

**Sección:** ¿Cómo funciona?

# Genes reporteros: linternas en el laboratorio

## Reporter genes: flashlights in the laboratory

---

Dennia Fabiola Gómez Acosta  
Antonia Gutiérrez Mora  
Rafael Urrea López\*

Unidad de Biotecnología Vegetal, Centro público de Investigación CIATEJ, Jalisco, México.

\*Autor para la correspondencia: rurrea@ciatej.mx

### RESUMEN

Los genes reporteros se han convertido en aliados indispensables para la biotecnología vegetal. Gracias a ellos, los científicos pueden “ver” lo que ocurre dentro de las plantas: cómo se activan los genes, cómo crecen las raíces o cómo responden al estrés. Ejemplos como la proteína verde fluorescente (GFP), la enzima GUS, la luciferasa o el pigmento *RUBY*, provenientes de organismos como medusas o luciérnagas, iluminan literalmente procesos biológicos invisibles. Actualmente, estas herramientas son clave en la investigación agrícola, el mejoramiento genético y la edición del genoma vegetal.

*Palabras clave:* Genes reporteros, biotecnología vegetal, expresión génica.

---

### SUMMARY

Reporter genes have become indispensable allies in plant biotechnology. They allow scientists to “see” what happens inside plants—how genes are activated, how roots grow, or how plants respond to stress. Examples such as the green fluorescent protein (GFP), the GUS enzyme, luciferase, and the *RUBY* pigment—originating from jellyfish and fireflies—literally illuminate otherwise invisible processes. Today, these tools are key to agricultural research, genetic improvement, and genome editing, enabling real-time visualization of cellular dynamics and gene regulation in plants.

*Keywords:* Reporter genes, plant biotechnology, gene expression.

### Conceptos clave para leer como un experto:

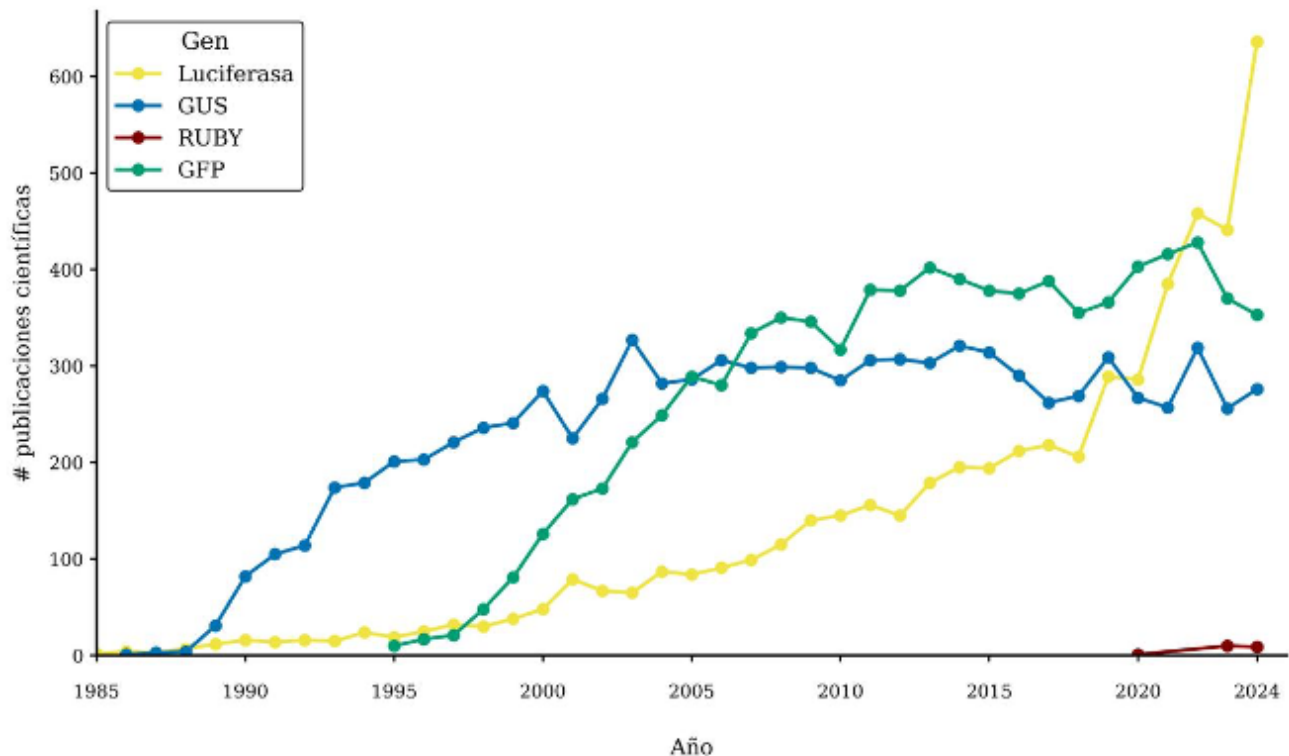
- **Gen:** Fragmento de ADN que contiene la información para producir una proteína.
- **Proteína:** Molécula que realiza funciones estructurales o metabólicas en las células.
- **Fluorescencia:** Emisión de luz por una molécula al ser excitada por otra fuente luminosa.
- **Promotor:** Región del ADN que controla cuándo y dónde se expresa un gen.
- **Transformación genética:** Proceso mediante el cual se introduce ADN externo en un organismo.

