que permitirá implementar los cambios que tendrá el Sistema Internacional de Unidades.

ALEJANDRA TONINA (ARGENTINA)

Trabajo final premiado - 1er. Taller regional de formación, actualización e intercambio sobre Periodismo, Comunicación y Divulgación de la ciencia de las mediciones (Metrología). Buenos Aires, Argentina. Abril de 2018.

Un cambio que acabará con los viajes a Francia

Científicos de todo el mundo realizan pruebas para la puesta en práctica de la nueva definición del kilogramo que comenzará a usarse en 2019.

El agua está en calma en la playa de Bella Vista (Uruguay), en la que no hay arena sino cientos de miles de cantos rodados de diferentes tonos amarronados.

De manera casi imperceptible a lo largo de los años el oleaje ha desgastado todas las piedras, una por una. Es casi el último tramo de playa de uno de los ríos más anchos del mundo, el Río de la Plata, que divide a este país de Argentina y solo unos kilómetros después desemboca en el Océano Atlántico.

A un grupo de científicos, los que desarrollan la ciencia de las Mediciones (Metrología), no les resulta extraño cómo los extremos puntiagudos de estas piedras se transformaron en superficies redondeadas. Saben bien que los objetos se desgastan con el uso y el paso del tiempo. Este tema los tiene metidos en un dilema que deberán resolver este año.

El kilogramo es la masa de un pequeño cilindro plateado hecho de una aleación de dos metales (90 % platino y 10 % iridio) que fue fabricado en Francia y desde 1879 es referencia para todo el mundo. Se lo llamó Prototipo Internacional del Kilogramo - IPK (por sus siglas en inglés) y se guardó en las instalaciones del Buró International de Pesas y Medidas - BIPM (por sus siglas en francés), donde aún se mantiene. Para asegurar que nada lo afecte, se conserva en una bóveda vidriada, adentro de una cámara de vacío. En aquel momento también se hicieron seis copias oficiales y a partir de ellas otras copias que se distribuyeron por el mundo (los patrones nacionales, que son la referencia para cada uno de los países).

Cada 40 años se saca el IPK de su búnker de seguridad y se compara con sus copias oficiales para determinar si han perdido o ganado masa por su uso.

A su vez, los patrones nacionales de tanto en tanto viajan a Francia, al BIPM, donde son calibrados (comparados) con las copias oficiales y al regresar se utilizan para calibrar otras pesas que se usan en cada país (los patrones de trabajo).

De este modo, a través de esta cadena de comparaciones (cadena de trazabilidad) se puede asegurar que la referencia de un kilogramo es la misma en cualquier lugar del mundo.

La necesidad de calibrar las pesas es inevitable. Al igual que las piedras de la playa de Bella Vista, tras el paso de los años y a pesar de los cuidados que se quiera tener, las pesas pierden o ganan masa. Solo el hecho de manipularlas para colocarlas en una balanza y luego guardarlas, puede generar una variación de masa, aunque sea mínima. Por eso se las debe calibrar, para saber cuál es su masa en realidad.

El mecanismo parece claro y sencillo, todas las copias se comparan en definitiva con el original IPK que se mantiene en Francia. Pero ¿y si el IPK, que es la referencia, sufre también variaciones por el paso del tiempo? De hecho, eso fue lo que desató un problema internacional que este año estaría a punto de resolverse.

"Pensábamos que el kilogramo no cambiaba, pero en realidad sí lo hacía por las reacciones con el ambiente, con el aire, como una piedra que se desgasta por el pasaje del agua por ella", dijo a *¡De Acuerdo!* Sheila Preste, responsable del Área de Masa del Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU), que es el Instituto Nacional de Metrología en dicho país.

"Se vio que en un trayecto de 100 años la variación pudo haber sido de hasta 50 microgramos. Esto no afecta en las actividades diarias, pero sí afecta en las científicas", aseguró Preste.

Foto: Alberto Parra del Riego

Por ejemplo, la industria farmacéutica necesita mediciones de gran precisión para poder elaborar los medicamentos; las cantidades de cada componente químico no pueden sufrir variaciones importantes. Necesitan poder calibrar sus balanzas de manera rigurosa. También ocurre en el control de residuos de metales y plaguicidas en alimentos, donde hay cantidades muy pequeñas que necesitan mediciones con exactitud.

Cada vez la ciencia avanza más y controla más. "Son cifras, controles y cantidades cada vez más finos", comentó a *¡De acuerdo!* el gerente de Análisis, Ensayo y Metrología del LATU, Daniel Volpe.

