

Breve introducción a las plantas luminiscentes

Brief introduction to glowing plants

Otilia Val Castillo

IES Lluís Simarro Lacabra, Xàtiva, Valencia.

PALABRAS CLAVE:

Plantas luminiscentes
 Bioluminiscencia
 Proteína verde
 fluorescente (GFP)
 Aplicación de la química
 Desarrollo sostenible
 Agenda 2030

KEYWORDS:

Glowing plants
 Bioluminescence
 Green Fluorescent Protein (GFP)
 Application of chemistry
 Sustainable development
 2030 Agenda

RESUMEN:

A pesar de que los primeros intentos por crear plantas luminiscentes fracasaron, en abril de 2024 se pusieron a la venta petunias luminiscentes en Estados Unidos. Las reacciones químicas con emisión de luz constituyen una parte de la asignatura de química poco conocida por los alumnos, puesto que los procesos fotoquímicos no se abordan en los niveles preuniversitarios más allá de las reacciones de fotosíntesis. Introducir las plantas luminiscentes como aplicación práctica de la química y la biotecnología puede suponer un atractivo más en la didáctica de la asignatura, además de un intento de acercarse al objetivo 7 del desarrollo sostenible: energía accesible y no contaminante, propuesto como parte de la Agenda 2030 por las Naciones Unidas.

ABSTRACT:

Despite the fact that the first attempts to create luminescent plants failed, luminescent petunias went on sale in the USA in April 2024. Light emitting chemical reactions are a little-known part of the chemistry subject for students, as photochemical processes are not covered at pre-university level beyond photosynthesis reactions. By introducing luminescent plants as a practical application of chemistry and biotechnology, this could be a further attraction in the didactics of the subject, as well as an attempt to approach sustainable development goal 7: accessible and clean energy, proposed as part of the 2030 Agenda by the United Nations.

Introducción

En las reacciones químicas, unas sustancias iniciales, los reactivos, se transforman en sustancias diferentes, los productos. En las reacciones también hay implicada una cierta cantidad de energía que se puede absorber o emitir en forma de calor, o incluso de luz: por incandescencia o luminiscencia.

Las reacciones luminiscentes son reacciones que emiten energía en forma de luz.

La emisión de luz o luminiscencia está relacionada con la existencia de dos tipos diferentes de procesos, fotoluminiscencia y quimioluminiscencia.^[1]

La fotoluminiscencia es un fenómeno físico en el cual un material absorbe energía en forma de fotones (luz) y luego reemite esa energía en forma de luz también. Puede ser provocada por la excitación de electrones en un material cuando se expone a la luz. Hay dos tipos principales de fotoluminiscencia:

1. Fluorescencia: donde la luz reemitida cesa casi instantáneamente (en nanosegundos) tras la excitación.
2. Fosforescencia: donde la luz reemitida dura más tiempo (microsegundos a horas) debido a una transición de estado metaestable.

La quimioluminiscencia es el fenómeno por el cual se produce luz como resultado de una reacción química, sin necesitar absorción previa de luz.

Este tipo de reacciones se denomina bioluminiscencia^[1] cuando se observa en diversos organismos, como en las luciérnagas y ciertos tipos de medusas (ver Figura 1).

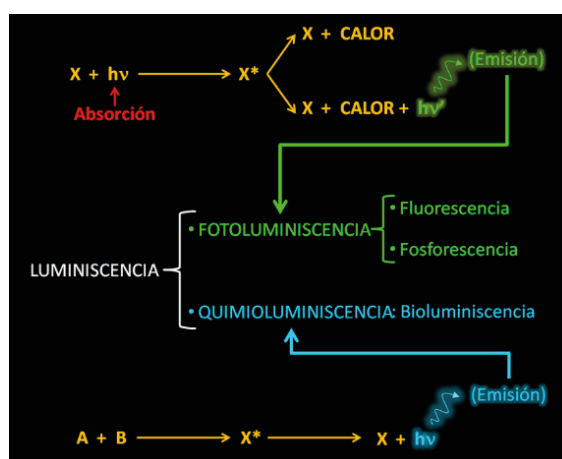


Figura 1. La emisión de luz o luminiscencia está relacionada con la existencia de dos tipos diferentes de procesos, fotoluminiscencia y quimioluminiscencia. Reproducido de Ref. [1]. © con permiso de A. Santos.

Entre las aplicaciones de la bioluminiscencia, se encuentran la biología (sensores de ATP, control de higiene, análisis la contaminación en ecosistemas, detección de interacciones proteína-proteína, cribado de alto rendimiento e imágenes in vivo en pequeños mamíferos), la medicina (ensayos genéticos, terapia de enfermedades, neurología, investigación de fármacos), la química analítica (detección de pH, iones metálicos, especies reactivas del oxígeno, enzimas, moléculas de fármacos y potencial de membrana...). También se utiliza en biotecnología, por ejemplo, en la ingeniería de varias plantas emisoras de luz.^[2]

Aristóteles (350 a. C.) ya abordó el fenómeno de la luz emitida por ciertos materiales en su obra *Sobre el alma* (Libro II, Capítulo 7), por lo que su observación es una de las primeras descripciones documentadas de este fenómeno.

