

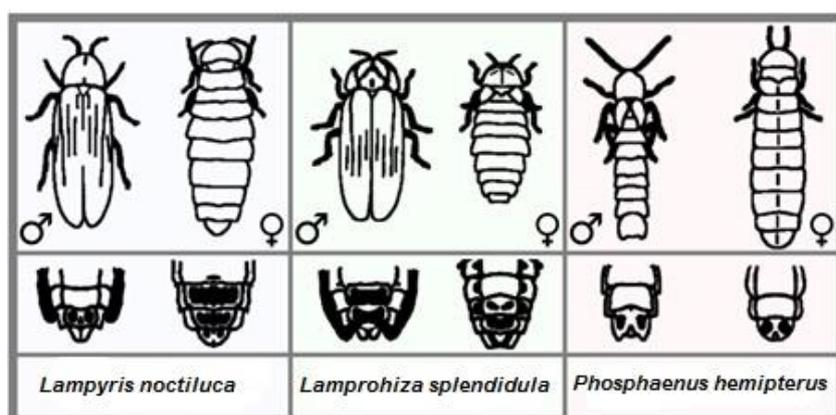
Información de fondo

Bioluminiscencia: combinando biología, química y bionica

Lampíridos en Europa

Existiendo solo tres especies en Europa Central, Lampyridae es una de las familias de escarabajos más pequeña.^[1] Las larvas de los lampíridos eclosionan de los huevos en el suelo y cazan caracoles y babosas.^[2] Los ejemplares adultos no comen y mueren poco después de la copulación/deposición de huevos.^[3]

La señal de luz emitida por los individuos es específica para cada especie, sirviendo así para atraer compañeros de apareamiento.^[4] Las especies de Europa Central presentan dos formas de comunicación. La hembra de *Lampyris noctiluca* estacionaria emite luz para encontrar un compañero de apareamiento entre junio y septiembre. Con su color pardusco y sin alas casi parece una larva. Sus órganos de luz principales están situados debajo del sexto al octavo segmentos abdominales.^[2] El macho y la hembra de *Lamprohiza splendidula* originan señales de luz específicas de apareamiento para su especie entre junio y julio. Los machos emiten un patrón específico de luz desde su sexto y séptimo segmento abdominal, el cuál es recibido por una hembra receptiva dispuesta a copular. Las hembras viven en el suelo. No pueden volar y tienen un aspecto similar a las larvas por su color pardo amarillento.^[2] La última especie, *Phosphaenus hemipterus*, tiene sus órganos emisores de luz poco desarrollados. Ni los machos ni las hembras pueden volar y sólo brillan ligeramente cuando son adultos. Consiguen atraer y encontrar pareja para copular a través de feromonas sexuales.^[5]



Resumen esquemático de las tres especies de lampíridos que viven en Europa Central (basado en la ref. [6]).

Imagen por cortesía de Marcel Hammann.

El fotóforo

El fotóforo se encuentra en la base del último segmento abdominal de los lampíridos. Su parte visible consiste en los llamados fotocitos. Una capa no transparente de células que sirve de refractor se localiza justo detrás de la capa de fotocitos. Los fotocitos están colocados cilíndricamente alrededor de la red traqueal. Los gránulos en cada fotocito almacenan luciferasa y luciferina.^[2] La luz emitida se puede regular con los impulsos nerviosos y depende de los niveles de oxígeno dentro del fotocito. Las mitocondrias en los fotocitos se localizan cerca de la red traqueal, la cual conduce el oxígeno. De esa forma las mitocondrias usan normalmente todo el oxígeno que sea necesario para iniciar las reacciones que emiten luz usando la luciferina almacenada en los gránulos en el centro del fotocito. Mediante un impulse nervioso se emite monóxido de nitrógeno, el cual a su vez reduce la absorción de oxígeno por la mitocondria. De esta forma el nivel de oxígeno aumenta y se inicia la oxidación de la luciferina catalizada por una reacción enzimática.^[2]