Para solucionar el problema, la comunidad internacional de metrólogos se embarcó en una nueva línea de trabajo: ¡redefinir el kilogramo!

Nuevo kilogramo.

Uruguay tiene cuatro kilogramos de referencia que se envían a Francia para ser calibrados con respecto a copias del IPK. Todos los países deben enviar los suyos, incluso los más desarrollados. Hasta ahora, claro.

En noviembre de 2018 la CGPM - Conferencia General de Pesas y Medidas, aprobó un cambio en la definición del kilogramo que se pondrá en práctica en mayo de 2019. Ahora será un kilogramo teórico, no dependerá más de un objeto. "No habrá más un solo kilogramo y este es el gran cambio que se avecina", destacó Preste.

"Estamos a punto de redefinir el Sistema Internacional de Unidades en función de constantes fundamentales, como la de Planck. Las constantes serán los jefes y las usaremos para medir", comentó Jon Pratt, representante del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de EEUU (NIST, por sus siglas en inglés), durante un taller que se realizó en el LATU en marzo de 2018[1].

La constante de Planck es un número constante en la naturaleza definido como $h = 6{,}626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ J × s.

Lo importante es que, a partir de lograr un consenso en el valor de la constante de Planck, no habrá más un único kilogramo de referencia guardado bajo llave, alarmas y estrictas condiciones de seguridad en Francia.

A partir del 2019 los países podrán tener su propia trazabilidad si pueden reproducir en sus laboratorios los experimentos para determinar el valor de un kilogramo a partir de la constante de Planck. El nuevo kilogramo se podrá reproducir en muchos países.

La trazabilidad es una cadena ininterrumpida de calibraciones, desde un patrón de medición de referencia hasta un patrón de trabajo, con incertidumbres determinadas.

Esferas en Latinoamérica

Hay en marcha experimentos para poner en práctica la nueva definición del kilogramo.

Una de las propuestas es dejar de lado el uso de las pesas cilíndricas y pasar a utilizar una esfera de silicio puro. Otra propuesta es utilizar la balanza de Watt o balanza Kibble. La de silicio es una bola un poco más grande que una de tenis, de 9,4 cm de diámetro, hecha de este material de alta pureza que a la vista luce como si fuera metal. Es plateada, brillante, perfectamente pulida, y representa una esfera casi perfecta.

El silicio forma cristales bien homogéneos. Es por todas estas características, qué a través de la determinación del volumen de la esfera, se puede estimar con una alta exactitud cuántos átomos de silicio contiene. Una vez determinada la masa de un átomo de silicio y determinada la cantidad de átomos que contiene, se puede realizar con esa esfera el kilogramo.

El Instituto de Metrología de Alemania (el PTB, por sus siglas en alemán) está enviando esferas de silicio a varios países de la región. Colombia y México fueron los primeros en recibirlas, y desde diciembre de 2017 el LATU tiene la suya, guardada en uno de los laboratorios bajo llave.

Para realizar mediciones con la esfera, se sigue un estricto procedimiento de limpieza: se lava con un jabón especial, se enjuaga con etanol, se seca con un paño de microfibra, se observa atentamente con una lupa y se registra cualquier alteración. La idea es que esta información sirva para mejorar los procedimientos de trabajo.

"¡Nada se vuelve práctico sin práctica! Es igual que practicar a tocar la guitarra, es lo mismo en ciencia con las mediciones", aseguró Pratt.

María Paz Sartori (Uruguay)

Foto: Nicolás Der Agopián

[1] Taller sobre "La realización de la unidad de masa en el nuevo Sistema Internacional de Unidades", realizado el 21 de marzo de 2018 en Montevideo, Uruguay.

Foto guijarros: © arely- Fotolia. com

Créditos

Editorial:
SIM – Sistema Interamericano de Metrología
Avenida Italia 6201.Montevideo. Uruguay. CP 11500

Comité Editorial:
Juan Carlos Castillo, IBMETRO - Bolivia; José Dajes, INACAL - Perú; Gabriela de la Guardia, CENAMEP AIP - Panamá; Silvana Demicheli - Uruguay; Claudia A. Estrada, CIM - El Salvador; Ulf Hillner, PTB - Alemania; Fernando Kornblit, INTI - Argentina; Rubén Lazos, CENAM - México; Luis Mussio, OIML - Francia; Luis Fernando Oviedo, INM - Colombia; Alberto Parra del Riego, PTB - Alemania; Marcela Prendas, LACOMET - Costa Rica; César Riveros, INTN - Paraguay; Claudia Santo - Uruguay; Silvio F. Santos, INMETRO - Brasil; Alexis Valqui - Perú; Daniel Volpe, LATU - Uruguay.