No todo lo que se ve es visible a la luz, sino solamente el color característico de cada cosa: ciertas cosas, desde luego, no se ven a la luz, y, sin embargo, producen sensaciones en la oscuridad, por ejemplo, todas aquellas que aparecen ígneas y brillantes, no hay en nuestra lengua un término único para designarlas, como son los hongos, el asta y las cabezas, escamas y ojos de los peces (p.192).^[3]

Cayo Plinio Segundo el Viejo (23-79 d.C.) también describió, en su *Historia Natural*, la existencia de unas medusas en la bahía de Nápoles que resplandecían con una tonalidad verdosa al ser expuestas a la luz solar.^[4]

El mar de ardora o *milky seas* es un fenómeno bioluminiscente que se presenta en ciertas costas de algunas regiones del mundo, como la bahía de Mosquito Bay, en Vieques (Puerto Rico), las Maldivas, las Bahamas, las Islas Vírgenes, la isla de Palawan, en Filipinas, ciertas playas californianas y algunas playas de Tailandia, donde se encuentran altas concentraciones de dinoflagelados, organismos microscópicos que emiten luz al ser perturbados. Este fenómeno crea un espectáculo visual impresionante (ver Figura 2), ya que las olas del mar brillan en la oscuridad y crean la ilusión de que el agua está iluminada por miles de pequeñas luces.



Figura 2. Fenómeno conocido como mar de ardora. Reproducido de Ref. [5].

Químicamente, en 1885, Raphaël Dubois, profesor de la Universidad de Lyon, había descubierto que esta «luz de origen animal» aparece gracias a dos sustancias: una que actúa como combustible, a la que llamó luciferina (en alusión al nombre Lucifer, que significa «portador de luz»), que se oxida con la ayuda de una enzima, que actúa como catalizador, la luciferasa, para emitir luz.^[6] Raphael Dubois recibió en 1887 el Gran

Premio de las Ciencias Físicas por «sus investigaciones sobre la luz biológica».^[7]

Varios factores determinan el color de las emisiones, como la secuencia de aminoácidos de la luciferasa o la presencia de proteínas accesorias, en particular la proteína verde fluorescente, GFP.^[8]

La proteína verde fluorescente

En 1955, el profesor Yoshimasa Hirata, de la Universidad de Nagoya, le mostró la luz del crustáceo *Cypridina hilgendorffii* a su nuevo asistente, Osamu Shimomura, de 27 años, y le dijo: «No sabemos nada de esto, solo que resplandece. ¿Le interesa averiguar por qué?».^[6]

En 1962, Osamu Shimomura, químico y biólogo marino japonés (ver Figura 3.a), encontró dos proteínas responsables de la bioluminiscencia de la medusa *Aequorea victoria* (ver Figura 3.b), la aequorina, que contiene una luciferina y otra a la que llamó proteína verde fluorescente, (GFP, por sus siglas en inglés). La GFP emite luz verde cuando se expone a la luz ultravioleta y ha revolucionado la biología molecular y la biotecnología, ya que se utiliza como marcador en diversas técnicas de visualización celular.^[9,11]

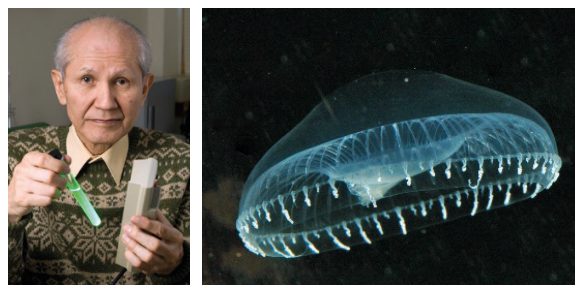


Figura 3. a) Osamu Shimomura. Reproducido de Ref. [12], © con permiso de Marine Biological Laboratory /Tom Kleindinst. b) *Aequorea victoria*. Reproducido de Ref. [13], © con permiso de Sierra Blakely.

Martin Chalfie, neurobiólogo (ver Figura 4.a), demostró que la GFP (ver Figura 4.b), originalmente aislada de la medusa *Aequorea victoria*, podía utilizarse como un marcador en organismos vivos, como el nematodo *Caenorhabditis elegans*. Esto permitió a los investigadores seguir el desarrollo de células específicas y trazar la línea celular durante la embriogénesis en tiempo real.^[9,11]

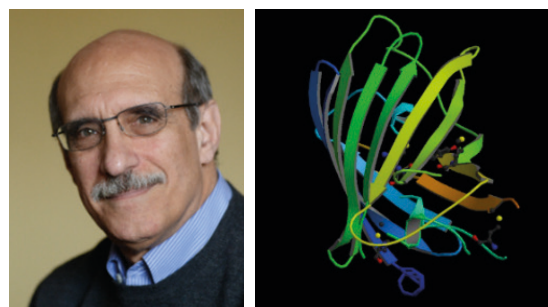


Figura 4. a) Martin Chalfie. Reproducido de Ref. [14], © con permiso de Eileen Barroso, Columbia University Photographer, y M. Chalfie. b) Diagrama de cinta de la estructura cristalina de GFP. Reproducido de Ref. [15], © GFP_1EMA by Ygonaar.

