

Cuando los virus son aliados: explorando los secretos de las plantas

ELIZABETH RUBIO RODRÍGUEZ Y
GABRIELA TREJO TAPIA

La Dra. Rubio Rodríguez es investigadora posdoctoral en el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional (CEPROBI-IPN). Su campo de especialidad es la Biotecnología vegetal aplicada al estudio de los genes involucrados en las rutas de biosíntesis de metabolitos especializados en plantas medicinales no modelo. La Dra. Trejo Tapia es investigadora en el CEPROBI-IPN. Su campo de especialidad es la Biotecnología de plantas medicinales, con énfasis en la síntesis de metabolitos especializados. Es integrante de la Academia Mexicana de Ciencias y de la Academia de Ciencias de Morelos.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

Cuando escuchamos la palabra *virus*, muchas veces pensamos en enfermedades, fiebres o pandemias. Pero ¿qué son realmente estas diminutas partículas a las que nos enfrentamos? ¿Realmente son responsables de infinidad de catástrofes? En el mundo de la ciencia y, muy especialmente, en la biotecnología vegetal, los virus no siempre son enemigos. De hecho, en ciertos contextos, pueden convertirse en valiosos aliados. Gracias a sus características únicas, los virus nos ayudan a estudiar procesos complejos y a desarrollar herramientas que abren nuevas posibilidades para la investigación científica. Antes de contarle cómo los virus pueden convertirse en aliados de la ciencia, vale la pena detenernos un momento para definir algunos conceptos clave de este fascinante tema que queremos compartir contigo.

Hablemos de virus: ¿qué son en realidad?

Para entender mejor cómo funcionan los virus y por qué pueden ser interesantes para la ciencia, debemos conocer dos moléculas fundamentales: el *DNA* y el *RNA*. El *DNA* o ácido desoxirribonucleico (del inglés *Deoxyribonucleic acid*) es como el manual que contiene todas las instrucciones para construir y mantener un ser vivo. Estas instrucciones son los *genes*, que son segmentos en el *DNA* que contienen la información necesaria para fabricar una proteína o controlar algunas funciones celulares. El *RNA* o ácido ribonucleico (del inglés *Ribonucleic acid*) actúa como mensajero que lleva la información de los genes en el *DNA* a las partes de la célula encargadas de fabricar *proteínas*, piezas clave para que un organismo funcione.

Los virus pueden estar formados por un fragmento de material genético —ya sea *DNA* o *RNA*— protegido por una cubierta de proteínas. Si los miramos de cerca —literalmente, al microscopio—, descubrimos que muchos virus tienen estructuras sorprendentemente ordenadas y simétricas, como pequeñas obras de arte

molecular. Para reproducirse, necesitan obligatoriamente infectar a otro ser vivo y reprogramar sus células, convirtiéndolas en verdaderas fábricas para replicar (copiar) su material genético. En la mayoría de los casos, el virus se replica sin control en el organismo infectado, lo que puede dañar e incluso destruir sus células. Esta capacidad de invadir y multiplicarse hace que los virus sean muy especiales y, a veces, peligrosos. Pero entonces, ¿cuáles serían las ventajas que nos ofrecen los virus?

En la naturaleza, los virus desempeñan funciones sorprendentes. Regulan las poblaciones y transfieren genes entre organismos, por lo que desempeñan un papel clave en el equilibrio ecológico. Un ejemplo son los *bacteriófagos*, virus que infectan bacterias en ambientes como los océanos, el suelo y en el cuerpo de seres vivos. Al infectar y destruir estas células, evitan que las poblaciones bacterianas crezcan sin control y contribuyen a mantener el equilibrio de los ecosistemas.

La biotecnología vegetal aprovecha la capacidad de ciertos virus para apagar genes específicos en las plantas, una estrategia que ha revolucionado la investigación científica. Quizás pienses: “¿Silenciar? ¡Pero las plantas no hablan!” Y tienes razón: no hablan como nosotros, pero sí se comunican mediante señales químicas y genéticas.

