



La ciencia detrás de la luz química

Samuel Rodríguez Ramos

Estudiante de la Facultad de Química Farmacéutica Biológica
Universidad Veracruzana
zS22015436@estudiantes.uv.mx

En algún momento de nuestra vida hemos sido espectadores de diferentes fenómenos nocturnos, como la luz que emiten las luciérnagas, los brillantes colores de las figuras de plástico que iluminan las cunas de bebé, o bien, las varitas que al romperse emiten luz verde, amarilla o roja, ejemplos que representan un fenómeno al que se conoce como *luminiscencia*.

La luminiscencia se produce cuando las moléculas logran captar energía que provoca una excitación; posteriormente, pierden dicha energía en forma de luz de diferentes colores, observable a simple vista.

Imagen 1. Ilustración de auroras boreales.
Imagen generada en Bing.com



La luminiscencia se divide en diferentes clases, dependiendo de la manera cómo las moléculas reciben el estímulo de energía y se excitan.

Un ejemplo de luminiscencia son las auroras boreales, un fenómeno espectacular que se ve en el cielo nocturno de ciertos países; este se presenta debido a que cuando el oxígeno se encuentra en un estado denominado atómico, los átomos son estimulados por partículas provenientes del sol, dando como resultado la emisión de luces de colores, principalmente, verdes y rojas.

Los tipos de luminiscencia son: **a) bioluminiscencia**, que ocurre principalmente en organismos vivos; **b) termoluminiscencia**, se produce por el calentamiento de una sustancia antes de que alcance su incandescencia; **c) triboluminiscencia**, es la emisión de luz causada por la ruptura de materia, lo que explica por qué durante un sismo se producen destellos de luz; **d) cátodoluminiscencia**, que resulta del choque de un conjunto de partículas subatómicas cargadas negativamente; **e) fotoluminiscencia**, generada por la captación de fotones (luz); **f) electroluminiscencia**, provocada como producto de un choque eléctrico, lo que justifica el funcionamiento de bombillas LED; y **g) quimioluminiscencia**, que se produce por la reacción entre dos o más sustancias químicas. En términos generales, todas las luminiscencias se deben a fenómenos químicos.

Así mismo, es importante mencionar que, si se considera el periodo en el que se emite luz después de la excitación, la fotoluminiscencia puede presentarse de dos formas: **a) fosforescencia**, cuando la emisión de luz permanece después de suprimir el origen de excitación y **b) fluorescencia**, si la emisión de luz es de corta duración. Las sustancias fos-

forescentes han sido usadas durante mucho tiempo en las carátulas de los relojes de manecillas, en las placas y apagadores de nuestras casas, al igual que en varios adornos que brillan durante la noche.

Debido a que estos fenómenos se relacionan directamente con las moléculas, presentes en diversos materiales, estas deben tener ciertas características en su estructura, particularmente sistemas de enlaces conjugados; es decir, en la molécula debe haber enlaces simples y dobles organizados de manera alternada, propiedad que le confiere la capacidad de absorber energía y, como consecuencia, emitir luz. En cualquier caso, el mecanismo de luminiscencia presenta tres fases principales: excitación de la molécula, absorción de la energía de excitación y liberación de energía en forma de luz de diferentes colores.

La porción de la molécula que es capaz de absorber energía se conoce comúnmente como *fluoróforo* y puede absorber energía como luz, que no siempre podemos ver, pero cuando la emite, generalmente la pierde en forma de luz que el ojo humano sí es capaz de percibir (Omachecha & Villazón, 2017). Los fluoróforos se clasifican en *intrínsecos* y *extrínsecos*. Los primeros se dan manera natural, mientras que los extrínsecos se adicionan a otra sustancia para donar sus propiedades especiales. Usualmente, al usar fluoróforos extrínsecos, se opta por compuestos con moléculas en forma de anillo con enlaces conjugados.