Por su parte, Roger Y. Tsien, bioquímico (ver Figura 5.a), trabajó en la modificación de la GFP para crear variantes con diferentes colores de fluorescencia (ver Figura 5.b). Las proteínas fluorescentes desarrolladas y mejoradas por Tsien tienen diversas aplicaciones en la investigación biomédica, como en la identificación de células cancerosas, el seguimiento de procesos celulares en tiempo real y la visualización de interacciones biomoleculares.

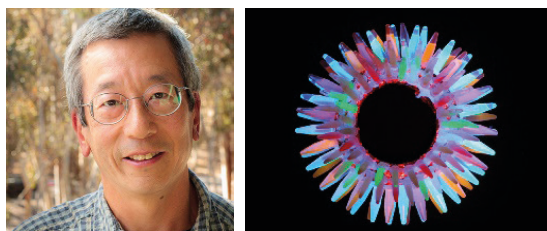


Figura 5. a) Roger Tsien. b) Colores producidos por Tsien a partir de la GFP. Reproducido de Ref. [16]. © ambas con permiso de University of California - San Diego.

Su trabajo facilitó el desarrollo de técnicas avanzadas de microscopía de fluorescencia, que permiten una resolución de imagen sin precedentes en biología celular y molecular.

Estas proteínas se han convertido en herramientas fundamentales en la biología molecular, ya que permiten a los científicos visualizar y rastrear procesos biológicos en células y organismos vivos, hacer un seguimiento de la actividad genética y crear nuevos métodos de diagnóstico en medicina, entre otros campos.^[9,10]

Recibieron el Premio Nobel de Química en el año 2008, "por el descubrimiento y desarrollo de la proteína verde fluorescente, GFP".^[9-11]

En 2007 el conocimiento de las proteínas que daban lugar a la bioluminiscencia permitió al equipo de Jeff W. Litchman de la Universidad de Harvard desarrollar la tecnología *Brainbow*. Se trata de una técnica innovadora utilizada en el campo de la neurociencia para visualizar y rastrear las conexiones neuronales en el cerebro.^[17]

En la tecnología *Brainbow* se modifican genéticamente neuronas para que expresen diferentes colores de fluorescencia. De esta forma, cada neurona puede etiquetarse con un color único, lo que permite a los científicos ver cómo se conectan entre sí en una red cerebral compleja. Esto se logra mediante la expresión de múltiples combinaciones de proteínas fluorescentes en las neuronas, lo que produce una amplia variedad de colores únicos. La tecnología *Brainbow* ha permitido a los investigadores estudiar la estructura del cerebro con un nivel de detalle sin precedentes, lo que facilita la comprensión de cómo las neuronas se conectan y se comunican entre sí. Permite investigar aspectos del desarrollo neuronal, la plasticidad sináptica y diversas patologías neurológicas, contribuyendo significativamente al avance de la neurociencia.

Plantas luminiscentes

La bioluminiscencia en plantas es un campo de estudio relativamente nuevo que ha cobrado relevancia en las últimas décadas, principalmente debido a su aplicación en la evaluación del estado fisiológico de las plantas, la detección de estrés ambiental, y su potencial en la agricultura.

En la actualidad, no existen de forma natural las plantas luminiscentes, ya que no pueden producir la luciferina necesaria para una reacción bioluminiscente. No obstante, los estudios

sobre la producción de plantas luminiscentes han cobrado un interés creciente en el ámbito de la biotecnología y la biología sintética. Estos esfuerzos buscan integrar capacidades luminiscentes en las plantas, no solo transcribiendo la luciferasa, sino también toda la ruta biosintética de la luciferina. Para ello, utilizan principalmente la bioluminiscencia natural de organismos como las luciérnagas y algunos hongos, donde el proceso es mucho más sencillo, puesto que el ácido cafeico, una importante molécula precursora de la luciferina, ya está presente en una gran variedad de plantas diferentes.^[18]

A continuación, se muestra un resumen de algunos de los últimos enfoques y descubrimientos en este campo.

Bioglow

Alexander Krichevsky, biotecnólogo (ver figura 6.a), fundador de la empresa *Bioglow LLC*, que estuvo funcionando desde 2011 hasta 2015, realizó investigaciones relacionadas con la fluorescencia en plantas, enfocándose en aspectos como la fotosíntesis, el estrés ambiental y la salud de las plantas. Sus estudios utilizaban técnicas de fluorescencia para evaluar la actividad fotosintética, la distribución de pigmentos y la respuesta de las plantas a diversas condiciones, como la luz, la temperatura y la disponibilidad de agua y nutrientes.

