

SEMBLANZAS DE LOS PREMIOS NOBEL 2014

EN FÍSICA

La Real Academia Sueca de Ciencias ha concedido el Premio Nobel en Física 2014 a los investigadores Isamu Akasaki, Hiroshi Amano y Shuji Nakamura “por la invención de eficientes diodos de emisión de luz azules, que han hecho posibles las fuentes de luz blanca brillantes y de bajo consumo”. El Comité Nobel destaca que el descubrimiento de estos tres científicos japoneses se inscribe en el espíritu de Alfred Nobel de hacer inventos que generen un gran beneficio a la humanidad.

Estos diodos LED, que emiten luz blanca y tienen mayor duración que las antiguas bombillas, permitirán iluminar el mundo de forma más eficiente y respetuosa con el medio ambiente, ya que proporcionan un ahorro considerable de energía. Éste es el motivo por el que se tacha su invento de revolucionario: *Si las bombillas de luz incandescente nos iluminaron en el siglo XX, las bombillas LED lo harán en el siglo XXI.*

Estos tres investigadores ya consiguieron crear haces de luz azul con semiconductores a principios de los años noventa del siglo pasado. Los diodos rojos y verdes existían desde hacía tiempo, pero hacía falta el tercer color, el azul, para lograr la suma de los tres que produce el blanco. Pese a los esfuerzos de la industria y de los científicos, el LED azul se había resistido durante 30 años. Ellos lograron triunfar gracias a su constancia. El más veterano, el Prof. Akasaki, dice que siempre recomienda a sus estudiantes, los jóvenes científicos, que no centren sus trabajos en lo que está de moda, sino que investiguen sobre lo que crean, aunque no consigan resultados inmediatos. En su caso, el máximo reconocimiento científico a sus logros ha llegado a sus 85 años de edad.

En el problema de la iluminación intervienen tanto el funcionamiento de las fuentes de luz (Radiometría) como el de la retina del ojo humano donde se encuentran los fotodetectores (Fotometría). La relación entre la iluminancia E_v con que se ilumina la retina y la irradian-

cia espectral E_λ con que se irradia viene dada por la siguiente expresión [1]:

$$E_v = K_m \int E_\lambda V_\lambda d\lambda$$

donde V_λ es la *función de eficiencia espectral luminosa del ojo* [1] y $K_m=683$ lm/W corresponde al máximo de eficiencia luminosa que se produce a 555 nm.

Si la superficie iluminada se encuentra a la distancia d de la fuente de luz, la intensidad luminosa I_v medida en candelas (cd) es:

$$I_v = E_v d$$

En la Figura 1 viene indicada la función V_λ . Como puede verse, por debajo de 400 nm y por encima de 700 nm la función es prácticamente nula, lo que quiere decir que los fotodetectores del ojo (conos y bastones) sólo son sensibles a la zona visible de las ondas electromagnéticas que se encuentra entre los colores azul y rojo.

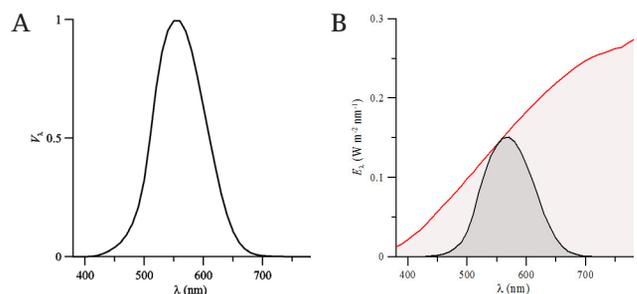


Figura 1. (A) Función V_λ del ojo humano estándar. (B) Irradiancia espectral E_λ de una lámpara incandescente P1 (trazo rojo) y su producto por V_λ (trazo negro).