Comité Ejecutivo:
Director Ejecutivo de la revista: Alexis Valqui - Perú
Secretaría Técnica: Silvana Demicheli (por PTB) - Uruguay
Diseño y diagramación: Alberto Parra del Riego - Alemania

Diseño y Diagramación:
Alberto Parra del Riego (Alemania)

Comité de Redacción:
Silvana Demicheli; Enrique Garabetyan, Claudia Mazzeo, Alberto Parra del Riego; Alexis Valqui.

Apoyo logístico:
Diana Kleinschmidt (PTB)

Revisores:
Juan Carlos Castillo, IBMETRO - Bolivia; José Dajes, INACAL - Perú; Gabriela de la Guardia, CENAMEP AIP - Panamá; Silvana Demicheli - Uruguay; Claudia A. Estrada, CIM - El Salvador; Ileana Hidalgo, LACOMET (Costa Rica); Fernando Kornblit, INTI - Argentina; Héctor Laiz - SIM; Rubén Lazos, CENAM - México; Luis Mussio, OIML - Francia; Luis Fernando Oviedo, INM - Colombia; Alberto Parra del Riego, PTB - Alemania; Marcela Prendas, LACOMET - Costa Rica; César Riveros, INTN - Paraguay; Claudia Santo - Uruguay; Silvio F. Santos, INMETRO - Brasil; Alexis Valqui (por PTB) - Perú; Daniel Volpe, LATU - Uruguay.

Revisores invitados – Expertos integrantes de Grupos de trabajo (TWGs) del SIM:
Karina Bastida, INTI - Argentina; Luz Cori, INACAL - Perú; Valnei S. Cunha, INMETRO - Brasil; Lucas Di Lillo, INTI - Argentina; Edgar Méndez, CENAM - México; Thiago Menegotto, INMETRO - Brasil; Raúl Solís, CENAMEP AIP - Panamá.

Autores y colaboradores por artículo:
- **¿Puede un superhéroe viajar tan rápido como la luz?** Autor: Carlos A. Donado Morcillo (Panamá).
  Colaboración técnica: Anselmo Araolaza - CENAMEP AIP (Panamá).
- **¡Sube la temperatura!** Autores: Ciro A. Sánchez - INM, Antonio Paz (Colombia).
- **Un nuevo conductor designado.** Autoras: Mariana Arce-Osuna - CENAM, Elvira Morgado (México).
- **De conejos, galeras, cuantos y pasamanos.** Autora: Claudia Mazzeo (Argentina).
  Colaboración técnica: Alejandra Tonina, Marcos Bierzychudek - INTI (Argentina)
- **Jaula de iones y computadoras cuánticas.** Autora: Claudia Mazzeo (Argentina).
  Colaboración técnica: Juan Pablo Paz - Universidad de Buenos Aires (Argentina).
- **No hay mol que por bien no venga.** Autores: Mabel Delgado - IBMETRO, Javier Méndez (Bolivia).
  Colaboración técnica: Juan Carlos Castillo - IBMETRO (Bolivia).
- **Secretos de una taza de café.** Autor: Fernando Aguilar (El Salvador).
  Colaboración técnica: Claudia A. Estrada (El Salvador).
- **La constante más iluminada en la liturgia del rock.** Autores: Marcos Bierzychudek - INTI, Claudia Mazzeo (Argentina).
  Colaboración técnica: Alberto Zinzallari - INTI (Argentina).
- **Trillones a la carga.** Autores: Roque A. Báez - INTN (Paraguay), Fernando Kornblit - INTI, Enrique Garabetyán (Argentina).
- **Electrones a la pista.** Autor: Enrique Garabetyan (Argentina).
  Colaboración técnica: Marcos Bierzychudek, Fernando Kornblit, Mariano Real, Alejandra Tonina - INTI (Argentina).
- **La Química en la cocina.** Autora: Raquel Tineo (Perú).
  Colaboración técnica: Galia Ticona, Edwin Guillén, Christian Uribe - INACAL (Perú).
- **La conservación de especies y la Metrología.** Autoras: Marcela Prendas Peña - LACOMET (Costa Rica), Silvana Demicheli (Uruguay).
  Colaboración técnica: Maike Heidemeyer - Equipo Tora Carey (Costa Rica).
- **Desde las piedras de fuego.** Autores: José Carlos Valente de Oliveira y Victor Manuel Loayza Mendoza – INMETRO; Elizabeth de Oliveira (Brasil).
- **¡Que le den candela!** Autores: Carlos H. Matamoros - CENAM (México), Claudia Mazzeo (Argentina).
- **1,2,3… tiempo y átomos.** Autoras: Marcela Prendas Peña - LACOMET, Grettel Rivera Alvarado (Costa Rica).
  Colaboración técnica: Gabriel Molina - LACOMET, Oscar Fallas – LMVE/ ICE (Costa Rica), Diego Luna - INTI (Argentina).
- **La constante de Avogadro.** Autora: Alejandra Tonina - INTI (Argentina).
- **Un cambio que acabará con los viajes a Francia.** Autora: María Paz Sartori (Uruguay).
  Colaboración técnica: Sheila Preste, Daniel Volpe - LATU (Uruguay).