¿Cómo utilizan los científicos los virus para silenciar genes en las plantas?

Afortunadamente, las plantas no están inermes frente a los virus. El *silenciamiento* génico es un proceso natural de defensa que utilizan las plantas frente a los virus. Cuando un virus infecta a una planta, esta reconoce el material genético viral como una amenaza y activa un mecanismo que “apaga” (bloquea) los genes de los virus. Una manera común es romper el *RNA* producido por estos genes, impidiendo que se produzcan las proteínas necesarias para la replicación viral. En otras palabras, la planta “apaga” las instrucciones que el virus necesita para causarle daño.

Con un poco de ingenio, este mecanismo puede adaptarse para convertirlo en una valiosa herramienta para la investigación. La idea es introducir genes de la propia planta en el material genético del virus. Al introducir estos virus modificados en una planta, su *RNA*, incluyendo el *RNA* del gene de la planta, son destruidos, callando la expresión de un gene vegetal. Al silenciar genes específicos, los científicos pueden estudiar su función en procesos como la resistencia a la sequía o la salinidad, la resistencia a enfermedades o la producción de compuestos con propiedades medicinales (Figura 1). En nuestro caso, nos interesa analizar los genes involucrados en la síntesis de estas moléculas para comprender mejor su producción y desarrollar estrategias que permitan aumentar su cantidad, calidad o eficiencia de producción. Esto se conoce como *silenciamiento génico inducido por virus* (*Virus-Induced Gene Silencing*, *VIGS*).

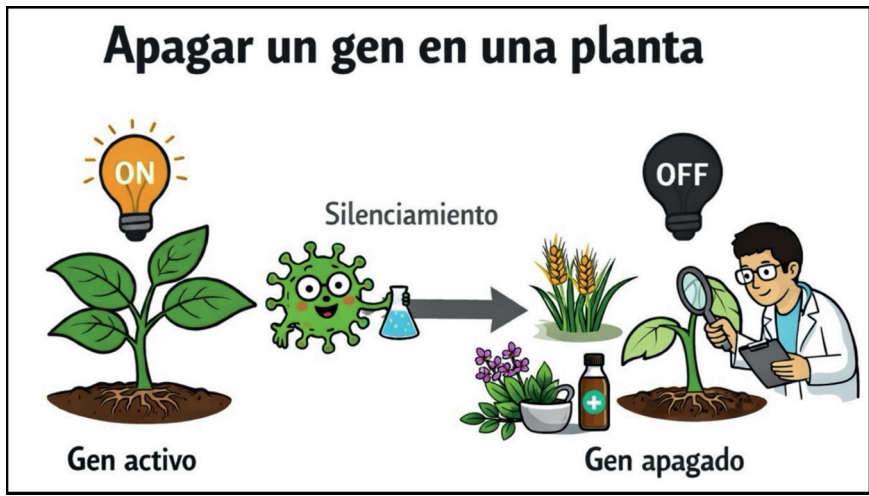


FIGURA 1. REPRESENTACIÓN del silenciamiento génico en las plantas. Ilustración elaborada con apoyo de inteligencia artificial (ChatGPT, OpenAI), a partir de un diseño conceptual de las autoras.

VIGS: usar virus para entender a las plantas

El *silenciamiento génico inducido por virus* (*Virus-Induced Gene Silencing*, *VIGS*) es una técnica de genética inversa que permite estudiar la función de un gen al reducir temporalmente su expresión. Se utilizan virus capaces de infectar plantas, como el virus del cascabel de tabaco (*Tobacco Rattle Virus*, *TRV*), el virus del mosaico del pepino (*Cucumber Mosaic Virus*, *CMV*) o el virus del mosaico rayado de la cebada (*Barley Stripe Mosaic Virus*, *BSMV*), entre otros, modificados para contener genes específicos de una planta de interés. Aunque el gen permanece presente en el genoma de la planta, sus transcritos son reconocidos y degradados por los mecanismos de silenciamiento por *RNA*, lo que disminuye la producción de la proteína correspondiente. Esto permite observar los cambios que ocurren en la planta y determinar la función del gen estudiado (Figura 2).

