

¿Cómo funciona una luciérnaga?: Historias de la luz y la materia

Ramón Hernández Lamóneda
Centro de Investigaciones Químicas, UAEM
Miembro de la ACMor

Todos hemos podido disfrutar del espectáculo que representa la presencia de decenas de pequeñas luces voladoras en el campo en una agradable noche de verano (Figura 1) pero ¿cuál es su origen? Seguramente también saben los lectores que las lucecitas voladoras se llaman luciérnagas y son insectos o más precisamente escarabajos (¡o moyotes!). Para algunos será suficiente con saber esto pero, quizá algunos otros continúen el cuestionamiento y digan: Sí, sabemos cuál es el animal que genera esa luz pero aún no respondes la pregunta de fondo, ¿cómo es posible que la luciérnaga produzca luz? La respuesta a esta pregunta realmente involucra muchos conceptos modernos desarrollados por la ciencia.

Si lo piensan un momento, lo realmente sorprendente de la luciérnaga no es que tenga un color amarillo muy atractivo, a fin de cuentas hay muchos otros insectos que tienen bellos colores, piensen en mariposas, libélulas incluso otros escarabajos. De hecho, si de colores se trata podemos incluso pensar en plantas, flores, verduras, frutas de gran atractivo. Sin embargo, ninguna de estas posee la capacidad que tiene la luciérnaga de 'encender y apagar' su luz. Por otro lado, sí hay un punto común: la presencia de color. ¿Cuál es el origen del color? Esta tiene que ser una pregunta que interesó al hombre desde los tiempos más remotos y que sigue cautivando nuestra imaginación. La respuesta no es simple y aquí solo mencionamos algunos conceptos generales que nos ayudarán a responder nuestra pregunta relativa a las luciérnagas.

Empecemos por el color o más bien, por el color de la luz

Primeramente establecemos que el concepto de color está íntimamente ligado al de la luz, en completa oscuridad no se aprecia ningún color. ¿Qué es la luz? Otra pregunta vasta a la que los científicos han dedicado varios siglos de estudio. (Difícil resumirlo en pocas líneas...) para nuestros propósitos sirva decir que la luz tiene un comportamiento ondulatorio análogo a las olas en el mar o mejor aún al de la cuerda de una guitarra. Dos características importantes de ese movimiento ondulatorio son su amplitud (altura de la ola o máximo del desplazamiento de la cuerda) y la frecuencia de oscilación (con qué frecuencia se repite el movimiento). De esta manera, en el caso de la luz, asociamos su intensidad con la amplitud de la onda y hablamos de todo un espectro de valores posibles para sus frecuencias: el llamado

espectro electromagnético, en el caso de la luz lo que oscila son campos eléctricos y magnéticos. Los colores que podemos distinguir con nuestra vista cubren un intervalo bastante pequeño del espectro completo aunque en el mismo se incluyen todos los colores posibles. Una manera de evidenciar esta conexión entre la luz y los colores es observando un arcoíris (Figura 2) en el que los colores presentes en la luz se separan al atravesar pequeñas gotas de agua. Muy bien pero ¿qué relación tiene esto con los colores presentes en distintos objetos inanimados o naturales?

Claramente el color que tenga un objeto no depende únicamente de la luz que incide sobre el mismo sino de sus propias características. Por ejemplo la misma luz incide sobre una zanahoria o sobre un limón pero la primera es naranja y el segundo verde. Parece claro que la diferencia es un reflejo de la distinta composición material de uno y otro. ¿De qué se compone la materia? Otra pregunta vasta que llevó mucho tiempo poder esclarecerse por el método científico. Una vez más debemos abreviar nuestra respuesta y para ello es útil mencionar la llamada hipótesis atómica: toda la materia en el universo se compone de átomos. Es probable que el lector esté familiarizado con la llamada Tabla Periódica de los Elementos que organiza a todos los átomos distintos que forman la materia. Así por ejemplo tenemos a los átomos de nitrógeno y oxígeno que se combinan en pares para formar moléculas de nitrógeno, N₂, y oxígeno, O₂, que son los principales componentes del aire. Toda la riqueza de la química proviene de la posibilidad de crear moléculas combinando elementos de la tabla periódica habiendo cerca de un centenar para elegir. Todas las propiedades de estas moléculas, y en general de toda la materia, dependen de su constitución atómica. Así, el N₂ es un gas relativamente inocuo mientras que el O₂ es responsable de la mayoría de los procesos de oxidación en la naturaleza. Volviendo a nuestra pregunta acerca de la conexión entre color y composición material vemos que la hipótesis atómica nos da una posible respuesta: el color está asociado a las propiedades de las moléculas que componen al material. Así por ejemplo en el caso de la zanahoria se sabe que la molécula responsable del color es un hidrocarburo (compuesto de carbono e hidrógeno) llamado caroteno, cuyo nombre proviene del de la zanahoria en inglés: carrot.