Esto hace que de la energía radiada por una fuente sólo una parte sea aprovechada para el fenómeno de la visión. En la Figura 1b se muestra la irradiancia espectral de una lámpara incandescente (P1) y su producto por la función V_λ . La potencia consumida por la lámpara es de 924,4 W y la temperatura del filamento es de $T=3115,3$ K. La irradiancia está medida a 50 cm de la fuente por lo que su intensidad luminosa I_v es de 2729 cd [2]. Como puede verse, el área sombreada oscura (que es proporcional a la energía percibida por el ojo) es aproximadamente la cuarta parte del área que subtende la curva en rojo (que es proporcional a la energía radiada por la lámpara en el dominio visible). Este



Isamu Akasaki nació en 1929 en Chiran (Japón), se doctoró en 1964 por la Universidad de Nagoya, donde es en la actualidad catedrático emérito.



Hiroshi Amano nació en 1960 en Hamamatsu (Japón), se doctoró en 1989 también por la Universidad de Nagoya, donde es catedrático.



Shuji Nakamura nació en 1954 en Ikata (Japón), se doctoró en 1994 por la Universidad de Tokushima. En la actualidad tiene la nacionalidad estadounidense y es catedrático en la Universidad de California.

“desaprovechamiento” de la energía radiante de la lámpara es mucho mayor si se considera todo su espectro de emisión, que se extiende más allá del infrarrojo y cuyo máximo de irradiancia se produce a 930 nm, ya que emite prácticamente como un cuerpo negro [3]. En definitiva, las bombillas que nos han estado alumbrando a lo largo del todo el siglo XX son muy poco eficientes. Su funcionamiento consiste en calentar un filamento de wolframio a unos 3000 K y utilizar la radiación emitida como cuerpo negro. Esto hace que la mayor parte de su consumo energético se utilice para el calentamiento del filamento y sólo un pequeño porcentaje de los vatios consumidos se emplee en la iluminación.

Esta circunstancia condujo a buscar otros mecanismos para producir luz. En la segunda mitad del siglo XX se desarrollaron las lámparas fluorescentes, que son más eficientes que las bombillas tradicionales y que se han dado en llamar “de bajo consumo”. En el desarrollo de estas fuentes de luz desempeñó un papel fundamental la ingeniera química Martha Jane Bergin Thomas (1926-2006), que llegó a ser la primera mujer directora de los Laboratorios Phosphor Research and Development Section de la empresa Sylvania, líder en el sector de la iluminación. Mejoró los tubos fluorescentes haciendo que su luz se pareciera a la luz natural.

Para la fabricación de estas fuentes de luz se encierra una mezcla de argón, vapor de mercurio y mercurio lí-

quido a baja presión en un tubo de vidrio traslúcido en el que se ha hecho el vacío y se han colocado dos electrodos. En la sustancia lechosa que recubre el interior de las paredes del tubo se implantan impurezas fosforescentes de tres tipos distintos. Cuando se aplica una diferencia de potencial entre los electrodos de unos pocos miles de voltios se arrancan electrones del cátodo y se les impulsa hacia el ánodo. En su vuelo chocan con los átomos de mercurio que se excitan por colisiones resonantes. Al desexcitarse emiten una gran cantidad de radiación en el ultravioleta que, al incidir sobre las sustancias fosforescentes, producen luz visible. El dopaje con las tres sustancias fosforescentes se hace de manera que se produzcan bandas de emisión en el rojo, en el verde y en el azul para obtener el color blanco. La

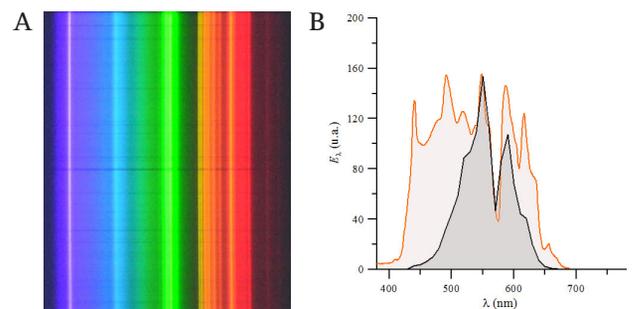


Figura 2. (A) Espectro de una lámpara fluorescente comercial. (B) Irradiancia espectral de una lámpara fluorescente (trazo naranja) y su modulación por V_λ (trazo negro).

concentración de cada una de ellas se calcula para que la relación entre las longitudes de onda máximas de las bandas de emisión sean similares a las que tienen en las mismas longitudes de onda en la curva del espectro solar: un cuerpo negro emitiendo a 5778 K. Por eso a estas lámparas también se les conoce como “luz de día” [4].