## Introducción

Hace cinco siglos, la invención del microscopio abrió una ventana al mundo de la vida que nos era invisible y marcó el inicio de una nueva era en la biología. Desde entonces, las técnicas de observación e imagen han evolucionado de forma extraordinaria y, junto a los avances en biología molecular e ingeniería genética, han permitido visualizar, caracterizar y cuantificar procesos biológicos a nivel celular y molecular en organismos vivos. Te invitamos a descubrir una de las herramientas más fascinantes de esa evolución: los genes reporte-

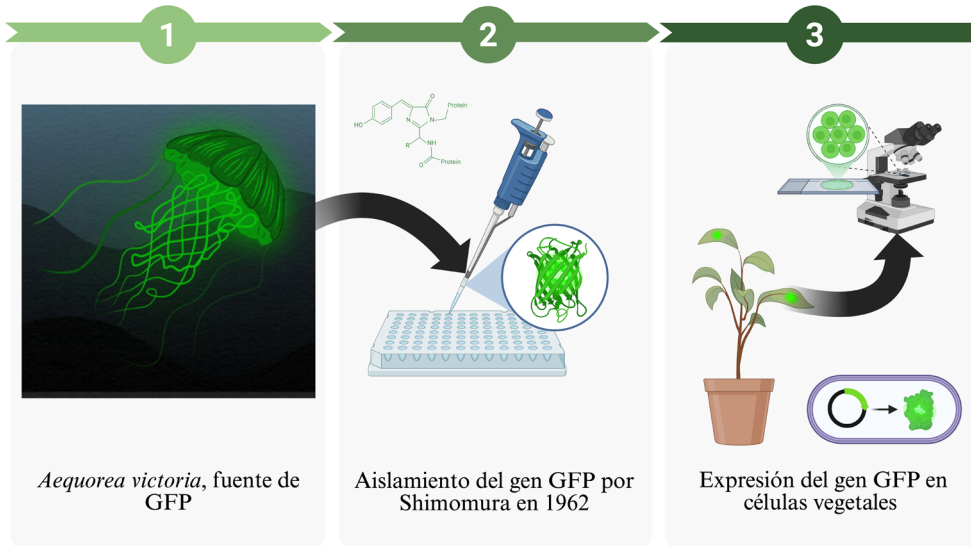
ros, que literalmente han permitido iluminar la biología de las plantas. Gracias a esto, los investigadores pueden “ver” procesos que antes eran invisibles: el crecimiento de una raíz, la respuesta de una hoja al estrés o la manera en que una planta reacciona ante un patógeno.