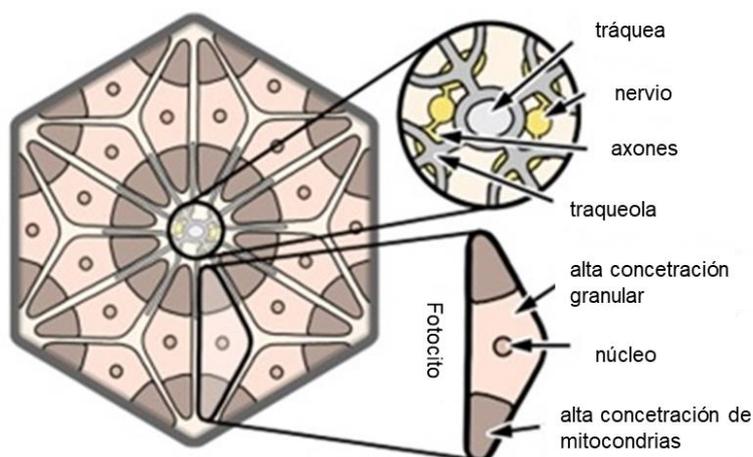


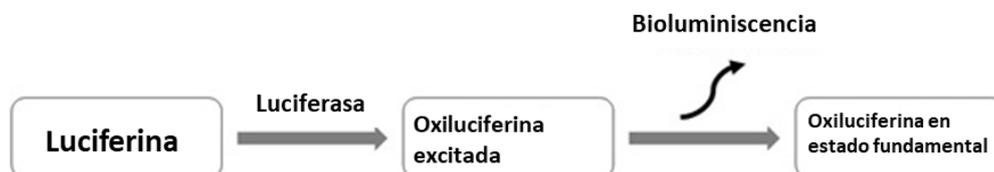
Ilustración esquemática de un fotóforo localizado alrededor de la red traqueal. Imagen por cortesía de Marcel Hammann

Luminiscencia

Durante la luminiscencia, la energía es emitida en el rango de ondas de luz visibles mediante la oxidación de un luminóforo.^[7] En términos simples, uno de los productos no alcanza directamente el último estadio de energía en la reacción. La luciferina es oxidada a oxiluciferina, la cual se encuentra temporalmente en un estado excitado y emite luz cuando se descompone a su estado fundamental. Al contrario que la fluorescencia o la fosforescencia, las cuales reciben energía de la luz, la energía de excitación en la luminiscencia es química. La bioluminiscencia es un tipo específico de quimioluminiscencia, cuyos procesos son catalizados enzimáticamente en organismos vivos.

En el caso de la luciferina – un luminóforo que se puede encontrar en muchos fotóforos de escarabajos emisores de luz – la luciferasa cataliza su oxidación estabilizando el complejo reactivo luciferina-adenosín monofosfato (AMP).^[8] Mediante la oxidación, una molécula de dióxido de

carbono se libera y la resultante molécula de oxiluciferina alcanza un estado de alta energía. Mediante la emisión de un fotón, el luminóforo alcanza entonces el estado energético fundamental de su forma oxidada.



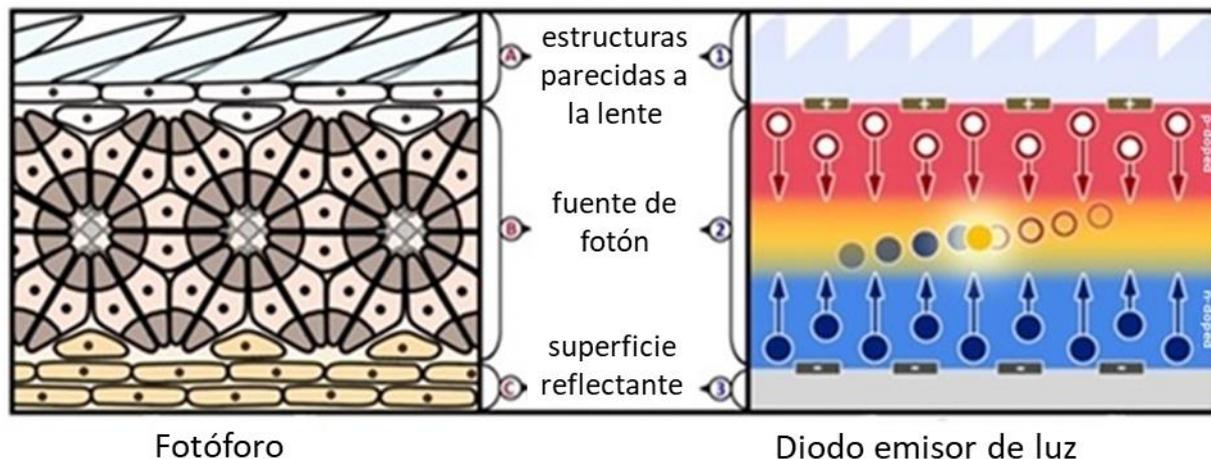
Reacción simplificada de emisión de luz a nivel molecular de la luciferina (basado en Ref. [8]). Imagen por cortesía de Marcel Hammann

Fotóforos de los lampíridos y ledes

La luz creada en el fotóforo tiene que pasar a través de la cutícula para ser emitida al ambiente de alrededor. Cuando la luz se emite, tiene que pasar a través de un medio con densidad óptica media (cutícula) a uno de menos densidad óptica (aire). La velocidad a la que la luz viaja por un medio de mayor densidad óptica difiere de la de un medio con menor densidad óptica. Debido a las diferencias en velocidad con la que la luz atraviesa estos dos medios, aparecen los efectos de refracción y reflexión en la interfaz entre los dos medios. De esta forma, solo parte de la luz pasa al nuevo medio. La otra parte es reflectada de vuelta al medio de origen. Si la luz golpea la interfaz con un cierto ángulo de incidencia, casi toda la luz es reflectada. Este ángulo es de 40° para la cutícula del fotóforo de los lampíridos.