Infográficos:
Autor: Alberto Parra del Riego - Alemania.
Gráficos de constantes y unidades de base del SI: cedidas por PTB - Alemania

Página web:
www.revistadeacuerdo.org

Copyright:
SIM - Revista ¡De acuerdo! Derechos reservados.
ISSN 2301-0932 (Impresa) – ISSN 2301-1718 (En línea)

Fecha de Edición:
Diciembre de 2018

Fotos en Portada:
Ilustración de la Tierra: © iuliiawhite - Fotolia.com
Todas las demás fotos e ilustraciones: Alberto Parra del Riego

INSTITUTO BOLIVIANO DE METROLOGÍA

"Mediciones confiables para el Vivir Bien"

El Instituto Boliviano de Metrología (IBMETRO), entidad desconcentrada dependiente del Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural, es la máxima autoridad técnica de Metrología en Bolivia y la referencia nacional para las mediciones. Custodia los patrones nacionales de medición y disemina la exactitud de los mismos, mediante servicios vinculados al Sistema Internacional de Unidades (SI).

Dentro los servicios que IBMETRO ofrece se destacan los siguientes:

- Calibración de instrumentos que son usados para medir presión, fuerza, longitud, peso, volumen, temperatura, humedad, flujo líquido, flujo de gas natural, densidad, electricidad, energía, frecuencia, sonometría, torque, flujo luminoso, pH, conductividad, espectrofotometría, UV-Vis, alcohol en aliento humano, cromatografía, analizadores y gases de emisión vehicular.
- Ensayos de aptitud en minerales, agua, alimentos, leche, grados Brix, hidrocarburos y otras matrices de acuerdo a requerimientos.
- Ensayos químicos en parámetros físicos químicos como pH, conductividad electrolítica, dureza, turbidez, determinación de metales pesados, entre otros.
- Ensayos químicos en aguas residuales como pH, SST, DQO y metales pesados.
- Se ofrecen ensayos para cereales, en parámetros proximales, como humedad, ceniza, grasa y proteína, además de pesticidas en quinua.
- Se producen materiales de referencia certificados en diferentes matrices, los cuales se usan para la calibración, validación y control interno de los resultados.
- Se realiza la evaluación de desempeño en productos de consumo masivo.

Se realiza el control metrológico de instrumentos de medición envueltos en transacciones comerciales y transferencia de custodia, como en el sector de hidrocarburos (balanzas, recipientes volumétricos, camiones cisternas, medidores de flujo), medidores domiciliarios de agua y energía.

A través de la Dirección Técnica de Acreditación, se reconoce la competencia técnica de organismos de evaluación de la conformidad, entre los que se destacan:

- Laboratorios de ensayos y calibración.
- Organismos de certificación de sistemas
- Organismos de certificación de productos.
- Organismos de certificación de personas.
- Laboratorios clínicos.
- Organismos de inspección.

Esta edición de la revista *¡De acuerdo!* ha sido realizada gracias a la participación y colaboración de los siguientes Institutos Nacionales de Metrología:

Centro de Investigaciones de Metrología (El Salvador) www.cim.gob.sv

Centro Nacional de Metrología (México) www.cenam.mx

Centro Nacional de Metrología de Panamá (Panamá) www.cenamep.org.pa

Instituto Boliviano de Metrología (Bolivia) www.ibmetro.gob.bo

Instituto Nacional de Calidad (Perú) www.inacal.gob.pe

Instituto Nacional de Metrología de Colombia (Colombia) www.inm.gov.co

Instituto Nacional de Tecnología Industrial (Argentina) www.inti.gob.ar

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Brasil) www.inmetro.gov.br

Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología (Paraguay) www.intn.gov.py