Sus investigaciones llevaron a la creación de lo que se considera la primera planta autoluminiscente del mundo, que emite una luz claramente visible para el ojo humano.^[19]

Para conseguirlo, utilizó técnicas de ingeniería genética incorporando así genes de bacterias bioluminiscentes, lo que le permitió emitir luz durante su ciclo de vida. Se la llamó *Starlight Avatar*, en referencia a la película *Avatar*, en la que la vegetación bioluminiscente es parte importante de la trama. La planta resultante, *Nicotiana glauca*, es una especie de tabaco ornamental que fue elegida por sus características adecuadas para la modificación genética. Se lanzó al mercado en diciembre de 2013, pero no resultó rentable, ya que las plantas emitían muy poca luz (ver Figura 6.b).



Figura 6. a) Alexander Krichevsky Reproducido de Ref. [20]. b) Detección visual de autoluminiscencia en LUX-Trnl/Tina Plantas. Fotografía tomada en la oscuridad con una cámara Nikon D200; AF-S Micro Nikkor 105,0 mm 1:2,8 G ED lente; expuesta 5 min a f/4,5, distancia focal de 105 mm, ISO 3200). © ambas con permiso de A. Krichevsky.

Glowing Plant

El proyecto *Glowing Plant* (ver Figura 7.a),^[21] lanzado en 2013 por un equipo de científicos y diseñadores dirigidos por Antony Evans, bioingeniero (ver Figura 7.b) y Kyle Taylor, fue otra iniciativa de biotecnología que buscaba crear plantas que emitieran luz brillante mediante la modificación genética.

El objetivo del proyecto era diseñar plantas que no solo fueran visualmente atractivas, sino que también pudieran ofrecer

una alternativa sostenible a las luces eléctricas, contribuyendo a la iluminación ambiental en espacios interiores y exteriores. Se planteaban varios usos potenciales, desde la decoración hasta su uso en jardines y paisajismo.^[22]

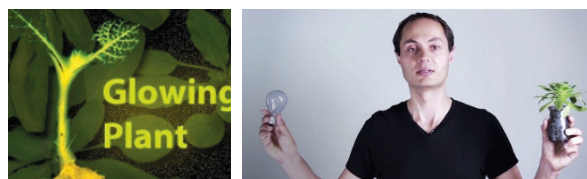


Figura 7. a) Logo de la empresa. Reproducido de Ref. [21].
b) Anthony Evans Reproducido de Ref. [23]. © con permiso de Kickstarter

La idea era utilizar técnicas de edición genética para incorporar un gen de una bacteria capaz de producir luminiscencia (*Vibrio fischeri*) e integrarlo en la *Arabidopsis thaliana*, cuyo crecimiento limitado motivó su sustitución por *Nicotiana tabacum* con el fin de obtener una planta bioluminiscente.^[24] Mediante una campaña de financiación colectiva en Kickstarter, 8.433 patrocinadores contribuyeron con 484.013 dólares (unos 400.000 euros) para que este proyecto se pudiera realizar.^[23] Quienes pagaran unos 36 € recibirían una planta al cabo de 12 meses, por unos 135 € un rosal luminoso.

A pesar del entusiasmo inicial y de la recaudación exitosa de fondos, el proyecto se enfrentó a varios desafíos técnicos y regulatorios. Grupos ambientalistas como *Friends of the Earth*, presionaron al Departamento de Agricultura de Estados Unidos para cerrar el proyecto.

En marzo de 2016 se pronosticó la entrega de semillas. La empresa no logró que las plantas emitieran luz en cantidades significativas y de manera consistente. También tuvo dificultades para obtener los permisos necesarios con los que llevar a cabo la producción y comercialización de estas plantas modificadas genéticamente.

Finalmente, el proyecto *Glowing Plant* se paralizó, anunciándose en diciembre de 2017 que dejarían de operar de forma permanente.

Empresa Planta

El equipo científico de la empresa de biotecnología Planta LLC (ver Figura 8.a), fundada en 2017 y con laboratorios en Moscú y Pushchino, está formado por más de 20 investigadores con experiencia en química orgánica e ingeniería metabólica.^[25] Estos científicos identificaron por primera vez los genes clave que permiten la bioluminiscencia de los hongos.^[26] Descubrieron que estos hongos sintetizan luciferina a partir de un compuesto llamado ácido cafeico, afectado por cuatro enzimas. Dos enzimas trabajan para transformar el ácido cafeico en un precursor luminiscente; una tercera enzima oxida este precursor para producir un fotón. Luego, la cuarta enzima convierte de nuevo la molécula en ácido cafeico, que puede reciclarse mediante el mismo proceso.^[27]

A partir de estos hechos, el equipo de científicos utilizó ADN de hongos bioluminiscentes para diseñar plantas de tabaco con un brillo autosostenible que dura todo el ciclo vital de la planta, diez veces más brillante que otras plantas brillantes genéticamente modificadas^[28] (ver Figura 8.b). Desde su fundación Planta ha creado más de 4000 líneas de plantas editadas con genoma.^[25]



Figura 8. a) Logo de la empresa planta. b) Imagen de una secuencia del crecimiento plantas luminiscentes. Ambas reproducidas de Ref. [25].

El objetivo de las plantas luminiscentes es tanto estético como funcional, ya que podrían aportar beneficios en términos de sostenibilidad, como la reducción de iluminación artificial en entornos urbanos.

