

¡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 ellas¹.

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 definiciones². 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 amperio 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.

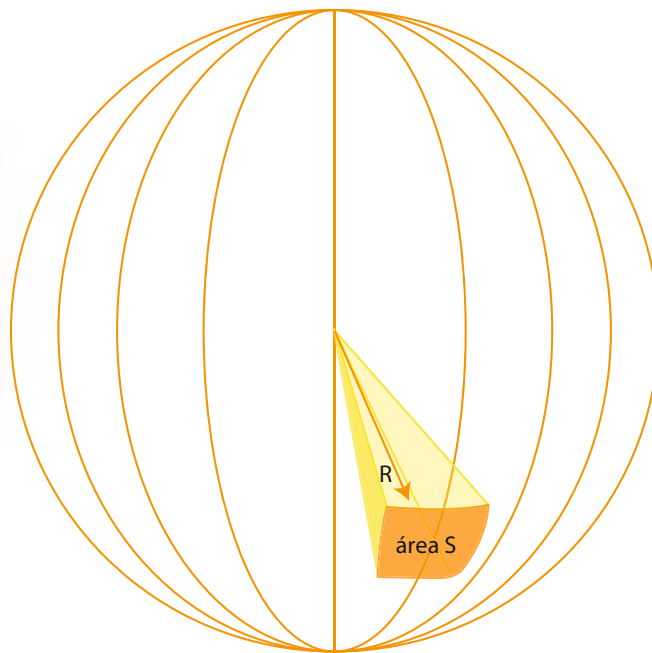
En 1948 la candela fue definida con base en la radiación del platino a la temperatura de su solidificación. Como esa definición en la práctica era muy complicada de materializar, se fueron proponiendo otras formas de realizar la unidad, hasta que el CIPM adoptó la actual, en 1977, que tiene en cuenta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

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://eiv.cie.co.at/?utm_source=CIE+Newsletter&utm_campaign=27ef48f646-CIE_Newsletter_10_2012_15&utm_medium=email

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:

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

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 metrologos 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,

¿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 inter-comparaciones 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 amperio, el kelvin y el mol, éstas no tendrán un impacto en el segundo, el metro y la candela. Aunque los metrologos 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/m^2).

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/m^2 |
| Tv doméstica | 250 cd/m^2 |
| Monitor profesional gama básica | 350 cd/m^2 |
| Monitor profesional gama media | 500 cd/m^2 |
| Monitor profesional alta gama | 700 cd/m^2 |
| Monitor profesional de alta luminosidad | 2500 cd/m^2 |
| Pantalla exterior de luces led | 6500 cd/m^2 |

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)