Como se mencionó, la quimioluminiscencia es la producción de luz por la reacción entre dos o más sustancias. Por lo general, estas reacciones no liberan calor; en lugar de eso, la energía se libera en forma de luz. Muchos consideran a la bioluminiscencia como la quimioluminiscencia de los seres vivos, porque ambos procesos producen luz mediante



reacciones químicas. En la bioluminiscencia, criaturas vivas como algunas medusas, luciérnagas y ciertos hongos generan luz a través de reacciones químicas en sus cuerpos.

Dentro de los casos más interesantes de bioluminiscencia se encuentran los calamares, en específico el calamar luciérnaga, un molusco con la capacidad de emitir luz azul, lo cual es muy útil en las profundidades del océano. Su mecanismo se basa en la reacción de oxígeno, luciferina (una proteína) y una enzima conocida como *luciferasa*. Un ejemplo en que la ficción no se aleja de la realidad es la película *Buscando a Nemo*, cuando Dory y Marlin, al buscar por todo el océano, se encuentran un pez linterna.

Continuando con los grandes aportes de la bioluminiscencia, aunque parezca algo sacado de una película de ciencia ficción, actualmente es posible modificar genéticamente a animales y plantas y que estos se vuelvan bioluminiscentes, tal como ocurre con algunas plantas capaces de producir luz, con varias aplicaciones en agricultura, además de utilizarse para iluminar senderos.

La quimioluminiscencia tiene diversas aplicaciones: en la química forense, sirve para detectar sangre o restos de esta cuando han sido limpiados o no son visibles; en la geología, es útil para evaluar la “edad” de rocas y minerales; en la bioquímica, para estudiar reacciones celulares producidas por enfermedades; en la toxicología, tiene múltiples aplicaciones, por ejemplo, para desarrollar sensores útiles con el propósito de detectar moléculas tóxicas o contaminantes en una muestra.

Al hablar de reacciones quimioluminiscentes es muy común oír los términos *luminol* y *luciferina*, sin embargo, existen otras reacciones, aunque no tan conocidas como el

peróxido de oxalato, reacción responsable de hacer brillar a las barras luminosas que se usan en los centros nocturnos. Otro ejemplo es la reacción de la acridina, cuya aplicación es más compleja que la anterior, la cual consiste en usar un colorante fluorescente para teñir el ADN (ácido desoxirribonucleico) produciendo un color de luz verde, o bien, al teñir al ARN (ácido ribonucleico) presentándose una luz anaranjada.

Como se ha visto, las reacciones químicas y biológicas poseen una amplia gama de aplicaciones, con especial relevancia en los laboratorios clínicos. Entre otras ventajas de la quimioluminiscencia en ensayos clínicos se encuentran la gran sensibilidad y rapidez de detección. Comúnmente se aplican en inmunoensayos como marcaje de proteínas y análisis directos al ADN.

Adentrándonos en el área de la biología celular, la quimioluminiscencia juega un papel muy importante, al suministrar las herramientas esenciales para la detección y cuantificación de moléculas de vital importancia; algunos ejemplos son: aminoácidos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. También es aplicable en procesos y técnicas más complejos como en la “microscopía de quimioluminiscencia”, centrada en la observación de partes de células y procesos de estas.

Por otra parte, es posible aplicar distintas técnicas de quimioluminiscencia para el diagnóstico médico. Una de las más relevantes es la técnica denominada “ensayo inmunoquimioluminiscente”; esta se utiliza para medir de manera precisa hormonas, marcadores tumorales u otras biomoléculas de importancia clínica. Por ejemplo, las pruebas ELISA son usadas para determinar infecciones y enfermedades virales.



Asimismo, también es posible observar los grandes beneficios de la quimioluminiscencia en radiología, en las llamadas “radiografías con contraste” para las cuales se suministran sustancias conocidas como “medios de contraste” que absorben rayos X y, con ello, es posible obtener una imagen de los vasos sanguíneos obstruidos o con poco flujo, información de gran utilidad para detectar cardiopatías.

Es relevante destacar que la quimioluminiscencia puede ser directa o indirecta. La primera es cuando la energía liberada por la reacción se transfiere a una molécula haciéndola brillar, como en la reacción del luminol, mientras que la indirecta se produce cuando la energía de reacción se pasa a una molécula intermedia y esta la transfiere a otra molécula, provocando que se excite y cuando esta última regresa a su estado normal emite luz. Existen varios ejemplos de esta, como la reacción entre agua oxigenada o una enzima presente en los rábanos.