La luz de la luciérnaga

Bien, hemos resumido la conexión entre el color de un objeto y su composición molecular pero también hicimos notar que el caso de la luciérnaga es distin-

to ya que su peculiaridad es el poder iluminarse a su antojo en lugar de reflejar constantemente el mismo color. Hoy día sabemos que el origen de la luz en la luciérnaga se debe a una reacción química, es un ejemplo de la llamada quimiluminiscencia. Aquellos lectores que recuerden sus clases de química encontrarán sorprendente que las reacciones químicas no solamente pueden generar calor (por ejemplo al realizar la combustión de la gasolina en nuestros coches) sino que en ocasiones, como el de la luciérnaga, se produce luz y no calor. Mientras que en el primer caso la conservación de la energía se refleja en la transformación de energía química en calor en el segundo se transforma en energía asociada a la luz. Por medio de estudios químicos y bioquímicos in vitro (experimentando en el laboratorio y no en el ser vivo) se ha podido caracterizar la reacción a un nivel muy detallado.

La molécula responsable de la emisión de luz en la luciérnaga se ha nombrado luciferina (del latín para "portador de luz") y como la mayoría de reacciones químicas en sistemas biológicos esta es catalizada (proveer de un camino mucho más eficiente que el directo) por una enzima apropiadamente conocida como luciferasa. A rasgos grandes la reacción involucra a la luciferina y oxígeno molecular por lo que representa un proceso de oxidación. Pero sabemos que nuestra respiración también involucra procesos de oxidación gracias a los cuales obtenemos la energía necesaria para vivir y como un subproducto inevitable la generación de calor característica de todos los mamíferos. Para poder explicar porque en el caso de la oxidación de la luciferina se genera luz y no calor necesitamos entrar en mayor detalle a la descripción de lo que es una molécula. La hipótesis atómica dice que

toda la materia consiste de átomos combinados en formas variadas dando lugar a moléculas de distintos tamaños: desde dos átomos en moléculas de nitrógeno u oxígeno hasta varios miles de átomos en macromoléculas como proteínas. Yendo en dirección contraria nos preguntamos si los átomos a su vez se constituyen de otros componentes. Algunos recordarán que efectivamente los átomos se constituyen de un núcleo con carga positiva (a su vez formado de protones y neutrones) y electrones que son mil veces más ligeros y cargados negativamente, dando una neutralidad a todos los elementos de la tabla periódica. Para entender el funcionamiento de la luciérnaga tenemos que ir a este nivel de detalle. Incluso, realmente tenemos que entender cómo se mueven los electrones en sus órbitas y como pueden interactuar

Continúa en la página 32

NÚMERO 13

ABRIL-MAYO-JUNIO DE 2018

Biotecnología en MOVIMIENTO

REVISTA DE DIVULGACIÓN DEL INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA DE LA UNAM



Disponible en
www.ibt.unam.mx

El niño de la piel transgénica

Cuatro nuevas patentes para el IBt

Secuenciación masiva de ADN

Divide y vencerás: cómo analizar miles de imágenes de espermatozoides

¿De qué se alimentan las bacterias que viven en nuestro cuerpo?