En la actualidad se han identificado 122 hongos bioluminiscentes en todo el mundo.^[29]

Glow Plant

Glow Plant (ver Figura 9) es una empresa canadiense, con sede en Toronto, fundada en 2019 por James Wight, que comenzó sus investigaciones en 2016. Tiene instalaciones para investigación, producción, almacenamiento y cultivo.^[30]



Figura 9. Logos de la empresa Glow Plant Inc. Reproducido de Ref. [30].

En el caso de las Glow Plants, la reacción química que produce la luz es desencadenada por un recubrimiento de nanopartículas sintetizadas que se aplica sobre las hojas de la planta. Este recubrimiento está formado por pequeñas partículas diseñadas para absorber la luz ultravioleta (UV), presente en la luz solar durante el día, y liberar después luz visible cuando se exponen a la oscuridad por la noche, es decir, por fotoluminiscencia. Una breve exposición de 15 segundos a la luz UV enciende un brillo que puede durar hasta 3 horas. El recubrimiento, se conserva vivo durante más de 5 años.^[30]

La empresa tiene intención de expandirse a mercados europeos y occidentales.

Glowleaf

En el año 2020, Keun Amani fundó Glowleaf (ver Figura 10), una *start-up* biotecnológica con sede en Toronto. Durante tres años investigaron y perfeccionaron su enfoque para crear plantas que brillaran en la oscuridad.

El proceso consistía en introducir, en una muestra de células vegetales de la planta escogida, los genes de bioluminiscencia y de integrarlo en sus genomas. Las células vegetales modificadas se cultivaban en tubos de ensayo y se controlaban para comprobar que habían asimilado los genes correctamente. Las plantas sanas se transferían a una maceta y se cultivaban durante generaciones sucesivas para asegurarse de que eran estables.

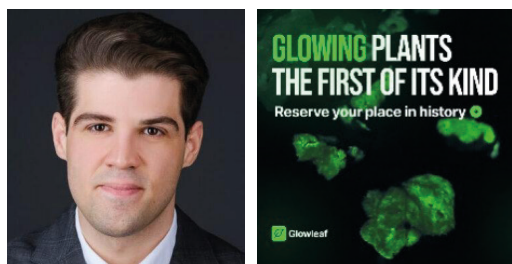


Figura 10. Keun Amani, fundador de Glowleaf y logo. Reproducido de Ref. [31]. © ambas con permiso de K. Amani.

Su proyecto puso de manifiesto las ineficiencias de la bioluminiscencia natural y los retos que plantea la optimización de las enzimas productoras de luz. Los métodos tradicionales, como el escaneo mutacional profundo (DMS), resultaron costosos y lentos, lo que impulsó a Amani a desarrollar en 2023 NeuroFold, un innovador modelo de diseño de enzimas con inteligencia artificial.

MIT

En 2021, los estudios sobre plantas luminiscentes de Michael S. Strano (ver Figura 11) y sus colaboradores de la Universidad de California y el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), en Estados Unidos, exploraron la posibilidad de que las plantas emitiesen luz de manera similar a los organismos bioluminiscentes.



Figura 11. Michael Strano. DISTAP Lead Principal Investigator. Reproducido de Ref. [32]. © con permiso de M. Strano.

Para ello utilizaron una técnica llamada nanobiónica de plantas, creando una planta muy brillante que podría tener aplicaciones en áreas como la iluminación sostenible y la reducción del uso de energía eléctrica (objetivo 7 del desarrollo sostenible: energía accesible y no contaminante, propuesto como parte de la Agenda 2030 por las Naciones Unidas).^[33]

Los científicos utilizaron cuatro nanopartículas que interactúan químicamente entre sí: sílice conjugada con luciferasa de luciérnaga, poli(ácido láctico-co-glicólico) liberador de d-luciferina, quitosano funcionalizado con coenzima A y nanocristales semiconductores de fósforo, que permiten una modulación de la longitud de onda más larga.^[34] Estas nanopartículas viajaban a destinos específicos dentro de las plantas sin dañar sus funciones normales, como la fotosíntesis y la evaporación de agua a través de las hojas.

Usando carga superficial y por tamaño para controlar dónde podrían ir los conjuntos de nanopartículas dentro de los tejidos vegetales, los investigadores pudieron optimizar la cantidad de luz emitida. Después de exponerse a la iluminación LED o a la propia luz solar, las plantas se vuelven brillantes, y resplandecen de color verde.

La planta utilizada fue un berro de agua (*Nasturtium officinale*), que produjo un brillo de alrededor de un billón de

fotones por segundo, la mitad de brillante que un LED comercial de un microvatio y cien mil veces más brillante que las plantas de tabaco genéticamente modificadas. Además, la planta se podía desactivar al agregar un compuesto que bloquea la luciferasa y, por tanto, que no active el brillo de la luciérnaga.^[35]

Conseguieron que las plantas brillaran durante cuatro horas, aunque la intensidad del brillo es mayor durante los primeros minutos (ver Figura 12).