En la Figura 2a se muestra el espectro luminoso de una lámpara fluorescente comercial donde se aprecian diferentes bandas espectrales de emisión que se extienden por todo el espectro luminoso. En la Figura 2b se muestra su irradiancia espectral E_λ en unidades arbitrarias (curva naranja) donde se aprecian los diferentes picos del espectro. En la curva en trazo negro se representa su producto por V_λ . Aquí ya el aprovechamiento de la luz emitida en el visible es mayor (aproximadamente el 50%) que en el caso de la lámpara de filamento (ver Figura 1b). Además, la emisión por fluorescencia se produce esencialmente en la zona visible de interés para la iluminación. Estas lámparas han substituido con éxito a finales del siglo XX a las viejas bombillas, ya que su eficiencia es unas diez veces mayor y su duración también.

A pesar de este éxito, las lámparas fluorescentes o de bajo consumo tienen el inconveniente de la contaminación. En ellas hay mercurio en forma líquida y gaseosa y al cabo del tiempo termina por pasar al medio ambiente. Es por esta razón por la que se buscaron otras soluciones a la producción de luz. Ya hemos indicado que desde hace años se pretendía crear lámparas con los LED (*light-emitting diode* o diodo emisor de luz). Su funcionamiento se basa en la recombinación entre electrones y huecos en un sistema semiconductor en el que dos

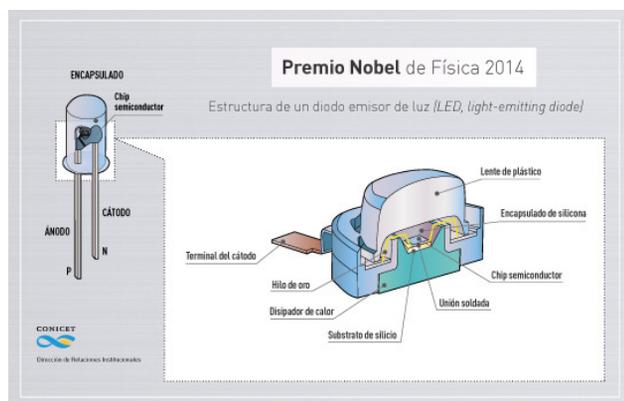


Figura 3. Esquema de funcionamiento de un diodo LED. (Fuente: <http://www.conicet.gov.ar/wp-content/uploads/destacadas-divulgacion/2014/10/Premio-Nobel-de-F%0C3%ADsica-LED.jpg>).

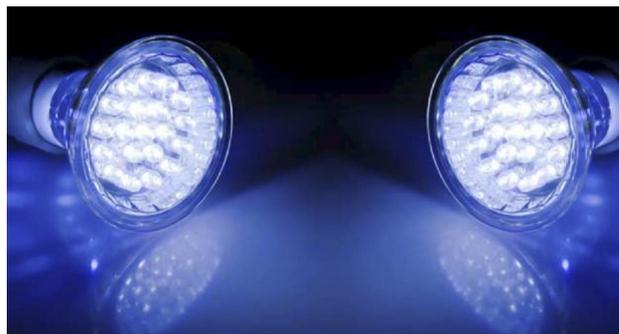


Figura 4. Lámparas LED comerciales. (Fuente: <http://www.itelecom.cl/newversion/wp-content/uploads/2014/10/led-azules-1170x618.jpg>).

capas, una de tipo n y otra de tipo p , están colocadas entre los bornes de una batería que les proporciona unos pocos voltios. En la Figura 3 se indica un esquema del dispositivo.

La energía de la capa de tipo n corresponde a la banda de conducción del conjunto y la de tipo p a la de valencia. La recombinación electrón-hueco se produce en la zona prohibida (*gap*) con la emisión de un fotón. En los años setenta del pasado siglo ya se habían podido construir LED rojos y verdes, pero los azules se resistían debido a la separación necesaria entre las bandas de conducción y de valencia para obtener fotones de 3 eV, que son los que corresponden al color azul. Los premiados este año con el Nobel de Física consiguieron desarrollar técnicas de crecimiento de capas semiconductoras y encontrar los dopantes necesarios para obtener LED azules de muy buena eficiencia. A principios de este siglo ya se han comenzado a fabricar lámparas LED de luz blanca (ver Figura 4).