Sin embargo, la aplicación de esta herramienta varía considerablemente entre las

Selección del gen de interés. Elegimos el gen que queremos apagar en la planta. Se seleccionan genes que determinan una característica visible de la planta, como el color de las hojas. Por ejemplo, si se silencia un gen involucrado en la producción del pigmento verde (*clorofila*), las hojas nuevas se vuelven amarillas o blancas, ya que las células pierden la capacidad de producirlo, debido al silenciamiento. *Análisis del silenciamiento.* El silenciamiento génico es un proceso transitorio (temporal). Tras apagar el gen de interés, la planta desarrolla nuevos tejidos en los que este permanece silenciado durante un tiempo. Es entonces cuando las plantas nos revelan sus secretos y se realizan análisis detallados para observar los efectos del silenciamiento y comprender mejor la función del gen objetivo. Algunos de los análisis más comunes que se realizan al utilizar la herramienta *VIGS* son los siguientes:

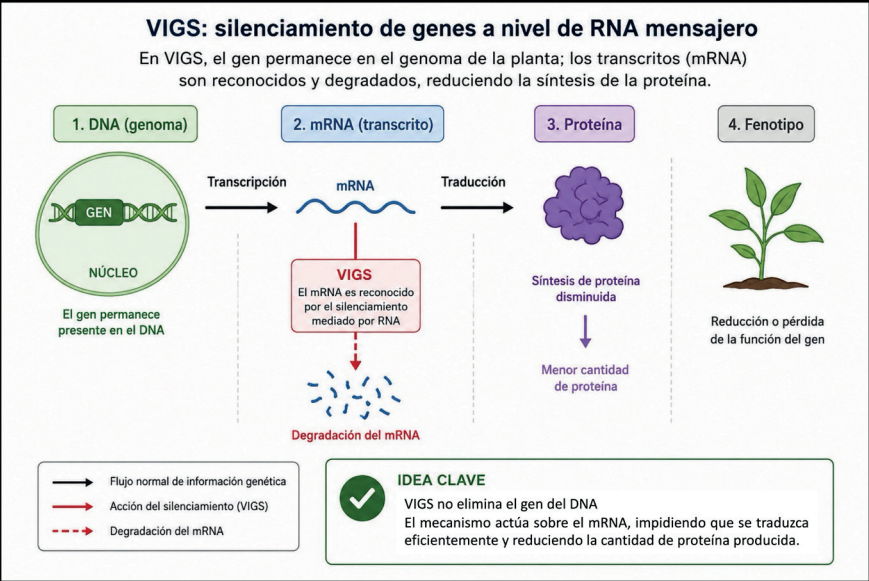


FIGURA 2. REPRESENTACIÓN del proceso de *VIGS*. Ilustración elaborada con apoyo de inteligencia artificial (ChatGPT, OpenAI), a partir de un diseño conceptual de las autoras.

especies de plantas, por lo que es necesario estandarizarla para cada una de ellas. La técnica de *VIGS* consta de seis pasos (Figura 3):

para infectar una especie vegetal y de la técnica de inoculación empleada. Estas técnicas consisten en poner en contacto al microorganismo con la planta y lograr

que esta tolere la infección.

Replicación del vector viral en la planta. Una vez dentro de la planta, el vector viral se desplaza a través del sistema vascular vegetal y comienza a replicarse, produciendo numerosas copias de sí mismo. La acumulación de partículas virales activa los mecanismos de defensa de la planta, que reconocen la presencia del virus como una posible infección e inician una respuesta de defensa que incluye el silenciamiento génico.