Desde su descubrimiento, los genes reporteros han despertado un gran interés por su contribución en el estudio de plantas (Figura 1), en las siguientes páginas se presenta una síntesis de cuatro de los genes reporteros más utilizados en biotecnología vegetal. Para los interesados en profundizar sobre el tema



**Figura 1.** Tendencia en el número de publicaciones científicas en las que se usan genes reporteros (GUS, GFP, luciferasa y RUBY) en estudios de plantas en los últimos 40 años. Información obtenida de la base de datos de referencias bibliográficas y citas multidisciplinaria, Scopus.

## Del mar a la célula vegetal: el origen del gen GFP



**Figura 2.** Origen y aplicación del gen GFP, aislado de la medusa *Aequorea victoria* e introducido posteriormente en células vegetales. Elaboración propia con BioRender.

recomendamos leer la revisión de literatura de Súnico et al., 2024 [1].

### De las profundidades del mar a los laboratorios de biotecnología

Uno de los más famosos genes reporteros es la proteína verde fluorescente (GFP, por sus siglas en inglés, Green Fluorescent Protein), que emite una luz verde brillante al ser excitada con luz azul o ultravioleta. Esta proteína proviene de una medusa transparente del océano Pacífico llamada *Aequorea victoria*, capaz de producir un resplandor verde para comunicarse y defenderse de sus depredadores. Durante los años sesenta, el investigador Osamu Shimomura logró aislar la sustancia responsable de ese brillo: una proteína que emitía una intensa luz verde cuando era iluminada con luz azul o ultravioleta [2].

Décadas después, el científico Martin Chalfie tuvo una idea brillante: ¿y si ese gen que codifica la proteína fluorescente de la medusa pudiera introducirse en otro organismo? En 1994 demostró que el gen de GFP podía introducirse y expresarse en bacterias y nemá-

todos, y que las células que producían la proteína emitían fluorescencia verde sin necesidad de añadir otras sustancias [3]. Este hallazgo probó que GFP funcionaba como un indicador natural dentro de las células, una especie de linterna biológica que podía introducirse en casi cualquier organismo vivo, incluidas las plantas, donde hoy se utiliza como una herramienta para observar procesos

celulares en tiempo real (Figura 2).

Más tarde, Roger Tsien perfeccionó la proteína y desarrolló versiones con distintos colores (amarillo, cian, rojo), lo que permitió seguir múltiples procesos celulares al mismo tiempo [4]. Este trabajo conjunto revolucionó la biología moderna, motivo por el cual en 2008 les fue otorgado a los tres científicos, Shimomura, Chalfie y Tsien el Premio Nobel de Química, por el descubrimiento y desarrollo de la proteína verde fluorescente, GFP.

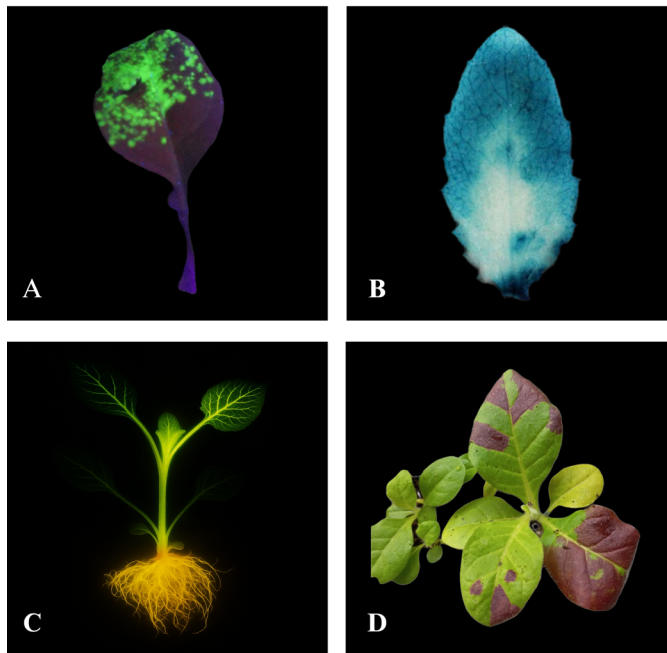
A partir de entonces, los genes reporteros fluorescentes se convirtieron en una herramienta indispensable para estudiar la vida. En el caso de las plantas, su adopción fue un paso natural: los investigadores pudieron observar directamente cómo las raíces crecen, cómo las hojas responden al estrés o cómo un patógeno se propaga dentro de los tejidos vegetales.