El MIT también probó con éxito la técnica en plantas tan variadas como rúcula, col rizada y espinacas.^[36-38]



Figura 12. Imagen de una secuencia del crecimiento plantas luminiscentes del MIT. Reproducido de Ref. [38]. © con permiso de M. Strano.

Light Bio

La introducción de sistemas bioluminiscentes en plantas es difícil, ya que estas plantas no pueden producir la luciferina necesaria para la reacción bioluminiscente.^[19] Por lo tanto, no solo se debe transcribir la luciferasa en sí, sino también toda la ruta biosintética de la luciferina. En el caso de la bioluminiscencia de los hongos, este proceso es mucho más sencillo, ya que el ácido cafeico, una importante molécula precursora de la luciferina, ya está presente en una gran variedad de plantas diferentes.^[18,39]

La empresa Light Bio (ver Figura 13),^[40] fundada en 2019, con sede en Idaho (EE.UU.) y de la que Karen Sarkisyan experta en biología sintética es cofundadora, ha producido plantas con flores genéticamente modificadas, como el crisantemo, el álamo, la *Arabidopsis thaliana* y la petunia, con el objetivo de producir un brillo aún mayor y diferentes colores. “Estamos creando plantas bioluminiscentes para el hogar y el jardín. Nuestras plantas brillan con luz orgánica perpetua, brindando una experiencia mágica de asombro y deleite.”^[40]

En abril de 2024, la empresa distribuyó por Estados Unidos 50.000 petunias *Firefly* (luciérnaga), que contienen genes de hongos bioluminiscentes que las hacen brillar constantemente, a un precio de 53 dólares (29 por la planta y 24 por el envío)^[41] (Figura 14.a).

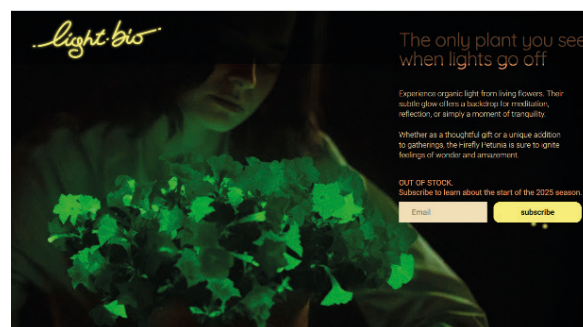


Figura 13. Imagen de la página web de la empresa Light Bio. Reproducido de Ref. [40]. © Light Bio con permiso de K. Sarkisyan.

El Dr. Karen Sarkisyan (Figura 14.b), ha sido distinguido en el año 2024, como uno de los «35 innovadores menores de 35 años» por MIT Technology Review.^[43]



Figura 14. a) Petunia Firefly Reproducido de Ref. [41]. b) Dr. Karen Sarkisyan. Reproducido de Ref. [42]. © ambas con permiso de K. Sarkisyan.

Actualmente, solo la petunia bioluminiscente es lo suficientemente brillante como para ser observada a simple vista. Las plantas de tabaco bioluminiscentes requieren algo de oscuridad y adaptación antes de poder observarse.^[40]

Varios compradores de estas petunias han compartido sus impresiones en vídeos que se pueden visualizar en YouTube.

Resumiendo

La modificación genética de plantas para introducir bioluminiscencia es un campo fascinante e innovador que combina diversas disciplinas científicas.

Las tecnologías utilizadas han sido:

- Ingeniería genética.
- Cribado de genes.
- Asociación simbiótica.
- Edición genómica (CRISPR-Cas9).
- Biología sintética.

Sus principales aplicaciones son:

- Iluminación de jardines y espacios urbanos de manera sostenible.
- Reducción del consumo energético y de la huella de carbono.
- Monitorización ambiental.
- Investigación biológica.
- Agricultura.
- Estudios interdisciplinares.

Conclusión

El campo de la bioluminiscencia en plantas es prometedor y está en constante evolución. A pesar de los primeros fracasos, la creciente investigación y colaboración interdisciplinares indican que es probable que se logren avances significativos en los próximos años, lo que podría llevar a una adopción más amplia de estas tecnologías innovadoras en múltiples sectores.

En la actualidad, las limitaciones y los desafíos están relacionados con la eficiencia lumínica, con desafíos regulatorios para la implementación de estas tecnologías, con problemas éticos derivados de la percepción pública sobre los organismos genéticamente modificados y con los posibles efectos secundarios que puedan ejercer sobre polinizadores y herbívoros.

Comentar estos brillantes avances a los alumnos, junto con la secuencia de la investigación, sus pros y sus contras, puede hacerles comprender que la Química es una ciencia en constante evolución, en la que siempre hay lugar para nuevas investigaciones.

Los experimentos para conseguir plantas luminiscentes son otro ejemplo más de la aplicación del método científico.

Conflicto de intereses

En este artículo se ha intentado ofrecer una visión cronológica de las investigaciones realizadas para crear plantas luminiscentes. La persona que suscribe el artículo no tiene ninguna vinculación con las empresas que aparecen en el mismo ni pretende hacer publicidad de las mismas.