Silenciamiento del gen de interés. En esta fase, la planta detecta múltiples copias del vector viral que contienen el fragmento del gen objetivo. Se activan mecanismos que inhiben la expresión de ese gen tanto en el virus como en la planta. Estos mecanismos degradan las moléculas de *RNA* que consideran extrañas o potencialmente dañinas, impidiendo que el *RNA* mensajero del gen se produzca o funcione correctamente. Así, el gen queda *apagado temporalmente*, y la planta deja de producir el compuesto asociado, lo que permite estudiar los efectos de su ausencia.

Monitoreo del perfil químico de las sustancias activas. Se analiza cómo varía la composición química de la planta tras el silenciamiento del gen, lo cual resulta especialmente relevante en el estudio de las plantas medicinales. Estos estudios son fundamentales para descubrir los “secretos” de las plantas, ya que permiten comprender cómo se forman las sustancias activas, qué factores son necesarios para su biosíntesis y si dichas moléculas son esenciales para el desarrollo de la planta.

La herramienta *VIGS* es muy útil en la biología molecular y funcional porque permite obtener resultados rápidos, específicos y más económicos que otras técnicas de estudio génico. Sin embargo, su funcionamiento varía entre las distintas plantas, ya que cada especie responde de manera distinta. Descubrir y entender cómo funciona en cada caso es parte del reto para los investigadores.

Su principal limitación es que el silenciamiento génico es temporal, lo que impide estudiar sus efectos

de otros genes relacionados o implicados en la producción del compuesto estudiado.

Estudios de la actividad enzimática (proteínas) asociada al gen silenciado. Se llevan a cabo pruebas para validar la función del gen, comprobando que la enzima correspondiente actúa como se espera.

Observación de la apariencia (fenotipo) de la planta. Se examinan las características visibles de la planta, como cambios en las hojas, los tallos o las raíces, para detectar modificaciones derivadas del silenciamiento génico.

Monitoreo del perfil químico de las sustancias activas. Se analiza cómo varía la composición química de la planta tras el silenciamiento del gen, lo cual resulta especialmente relevante en el estudio de las plantas medicinales. Estos estudios son fundamentales para descubrir los “secretos” de las plantas, ya que permiten comprender cómo se forman las sustancias activas, qué factores son necesarios para su biosíntesis y si dichas moléculas son esenciales para el desarrollo de la planta.

La herramienta *VIGS* es muy útil en la biología molecular y funcional porque permite obtener resultados rápidos, específicos y más económicos que otras técnicas de estudio génico. Sin embargo, su funcionamiento varía entre las distintas plantas, ya que cada especie responde de manera distinta. Descubrir y entender cómo funciona en cada caso es parte del reto para los investigadores.

Su principal limitación es que el silenciamiento génico es temporal, lo que impide estudiar sus efectos

Silenciar para comprender: ejemplos de aplicación de VIGS

De seguro estarás pensando: ¿En qué casos se han utilizado estas técnicas para descubrir los secretos de las plantas? ¡Quiero ejemplos! Claro, con gusto te mostraremos algunos casos exitosos en los que los virus y el sistema *VIGS* son protagonistas en la revelación de los misterios de las plantas.

Las plantas utilizadas en la medicina tradicional contienen verdaderos tesoros químicos. Durante siglos han ayudado a tratar enfermedades y actualmente constituyen una fuente de recursos para el desarrollo de nuevos tratamientos. Detrás de cada una de estas sustancias hay genes que trabajan en conjunto para producirlas. Gracias a técnicas como *VIGS*, los científicos pueden “apagar” estos genes y así descubrir su función.

Un ejemplo es la vinca rosa (*Catharanthus roseus*). Antes de describir cómo se utiliza el *VIGS* en esta especie, vamos a conocer un poco más sobre sus aplicaciones. La vinca rosa es una planta de flores llamativas que, detrás de su apariencia sencilla, esconde una impresionante “fábrica química”. Originaria de Madagascar, produce una gran diversidad de metabolitos especializados que han demostrado ser de gran valor para la medicina. Es especialmente conocida por producir compuestos anticancerígenos, como la vincristina y la vinblastina, utilizados en el tratamiento de leucemias y otros tipos de cáncer. Estos compuestos son extremadamente complejos y la planta los produce en cantidades muy pequeñas; por ello, estudiar la forma en que se producen sus compuestos, es decir, su ruta de biosíntesis, ha representado un gran desafío para la biotecnología vegetal.