### ¿Cómo funciona la magia fluorescente?

La luz verde que emite la proteína GFP no proviene de magia, sino de química y biología

en acción. La proteína fluorescente contiene en su interior una estructura especial llamada cromóforo, formada por unos pocos aminoácidos que, al absorber luz ultravioleta o azul, emiten luz verde. Es un proceso muy similar al que ocurre con los colores fluorescentes insertados como elementos de seguridad en el reverso de todos los billetes de México que brillan al ser expuestas a la luz ultravioleta, pero aquí sucede dentro de una célula viva.

Para que una planta produzca esa proteína, los científicos primero deben introducir el gen *GFP* en el ADN de la planta mediante técnicas de biotecnología. Uno de los métodos más comunes consiste en usar una bacteria natural del suelo (*Agrobacterium tumefaciens*), que actúa como una “catapulta” capaz de transferir el gen a las células vegetales.



**Figura 3.** Visualización de genes reporteros en plantas: (A) Sobreexpresión de GFP en hoja de *Nicotiana benthamiana* al ser expuesta en oscuridad a luz UV, en ensayos de transformación transitoria; (B) Actividad del reportero GUS en hoja de *Arabidopsis thaliana*, en el análisis de activación de un promotor inducido por auxina mediante tinción histoquímica azul (imagen adaptada de Guo et al., 2015, *Frontiers in Plant Science*, licencia CC BY 4.0); (C) luciferasa en *Nicotiana tabacum* utilizada para detectar la actividad de un gen mediante emisión de luz tras la adición de luciferina (imagen recreada a partir de Ow et al., 1986, *Science*); y (D) Acumulación de betalainas en hojas de *Nicotiana tabacum* debido a la sobreexpresión de RUBY.

Cuando la planta incorpora el gen, lo traduce y fabrica la proteína fluorescente como si fuera propia (Figura 3A).

Al exponer las plantas transformadas con una lámpara de luz ultravioleta, las partes donde el gen está activo emiten una luz verde intensa. Así, los investigadores pueden observar directamente fenómenos invisibles: cómo se forman los tejidos, cómo se distribuyen las proteínas o qué zonas responden a una señal ambiental.

### Otras luces y colores: más allá de la GFP

Después del éxito de la proteína GFP, los científicos comenzaron a crear proteínas fluorescentes de distintos colores, modificando su estructura o tomando genes de otras especies marinas. Hoy existe una auténtica paleta de fluorescencias:

- YFP (amarilla) y CFP (cian), ideales para estudiar dos procesos al mismo tiempo.
- RFP (roja), derivada de corales, útil para visualizar tejidos más profundos.

Además, existen otros genes reporteros no fluorescentes, pero igual de importantes, el gen *GUS*, proveniente de la bacteria *Escherichia coli* que codifica una enzima ( $\beta$ -glucuronidasa) que transforma un sustrato incoloro (X-Gluc) en un compuesto azul visible [5]. Esta reacción permite identificar los tejidos o zonas donde un gen está activo. En las plantas, el sistema GUS se ha convertido en una herramienta clásica para estudiar los promotores, regiones del DNA que controlan cuándo y dónde se activa un gen y analizar la expresión génica. Es decir, mediante este sistema es posible observar en qué tejidos (expresión espacial) y en qué momento del desarrollo, o bajo qué condiciones (expresión temporal) un gen está activo. Por ejemplo, se utiliza para evaluar qué partes de una planta expresan un gen bajo

condiciones de estrés (Figura 3B). Su principal ventaja es su alta sensibilidad, bajo costo y facilidad de uso; sin embargo, la limitación más importante es que el ensayo es destructivo: el tejido debe sacrificarse para revelar la coloración.