Se sabe que el primer compuesto quimioluminiscente es la “lofina” y su síntesis fue realizada aproximadamente en los años 1800, un compuesto que emite una luz muy llamativa de color amarillo verdoso y esto se logra al reaccionar el hidróxido de potasio y el etanol. Este caso corresponde a una reacción quimioluminiscente en fase acuosa; sin embargo, es posible encontrar reacciones en fase gaseosa; un ejemplo es el uso de fósforo blanco, en el cual se genera un proceso conocido como oxidación que emite una luz amarilla pálida.

A pesar de que el descubrimiento de la lofina, fue hace muchos años, hoy en día es de gran utilidad. Este compuesto es usado principalmente para la detección de metales, ya que reacciona produciendo una luz en un conjunto de colores, además es posible usarla como indicador en un proceso conocido como titulación, término muy familiar para los químicos.

Se han mencionado innumerables aplicaciones de la quimioluminiscencia en distintas áreas de la ciencia, sin embargo, no del todas son beneficiosas, como es el caso de la comida que brilla en la oscuridad. Helados luminosos, llamativos para una gran mayoría, implican un proceso complejo. ¿Cómo se logra? La luz emitida no es más que la adición de sustancias que reaccionan para permitir el fenómeno visual.

La importancia de la quimioluminiscencia se centra en la capacidad de analizar y usarla como prueba cuando sucede un crimen. Si bien esta aplicación es más compleja que simplemente

analizar huellas dactilares, por medio de ella es posible analizar componentes específicos de la sangre como la hemoglobina gracias a la “prueba de luminol”.

El luminol es una sustancia en forma de polvo que por sí sola no brilla; para ello, se deben presentar ciertas condiciones. Esta sustancia se mezcla con peróxido de hidrógeno (agua oxigenada), lo que genera una reacción quimioluminiscente que deriva en la producción de luz.

¿Cómo se produce la reacción entre luminol y la sangre?

Gracias a la estructura del luminol, ya que al ser mezclada con peróxido de hidrógeno

A lo largo de los años la quimioluminiscencia ha demostrado ser sumamente útil, como en el campo de ciencia forense.