Un análisis más exhaustivo de la cutícula revela su estructura irregular: la superficie del fotóforo está cubierta por escamas, las cuales están un poco inclinadas y tienen bordes afilados. Debido a su inclinación, la estructura de la superficie se parece a un prisma. De esta manera cambia el ángulo al cual la luz golpea la cutícula. Gracias a los bordes afilados de las escamas se dispersa más la luz, provocando una transmisión de luz adicional, aumentando la transmisión de luz en un 45%.

Cuando se compara la estructura de un fotóforo con la de un led, algunas similitudes se vuelven aparentes. Los dos tienen una capa generadora de luz cubierta con una capa transparente. En caso del led, la capa generadora de luz está formada por semiconductores dopados, los cuales generan luz por electroluminiscencia. Apilando materiales dopados de tipo P y N se permite la transmisión espacial limitada de electrones, lo que provoca un equilibrio en los portadores de carga en la interfaz. Un led consiste de un ánodo y un cátodo. El semiconductor está incrustado en una cavidad reflectante y parte del yunque. Un cable de unión lo conecta al poste. El poste y el yunque forman el marco de plomo, que se cubre con una caja de vidrio o plástico para su protección. Aplicando un voltaje, se puede inducir la recombinación continua de portadores de carga en la interfaz de las capas, lo que conduce a la emisión de fotones.^[9]



Comparación de las propiedades estructurales de un fotóforo de lampírido (izquierda) y un led (derecha). Imagen por cortesía de Marcel Hammann

Al igual que el reflejo que se produce en la superficie del fotóforo, parte de la luz emitida por un led se refleja en la interfaz entre el vidrio y el aire, lo que reduce la eficiencia luminosa. Para aumentar la eficiencia, se transfirió la estructura escamosa de la cutícula a la superficie de los ledes siguiendo un procedimiento típico de biónica en tres pasos:

- I. Exploración de un fenómeno biológico
- II. Resumir los resultados obtenidos
- III. Los resultados resumidos sirven como solución a los problemas técnicos

Referencias

- [1] Harde KW, Severa F (2006) *Der Kosmos Käferführer: Die Käfer Mitteleuropas [The Kosmos Beetle Guide: Beetles in Central Europe]* p 37. Kosmos. ISBN: 978-3440139325
- [2] Dettner K (2010) Biolumineszenz [Bioluminescence]. In Dettner K, Peters W (eds), *Lehrbuch der Entomologie [Textbook Etymology]* pp 601–611. Spektrum. ISBN: 978-3-8274-2617-8
- [3] Klausnitzer B, Förster M (2002) *Wunderwelt der Käfer [The Magic World of Beetles]* p 121. Spektrum. ISBN: 978-3662586969
- [4] Klausnitzer B, Förster M (2002) *Wunderwelt der Käfer [The Magic World of Beetles]* p 177. Spektrum. ISBN: 978-3662586969
- [5] DeCock R (2000) Rare, or simply overlooked? Practical notes for survey and monitoring of the small glow-worm *Phosphaenus hemipterus* (Coleoptera: Lampyridae). *Belgian Journal of Zoology*, **130**: 93–101.
- [6] DeCock R (2012) Three central European glow-worm species: how to recognise central European glow-worm species. Retrieved from <http://www.glowworms.org.uk/ident.html>.
- [7] Hofmann P (2013) *Einführung in die Festkörperphysik. Lehrbuch Physik [Introduction to Solid-State Physics. Textbook Physics]*. p 98. Wiley. ISBN: 978-3-527-41226-6



[8] Girotti S, Ferri EN, Bolelli L, Sermasi G (2001) Applications of bioluminescence in analytical chemistry. In García-Campaña AM, Baeyens WRG (eds) *Chemiluminescence in Analytical Chemistry* pp 247–284. Marcel Dekker. ISBN: 0-8247-0464-9

[9] Hofmann P (2013) *Einführung in die Festkörperphysik. Lehrbuch Physik [Introduction to Solid-State Physics. Textbook Physics]*. p 140. Wiley. ISBN: 978-3-527-41226-6