Otro sistema reportero es la luciferasa (*LUC*), derivado de las luciérnagas, permite la detección de luz visible producida por una reacción bioluminiscente. La enzima luciferasa cataliza la oxidación de la luciferina, generando luz sin requerir excitación externa (Figura 3C). Este sistema permite estudiar la expresión génica en tiempo real, en tejidos vivos y sin destruir la muestra. En plantas, *LUC* se usa para investigar ritmos circadianos, regulación por hormonas, o respuesta a factores ambientales [6]. Aunque requiere añadir luciferina y equipo sensible para detectar la señal, su capacidad de monitoreo continuo lo hace invaluable. Con el tiempo, la biotecnología ha dado origen a nuevas variantes de luciferinas, incluso provenientes de hongos, que ofrecen mayor estabilidad y eficiencia luminosa, ampliando su aplicación en el estudio de organismos vegetales

y sistemas complejos.

Uno de los sistemas reporteros más recientes es *RUBY*, en el que tres enzimas biosintetizan el pigmento natural betalaína, responsable del color rojo en algunas plantas capaces de producir este pigmento, como el betabel [7]. Cuando se introduce el sistema *RUBY* en un tejido vegetal, este se vuelve visiblemente rojo, lo cual puede observarse a simple vista, sin microscopio ni reactivos (Figura 3D). *RUBY* representa una nueva generación de genes reporteros visuales, de bajo costo y completamente no destructivos. Esta simplicidad convierte a *RUBY* en una herramienta ideal para identificar tejidos transformados. Lo cual permitirá avanzar rápidamente en el estudio de la biología de plantas, caracterización funcional de genes y mejoramiento genético.

Cada tipo de reportero tiene ventajas: los fluorescentes permiten observar células vivas en tiempo real, mientras que los enzimáticos ofrecen gran sensibilidad y precisión en experimentos a gran escala (Tabla 1). Gracias a esta diversidad, los científicos pueden combi-

**Tabla 1.** Principales genes reporteros empleados en biotecnología vegetal y sus características.

Gen reportero	Origen	Tipo de señal	Ventajas	Desventajas
<i>GFP</i> (green fluorescent protein)	<i>Aequorea victoria</i>	Fluorescencia verde bajo luz UV o azul	Permite observar células vivas; no requiere sustrato; alta resolución espacial. Localización celular.	Al observar en microscopio la autofluorescencia vegetal puede interferir.
<i>GUS</i> ( $\beta$ -glucuronidasa)	<i>Escherichia coli</i>	Colorimétrica; color azul tras reacción con X-Gluc	Alta sensibilidad; útil para estudios de expresión espacial.	Ensayo destructivo; no apto para seguimiento en tiempo real.
<i>LUC</i> (luciferasa)	<i>Photinus pyralis</i>	Bioluminiscencia (luz visible sin excitación externa) por luciferina	Permite medición en tiempo real y cuantitativa; no destructivo.	Requiere adición de luciferina; señal débil sin cámara sensible.
<i>RUBY</i>	Sistema sintético vegetal	Pigmento visible (betalaínas)	Señal visible a simple vista; no requiere equipo especializado ni sustratos exógenos.	No permite estudios de localización celular. Requiere de sustratos endógenos (tirosina) para la síntesis de betalaínas.

nar colores y señales para “pintar” la actividad genética en las plantas para seguir el ritmo de la vida.

## Genes reporteros en acción: ¿para qué se usan en plantas?

La expresión de genes está regulada por los promotores, que son regiones del ADN, ubicadas antes del gen, capaces de atraer la maquinaria celular necesaria para la transcripción del gen. Para saber en qué momento se expresa un gen son de utilidad los genes reporteros. Añadiendo un reportero como *GFP* a la secuencia de un promotor podemos identificar las condiciones espaciales y temporales en las cuales se activa la expresión del gen.