La Genómica en las ciencias veterinarias

La microbiota humana

Tercer día de Puertas Abiertas del IBt

UNAM
La Universidad de la Nación

UNAM
CAMPUS MORELOS



Instituto de Biotecnología

Viene de la página 31

con la luz. La explicación detallada de estos procesos fue desarrollada a inicios del siglo XX y representó una revolución en la comprensión de los procesos naturales a nivel atómico: la teoría cuántica. Esta teoría (a la que no se le han encontrado fallos aunque ha sido puesta a prueba más que cualquier otra) predice que los electrones ocupan órbitas de distintas energías y cuando la molécula está aislada esta ocupación tiende a maximizar la estabilidad de la misma o dicho de otra manera a minimizar su energía. Sin embargo, la presencia de luz puede promover la excitación de estos electrones a órbitas de mayor energía en un proceso llamado absorción de luz. De manera natural la molécula tenderá a regresar a su nivel más estable y esto lo puede conseguir en un proceso de emisión de luz y la desexcitación electrónica correspondiente, el regreso del electrón a la órbita original antes de la absorción. (Más detalle sobre este proceso en: http://www.acmor.org.mx/?q=content/luces-de-colores-en-el-cielo-qu%C3%ADmica-y-festejos-populares#_msocom_2)



Figura 2. La refracción de la luz observada en un arcoíris muestra el espectro de colores presentes en ella.



Figura 1. Luciérnagas en una noche de verano

En una reacción química los átomos pertenecientes a los reactivos se reacomodan para dar lugar a productos. Generalmente este reacomodo lleva asociado un cambio de energía que puede relacionarse con las distintas energías de enlace entre átomos.

En una reacción química los átomos pertenecientes a los reactivos se reacomodan para dar lugar a productos. Generalmente este reacomodo lleva asociado un cambio de energía que puede relacionarse con las distintas energías de enlace entre átomos.

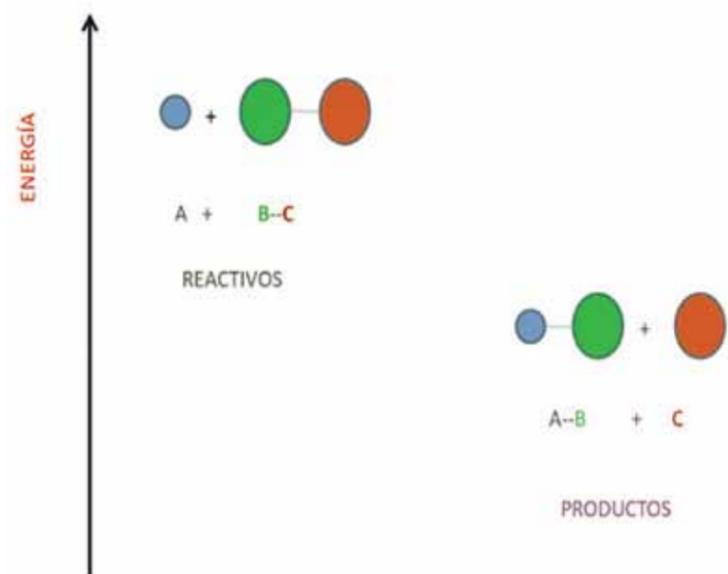


Figura 3. Esquema general de una reacción exotérmica con rompimiento y formación de un enlace químico.

En caso de haber un exceso de energía al final de la reacción, éste se reflejara en la transferencia de calor a los alrededores (Figura 3). Este es el mecanismo básico asociado a nuestra respiración. En ocasiones menos comunes tales como la reacción de oxidación de la luciferina el exceso de energía se utiliza para excitar electrones a órbitas de mayor energía (el resultado final es equivalente al de absorción de la luz pero el mecanismo para conseguirlo no requiere de luz). En este estado excitado la molécula de luciferina tendrá una tendencia natural a deshacerse de la energía adicional para volver a su estado más estable y esto lo consigue emitiendo luz. Es este proceso de desexcitación el que justifica que no se genere calor, el proceso ocurre en frío. Así finalmente podemos ver cuál es el mecanismo que permite a la luciérnaga encender su luz por medio de la quimiluminiscencia.