En la Figura 5a se muestra el espectro de una lámpara LED comercial donde se ven los tres colores azul, verde y rojo de los LED que la componen. En la Figura 5b se muestra su irradiancia espectral E_λ (trazo azul) y

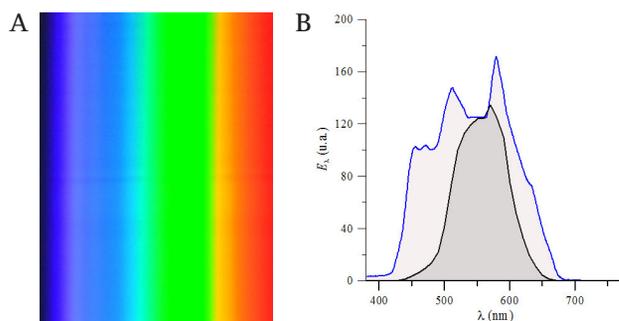


Figura 5. (A) Espectro de una lámpara LED comercial. (B) Irradiancia espectral de la lámpara LED (trazo azul) y su producto por V_λ (trazo negro).

su producto por V_λ (trazo negro). Puede verse que el aprovechamiento de la emisión radiante es similar al de las lámparas fluorescentes de bajo consumo. Por otra parte, la duración de las lámparas LED es de veinte a veinticinco años, mientras que la duración de las fluorescentes varía entre cinco y diez años, y la de las de filamento entre uno y dos solamente.

Tabla I. Características de tres lámparas comerciales de la marca Sylvania.

Lámpara	cd/W	Precio (€)	Duración (años)
Filamento + halógeno	187	3,5	2
Fluorescente	687	11,45	10
LED	1125	15	25

En la Tabla I se indican las características de tres lámparas comerciales de la marca Sylvania: una de filamento con halógeno, otra fluorescente y otra del tipo LED blanco. Con los datos indicados en esta tabla se puede elaborar la Tabla II, en la que se compara la inversión en euros por año para obtener el mismo número de candelas por vatio consumido en los tres casos. Con una inversión de 1 euro por año en la lámpara LED se obtienen 1875 cd/W. Para obtener lo mismo es necesario invertir tres veces más con la lámpara fluorescente y diecisiete veces más con una bombilla de filamento.

El ahorro energético y el aumento en la duración de las lámparas LED es patente, por lo que el Premio Nobel en Física 2014, otorgado a Akasaki, Amano y Nakamura, es muy oportuno y está totalmente justificado.

Tabla II. Inversión en euros por año para obtener la misma intensidad luminosa por vatio consumido (1875 cd/W) en las tres lámparas de la Tabla I.

Lámpara	cd/W	€/año
Filamento + halógeno	1875	17,5
Fluorescente	1875	3,1
LED	1875	1

REFERENCIAS

- [1] The Reproduction of Colour, R. W. G. Hunt. Appendix 7, pp. 678-9. 6th Ed. John Wiley & Sons, Ltd. (2004). ISBN: 0-470-02425-9.
- [2] Absolute Spectroradiometric and Photometric Scales based on an Electrically Calibrated Pyroelectric Radiometer. C. Carreras & A. Corróns. Applied Optics, 20, Nº 7, 1174-1177 (1981).
- [3] Escala Espectrorradiométrica Absoluta. Realización práctica de la unidad básica de Fotometría. C. Carreras y A. Corróns. Publicaciones del Instituto de Óptica "Daza de Valdés", nº 43 (1980). ISSN: 0304-9957.
- [4] Optical Radiation Measurements. Volume 1: Radiometry, F. Grum & R. J. Becherer. Chap. 5: Radiation Sources. Academic Press Inc. (1979). ISBN: 0-12-304901-6.

Carmen Carreras Béjar
Manuel Yuste Llandres
Dpto. de Física de los Materiales