De esta forma se han identificado genes

que aumentan su expresión bajo condiciones de estrés. Por ejemplo, en la Figura 4, se muestra como al agregar *GFP* después de un promotor que estamos estudiando, y someter la planta a condiciones de déficit hídrico se puede identificar si ese promotor regula un gen importante en la respuesta de la planta a la sequía. Es decir, los genes reporteros son como detectives del mundo molecular.

Gracias a estas herramientas es posible estudiar diversos procesos biológicos en plantas, como:

- Desarrollo vegetal: cómo se forman raíces, hojas o flores.
- Respuestas al ambiente: cómo las plantas reaccionan a la sequía, la salinidad o las infecciones.

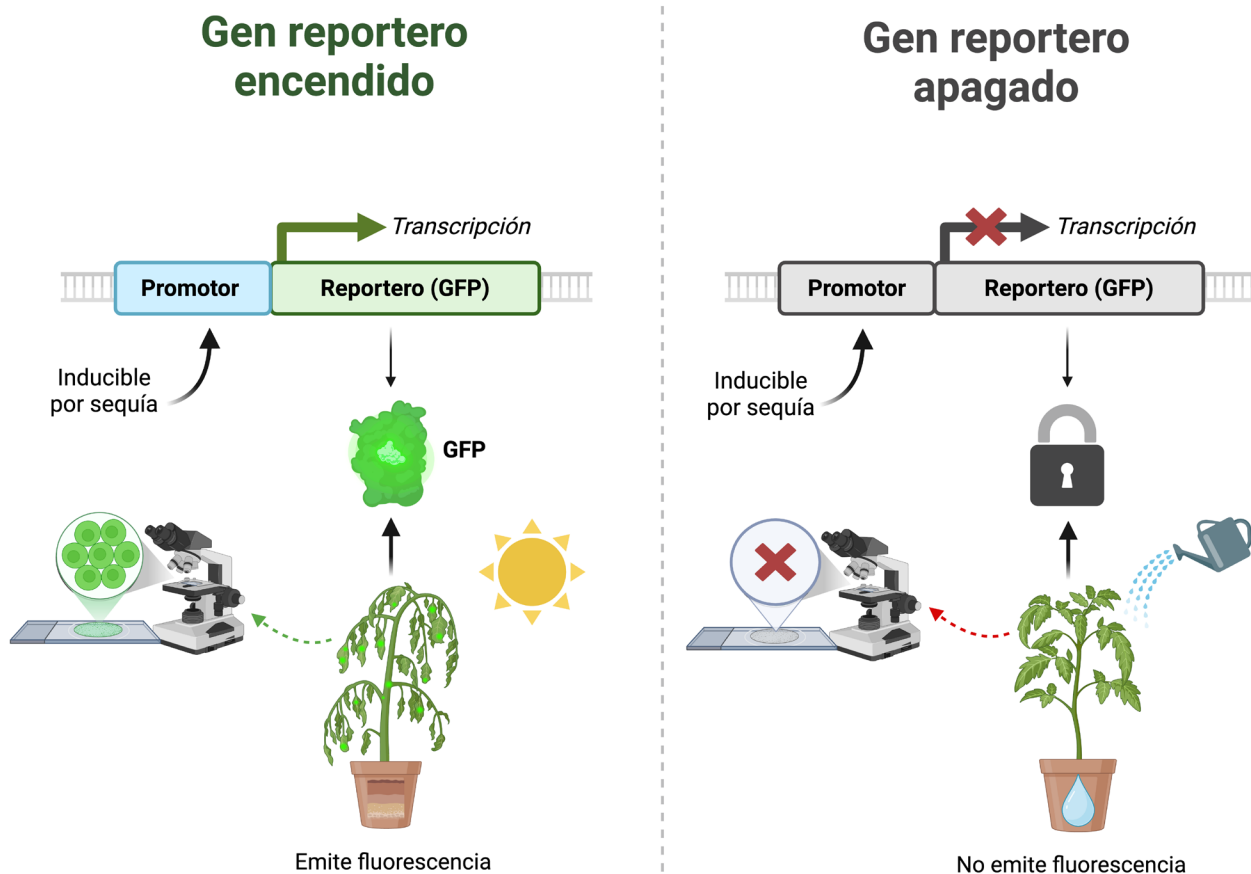


Figura 4. Detección de la actividad de un promotor inducible mediante un gen reportero fluorescente (*GFP*).