Bibliografía

- [1] A. Martín, S. Serrano, A. Santos, D. Marquina, C. Vázquez, *Reduca* **2010**, 3(5), 75-86.
- [2] A.J. Syed, J.C. Anderson. *Chem. Soc. Rev.* **2021**, 50(9), 5668-5705, <https://doi.org/10.1039/DOC501492C>.
- [3] Aristóteles, *Acerca del alma*, Gredos, Madrid, **2003**, p. 192.
- [4] Harvey, E.N. *Bioluminescence*, Academic Press, New York, USA, **1952**, pp. 371-372.
- [5] "Pixabay", disponible en <https://pixabay.com/es/>, (consultado: 12/10/2024).
- [6] García, A. "Bioluminiscencia: hágase la luz (en la naturaleza)", disponible en <https://ethic.es/2024/06/bioluminiscencia-hagase-la-luz-en-la-naturaleza/>, **2024** (consultado: 09/10/2024).
- [7] J. Poisson. *Rev. Hist. Pharm.* **2010**, 58(365), 51-56, <https://doi.org/10.3406/pharm.2010.22136>.
- [8] T. Wilson, J.W. Hastings. *Annu. Rev. Cell. Dev. Bio.* **1998**, 14(1), 197-230, <https://doi.org/10.1146/annurev.cellbio.14.1.197>.
- [9] A. Garriz. *Educ. quim.* **2009**, 20(1), 75-76, [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30010-7](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30010-7).
- [10] J. C. Ferrer. *An.Quim.* **2020**, 104(4), 276-279.
- [11] The Nobel Prize, "The Nobel Prize in Chemistry 2008", disponible en <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2008/summary/>, (consultado: 09/10/2024).
- [12] The University of Chicago, Marine Biological Laboratory, "Osamu Shimomura" disponible en <https://www.mbl.edu/news/obituaries/osamu-shimomura>, **2018** (consultado: 09/10/2024).
- [13] "Aequorea victoria", disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/Aequorea_victoria, act. **2019** (consultado: 01/10/2024).
- [14] Columbia University Biological Sciences, "Martin Chalfie", disponible en <https://biology.columbia.edu/content/martin-chalfie>, (consultado: 15/10/2024).
- [15] "Proteína verde fluorescente", disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/Proteína_verde_fluorescente, act. **2024** (consultado: 08/10/2024).
- [16] UC-San Diego, "People", disponible en <https://tsienlab.ucsd.edu/People.htm>, (consultado: 29/10/2024).
- [17] J. Livet, T. A. Weissman, H. Kang, R. W. Draft, J. Lu, R. A. Bennis, J. R. Sanes, J. W. Lichtman. *Nature*, **2007**, 450, 56-62, <https://doi.org/10.1038/nature06293>.
- [18] S. Schramm, D. Weiß. *ChemBioChem* **2024**, 25, 1-40, <https://doi.org/10.1002/cbic.202400106>.
- [19] A. Krichevsky, B. Meyers, A. Vainstein, P. Maliga, V. Citovsky, *PLoS ONE* **2010**, 5(11), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0015461>.
- [20] "Alexander Krichevsky", disponible en <https://www.linkedin.com/in/akrichevsky>, (consultado: 18/10/2024).
- [21] "Glowing plant", disponible en <https://gust.com/companies/glowing-plant>, **2022** (consultado: 21/10/2024).
- [22] WSL Branded Content, "Árboles que brillan para sustituir a las farolas. ¿Y si el mundo sostenible pasa por la biotecnología?", disponible en <https://www.xataka.com/n/arboles-que-brillan-para-sustituir-a-las-farolas-y-si-el-mundo-sostenible-pasa-por-la-biotecnologia>, **2016** (consultado: 09/10/2024).