Para finalizar, sólo mencionaremos que la quimiluminiscencia juega un papel importante en otros procesos de interés en ciencia. Por un lado, hay otros organismos vivos que utilizan la quimiluminiscencia y en este caso se suele hablar de bioluminiscencia. Un ejemplo bonito de esto lo pueden ver la próxima vez que vayan al mar si están en una barca después de la puesta del sol o mejor aún ya de noche, si agitan el agua verán la formación de múltiples lucécitas que provienen de bacterias bioluminiscentes. Muchas otras formas de vida marina a grandes profundidades donde no llega la luz y solamente hay oscuridad generan su propia luz por medio de la bioluminiscencia (Figura 4). El otro ejemplo es el llamado láser químico, que funciona con el principio de la quimiluminiscencia pero cuya explicación tendrá que esperar a otra oportunidad en este espacio.

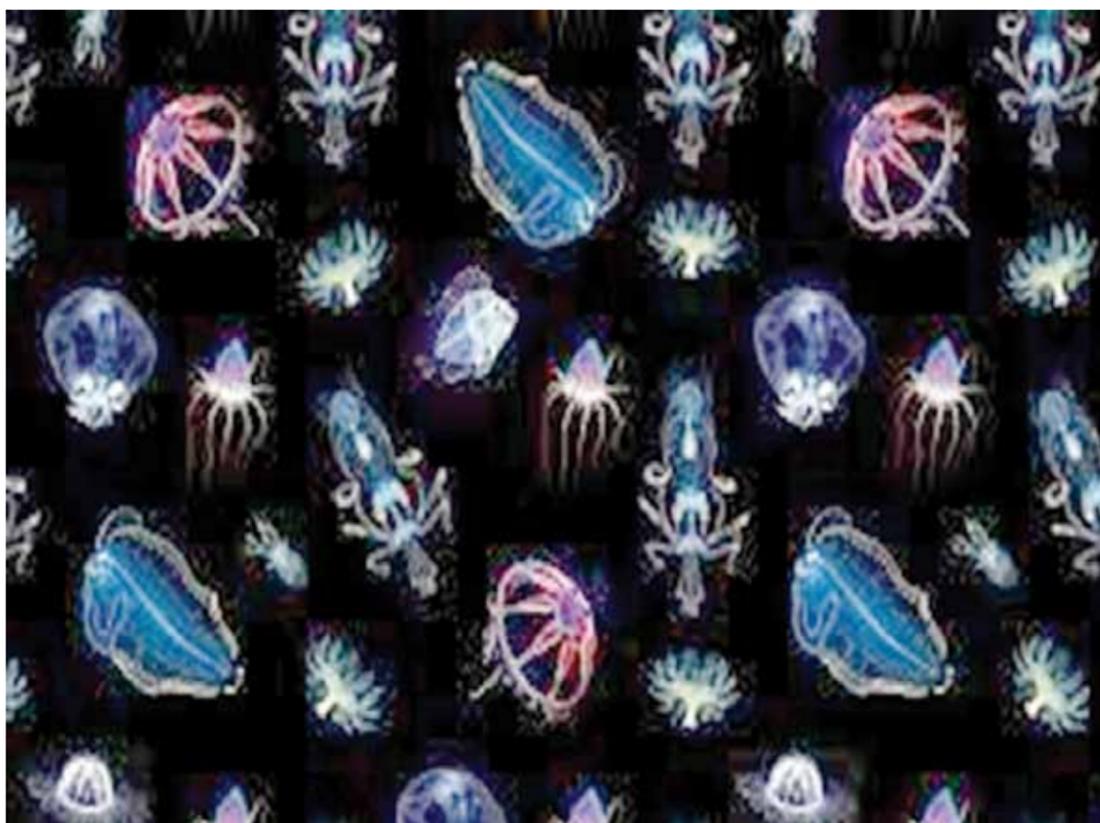


Figura 4. Variedad de criaturas de las profundidades del mar que generan su propia luz