- Interacciones planta-microorganismo: seguimiento de bacterias o hongos marcados con GFP.
- Optimización de protocolos de transformación genética: identificación de células que incorporaron ADN externo.

## Del laboratorio al campo: contribuciones al mejoramiento vegetal

Más allá de su valor experimental, los genes reporteros son una herramienta clave para el mejoramiento genético. En la investigación agrícola moderna, se utilizan para:

- Verificar transformaciones exitosas: las células que brillan son las que incorporaron correctamente el nuevo gen.
- Evaluar promotores específicos: por ejemplo, promotores que sólo se activan en raíces o bajo calor extremo.

En cultivos como arroz, maíz o tomate, estos marcadores han ayudado a acelerar el desarrollo de plantas resistentes a enfermedades, más productivas o adaptadas a condiciones difíciles. Además, al reemplazar marcadores antibióticos por genes reporteros fluorescentes, se logra una biotecnología más segura y ambientalmente responsable.

## Conclusiones

Desde una medusa marina hasta un invernadero moderno, la historia de los genes reporteros muestra cómo la curiosidad puede transformar la ciencia. Los genes reporteros permiten visualizar lo invisible: el lenguaje genético que dirige cada etapa de la vida vegetal.

Gracias a ellos, hoy sabemos cuándo una planta siente sed, cómo responde al calor o cómo se defiende ante un hongo. Los genes reporteros simbolizan el poder de la observación,

la imaginación y la colaboración científica, recordándonos que, en ciencia, la curiosidad siempre enciende la luz del conocimiento.

## Referencias

- [1] Súnico V, Piunti I, Bhattacharjee M, Mezzetti B, Caballero JL, Muñoz-Blanco J, et al. Overview on Current Selectable Marker Systems and Novel Marker Free Approaches in Fruit Tree Genetic Engineering. *Int J Mol Sci* 2024;25. <https://doi.org/10.3390/ijms252211902>
- [2] Shimomura O, Johnson FH, Saiga Y. Extraction, Purification and Properties of Aequorin, a Bioluminescent Protein from the Luminous Hydromedusan, *Aequorea*. *J Cell Comp Physiol* 1962;59:223–39. <https://doi.org/10.1002/jcp.1030590302>
- [3] Chalfie M, Tu Y, Euskirchen G, Ward WW, Prasher DC. Green Fluorescent Protein as a Marker for Gene Expression. *Science* (1979) 1994;263:802–5. <https://doi.org/10.1126/science.8303295>
- [4] Tsien RY. The green fluorescent protein. *Annu Rev Biochem* 1998;67:509–44. <https://doi.org/10.1146/annurev.biochem.67.1.509>
- [5] Jefferson RA, Kavanagh TA, Bevan MW. GUS fusions: beta-glucuronidase as a sensitive and versatile gene fusion marker in higher plants. *EMBO J* 1987;6:3901–7. <https://doi.org/10.1002/j.1460-2075.1987.tb02730.x>
- [6] Millar AJ, Short SR, Hiratsuka K, Chua N-H, Kay SA. Firefly luciferase as a reporter of regulated gene expression in higher plants. *Plant Mol Biol Report* 1992;10:324–37. <https://doi.org/10.1007/BF02668909>
- [7] He Y, Zhang T, Sun H, Zhan H, Zhao Y. A reporter for noninvasively monitoring gene expression and plant transformation. *Hortic Res* 2020;7. <https://doi.org/10.1038/s41438-020-00390-1>