- [23] A. Evans, "Glowing Plants: Natural Lighting with no Electricity", disponible en <https://www.kickstarter.com/projects/antonyevans/glowing-plants-natural-lighting-with-no-electricity-description>, act. **2017** (consultado: 12/10/2024).
- [24] A. Regalado, "El fiasco de la planta brillante que arrasó en Kickstarter pone freno a la biología DIY", consultado en <https://www.technologyreview.es/s/6097/el-fiasco-de-la-planta-brillante-que-arraso-en-kickstarter-pone-freno-la-biologia-diy>, **2016** (consultado: 09/10/2024).
- [25] "Planta", disponible en <https://www.planta.bio>, (consultado: 10/10/2024).
- [26] A. A. Kotlobay, K. S. Sarkisyan, Y. A. Mokrushina, I. V. Yampolsky. *PNAS Biochemistry* **2018**, 115(50), 12728-12732, <https://doi.org/10.1073/pnas.1803615115>.
- [27] T. Mitiouchkina, A.S. Mishin, L.G. Somermeyer, N.M. Markina, T.V. Chepurnyh, E.B. Guglya, T.A. Karataeva, K.A. Palkina, E.S. Shakhova, L.I. Fakhranurova, S.V. Chekova, A.S. Tsarkova, Y.V. Golubev, V.V. Negrebetsky, S.A. Dolgushin, P.V. Shalaev, D. Shlykov, O.A. Melnik, V.O. Shipunova, S.M. Deyev, A.I. Bubyrev, A.S. Pushin, V.V. Choob, S.V. Dolgov, F.A. Kondrashov, I.V. Yampolsky, K.S. Sarkisyan. *Nat. Biotechnol.* **2020**, 38(8), 944-946. <https://doi.org/10.1038/s41587-020-0500-9>.
- [28] V. Zaviálova, "Russia Beyond. Negocio fosforescente: científicos rusos crean plantas luminosas modificadas genéticamente", disponible en <https://es.rbth.com/tecnologias/82206-negocio-fosforescente-cientificos-rusos-crean>, **2018** (consultado: 09/10/2024).
- [29] W. Lu, A.K.H. Priyashantha, M.C.A. Galappaththi, S. Tibpromma, D.-Q. Dai, N.M. Patabendige, B.M. Premarathne, D.M. Kulasuriya, A.N. Ediriweera, T.S. Nimalrathna, N. Suwannarach, S. Lumyong, A.Tang, S.-C. Shao, S.C. Karunarathna. *Diversity* **2024**, 16, 539, <https://doi.org/10.3390/d16090539>.
- [30] "Glow plant", disponible en <https://glowplant.ca/collections/frontpage> y <https://glowplant.ca/pages/projects>, (consultado: 09/10/2024).
- [31] "Glowleaf", disponible en <https://glowleaf.bio/>, (consultado: 30/10/2024).
- [32] SMART DiSTAP, "Engineering plants is now a breeze", disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=KT8b2qJnQTY>, **2019** (consultado: 09/10/2024).
- [33] ONU, "La Agenda para el Desarrollo Sostenible" disponible en <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>, (consultado: 09/10/2024).
- [34] Y. Liu, F. Xu, Z. Zhang, E. S. Penev, B. I. Yakobson, *Nano Lett.* **2014**, 14(12), 6782-6786, <https://doi.org/10.1021/nl5021393>.
- [35] M. Starr, "Freaking Cool Glowing Plants Could One Day Replace Your Desk Lamp", disponible en <https://www.sciencealert.com/plant-nanobionics-bioluminescent-glowing-watercress-mit>, **2017** (consultado: 09/10/2024).
- [36] S.-Y. Kwak, J. P. Giraldo, M. H. Wong, V. B. Koman, T. T. Salim Lew, J. Ell, M. C. Weidman, R. M. Sinclair, M. P. Landry, W. A. Tisdale, M.S. Strano. *Nano Lett.* **2017**, 17(12) 7951-7961, <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.7b04369>.
- [37] "MIT: plantas que brillan podrían sustituir a las farolas", disponible en <https://n-economia.com/noticias/mit-plantas-que-brillan-podrian-sustituir-a-las-farolas/>, **2021** (consultado: 09/10/2024).
- [38] MIT, "Glowing plants", disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=hpvqd8zJM4>, **2017** (consultado: 09/10/2024).
- [39] P. Zheng, J. Ge, J. Ji, J. Zhong, H. Chen, D. Luo, W. Li, B. Bi, Y. Ma, W. Tong, L. Han, S. Ma, Y. Zhang, J. Wu, Y. Zhao, R. Pan, P. Fan, M. Lu, H. Du. *Plant Biotechnol J.* **2023**, 21, 1671-1681, <https://doi.org/10.1111/pbi.14068>.
- [40] "Light bio", disponible en <https://light.bio/>, (consultado: 09/10/2024).
- [41] R. Ehrenberg, "Lo que una petunia bioluminiscente me enseñó", disponible en <https://es.knowablemagazine.org/content/articulo/sociedad/2024/como-brilla-una-petunia-bioluminiscente>, **2024** (consultado: 09/10/2024).
- [42] L. Keith. "Dr Karen Sarkisyan named as one of MIT's "Innovators Under 35" 2024" disponible en <https://www.imperial.ac.uk/news/256094/dr-karen-sarkisyan-named-mits-innovators/>, **2024** (consultado: 20/10/2024).



Otilia Val Castillo

Departamento de Física y Química, IES Lluís Simarro, Xàtiva, Valencia

C-e: o.valcastillo@edu.gva.es
ORCID: 0000-0003-0335-3162

Licenciada en Ciencias Químicas por la Universidad de Murcia en 1990 y doctorada cum laude en 1993. Funcionaria de carrera del cuerpo de Profesores de Enseñanza Secundaria desde 1995. Actualmente es catedrática y jefa del departamento de Física y Química en el IES Lluís Simarro de Xàtiva. Ha participado con alumnos en diversos certámenes, obteniendo premios y reconocimientos. En 2021 le fue concedido el Premio Tarea Educativa y Divulgativa a Profesores de Enseñanza Secundaria, otorgado por la RSEQ-STVAL. Ha publicado artículos, impartido conferencias y participado en congresos y mesas redondas sobre las dificultades a las que se enfrentan las mujeres dedicadas a las ciencias, así como sobre la química y su didáctica.