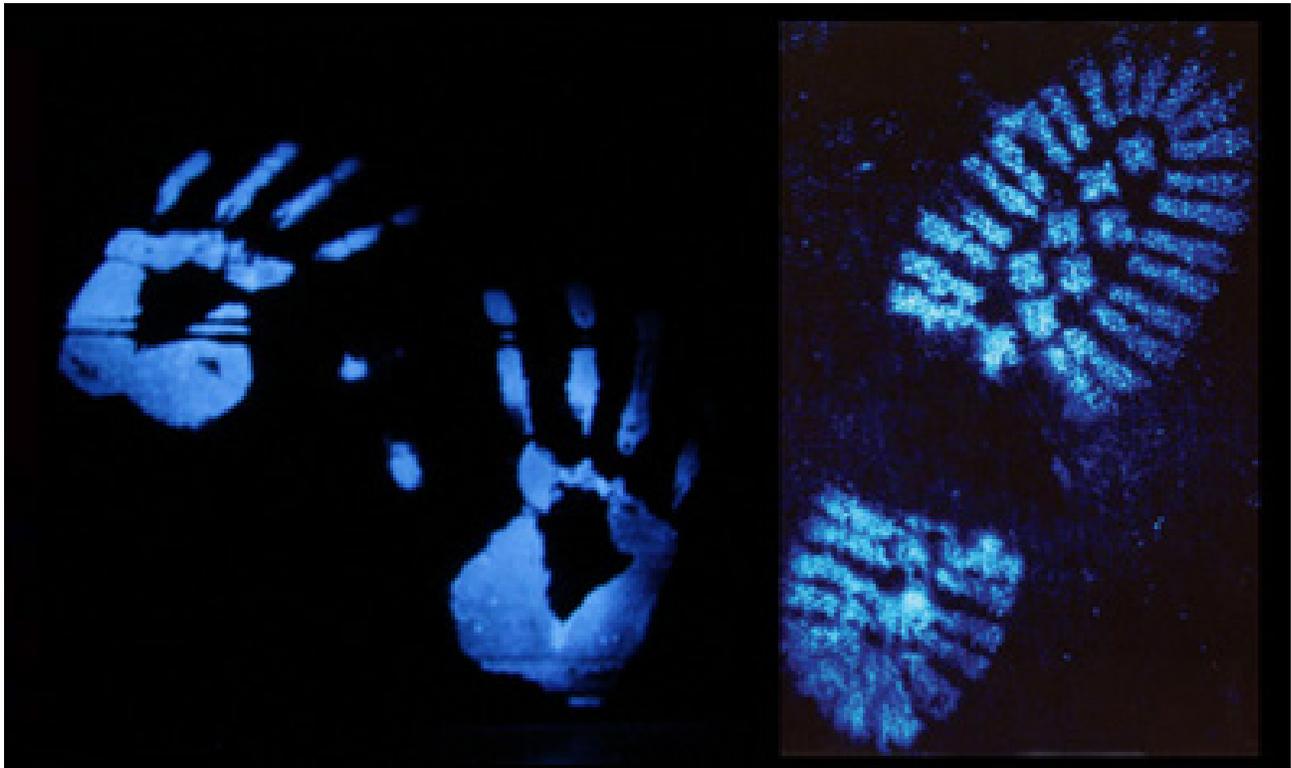


Imagen 2. Prueba de luminol. Imagen tomada de: <https://acortar.link/GLtmwv>

(sustancia oxidante), da la oportunidad de formar uniones con una proteína de interés, presente en la sangre, que es la hemoglobina, produciendo así una luz de color azul que dura algunos segundos.

Los reportes de la literatura demuestran que la síntesis de luminol fue desarrollada por dos científicos apasionados por la química: Hirschmann y Meyer, quienes la desarrollaron entre los años de 1925 y 1930. Sin embargo, algunos años más tarde, un grupo de científicos quedaron sorprendidos por la luminiscencia de esta sustancia, pues era superior a la de otras sustancias conocidas en esa época. Fue hasta la década de los cuarenta cuando el luminol presentó un uso en la investigación forense.

Un aspecto importante es saber si la prueba de luminol puede ser evadida o alterada.

Para beneficio de la ley, la respuesta es no. Lo anterior se debe a que es una sustancia muy sensible, por lo que detecta hasta el más mínimo rastro de sangre; existen casos en los que los malhechores intentaron, de distintas maneras, limpiar la escena del crimen, sin haberlo logrado.

Alejándonos un poco del campo forense, el luminol es usado en experimentos escolares, ya que permite a los estudiantes visualizar de forma segura y controlada la reacción. Este proceso se lleva a cabo haciendo reaccionar una sustancia conocida como solución salina y luminol, reacción que recrea el característico color azul de la prueba presentada en la detección de sangre.



A lo largo de este artículo se abordaron temas fascinantes como la quimioluminiscencia, lo que explica por qué brillan las varitas luminosas, cómo es que las luciérnagas producen su luz, o bien, lo que hace posible que disfrutemos de helados luminosos. Este fenómeno posee aplicaciones que van desde el entretenimiento hasta grandes beneficios para la sociedad, tal es el caso del luminol, de gran importancia para investigaciones criminales. Considerando lo anterior, volvemos a preguntarnos ¿quedan por descubrir nuevas sustancias fluorescentes? no cabe duda de que, día con día, es posible descubrir nuevas sustancias con propiedades fluorescentes, con nuevas aplicaciones en diversos campos y sumamente fascinantes.

Referencias

- ▶ Gordillo Chueca, P. (2014). Comportamiento fotofísico de la dansilcaverina Universidad Carlos III de Madrid. <https://hdl.handle.net/10016/22699>
- ▶ Omachea, O. & Villazón, A. (2027). Desarrollo de un microscopio de epifluorescencia de bajo costo. *Investigación y Desarrollo*, 17(5), 5-14. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312017000100002