Laboratorio Costarricense de Metrología (Costa Rica) www.lacomet.go.cr

Laboratorio Tecnológico del Uruguay (Uruguay) www.latu.org.uy

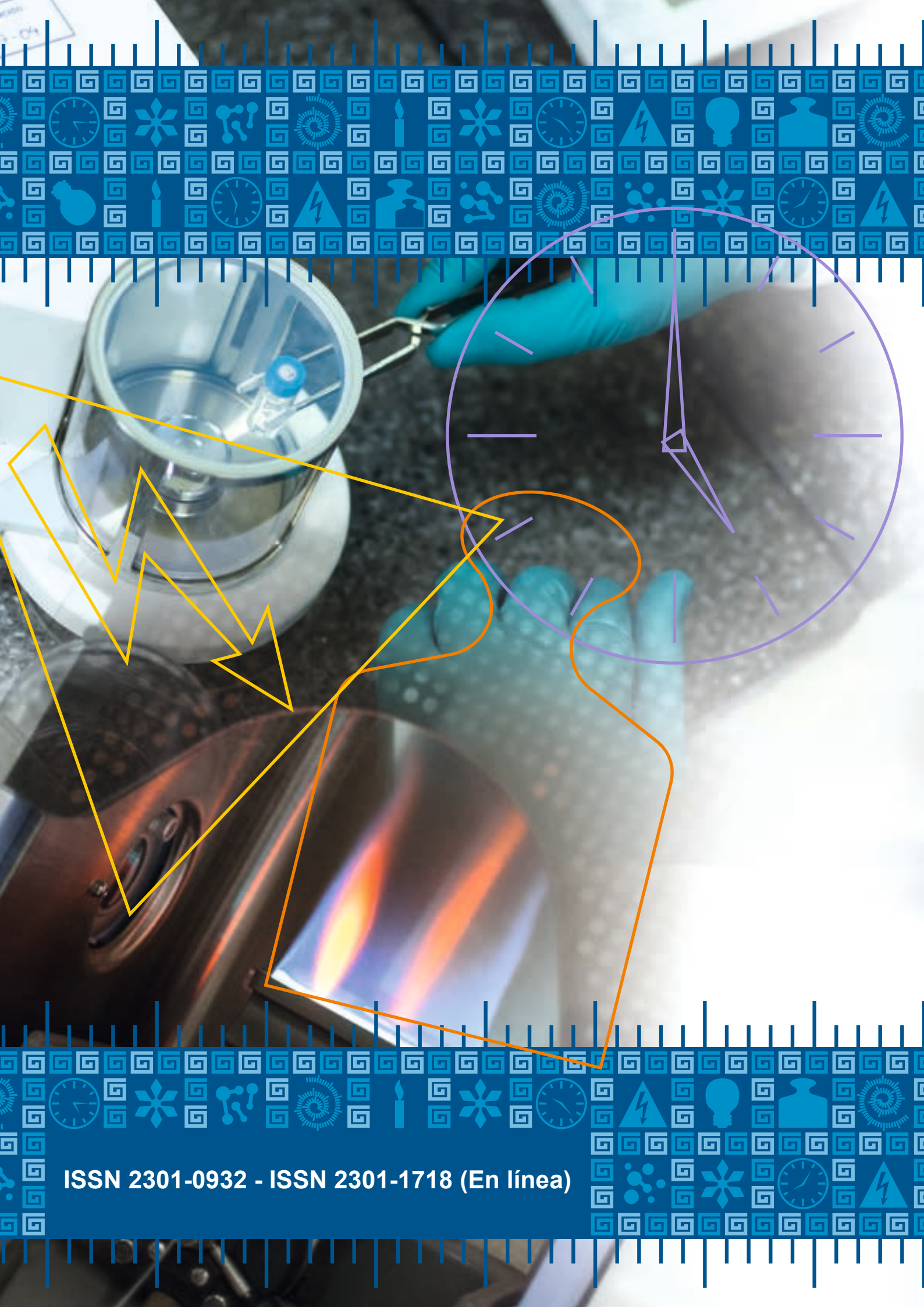
Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Alemania) www.ptb.de

Esta edición de la revista *¡De acuerdo!* ha sido realizada gracias al apoyo financiero de:

Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (Alemania) www.bmz.de

Esta edición de la revista *¡De acuerdo!* ha sido realizada gracias a la cooperación de:

Sistema Interamericano de Metrología www.sim-metrologia.org.br



ISSN 2301-0932 - ISSN 2301-1718 (En línea)