Para comprender mejor estas rutas biosintéticas, se ha utilizado el sistema *VIGS* para estudiar cómo la planta sintetiza sus compuestos. Un ejemplo es el alcaloide *serpentina*, una molécula de estructura química compleja para la cual no se conocían los pasos clave de su formación. Por ello, constituye un excelente modelo para comprender y profundizar en la manera en que las plantas generan moléculas bioactivas importantes. Esto se logró en 2021 (Figura 4). El estudio permitió conocer cuál es el paso crucial para la síntesis de la molécula bioactiva y cómo puede utilizarse este “paso importante” para establecer sistemas más especializados, con mayor eficacia y específicos para su síntesis a nivel industrial. Además de estudiar la síntesis de la *serpentina*, esta investigación demostró que incorporar un marcador visual de silenciamiento al sistema *VIGS* permite realizar experimentos más precisos y fáciles de interpretar.

En cereales como el maíz, algunas plantas parásitas actúan como plagas al invadir grandes extensiones de cultivo y provocar pérdidas económicas importantes. Gracias a *VIGS*, ha sido posible estudiar este problema con mayor profundidad, identificando los genes involucrados en el ataque de las plantas parásitas como en los mecanismos de defensa de los cultivos hospederos.

Hoy en día, el sistema *VIGS* se combina con otras técnicas avanzadas para ayudar a los científicos a descifrar el funcionamiento de los genes de las plantas. Este esfuerzo colectivo ha permitido identificar genes esenciales para su crecimiento, desarrollo y conservación, así como para su capacidad de adaptación a los cambios y retos que impone el entorno.

A lo largo de este recorrido, hemos visto cómo algo que normalmente asociamos con la enfermedad puede transformarse en una poderosa herramienta científica. Al utilizar virus como aliados invisibles, los investigadores pueden apagar genes específicos y observar cómo responde la planta. Así, “escuchan” la función de esos genes y comprenden su funcionamiento interno. Esta técnica no solo nos ayuda a entender cómo las plantas producen compuestos valiosos para la salud humana, sino que también abre la puerta a nuevas estrategias en la agricultura, la medicina y la biotecnología.

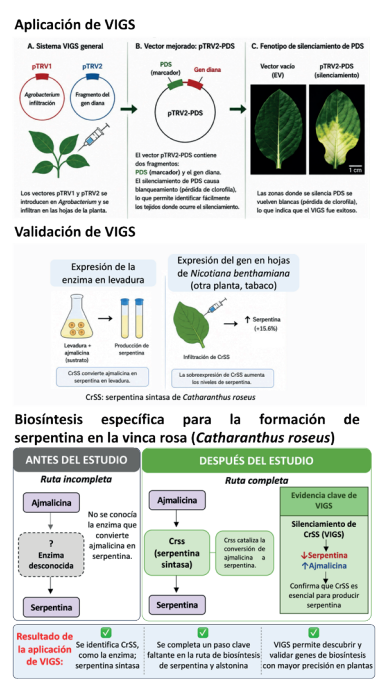


FIGURA 4. ESQUEMA del desarrollo y aplicación del sistema de silenciamiento génico inducido por virus (*VIGS*) para el estudio funcional de genes en la planta medicinal vinca rosa (*Catharanthus roseus*). Ilustración elaborada por las autoras, con apoyo de inteligencia artificial (ChatGPT, OpenAI), a partir de un diseño conceptual del trabajo de Yamamoto et al. (2021).

tribuye a obtener jitomates de mejor calidad para el consumo humano. En cultivos como la soya (*Glycine max*), la papa (*Solanum tuberosum*), la berenjena (*Solanum melongena*) y el trigo (*Triticum aestivum*), el *VIGS* ha permitido identificar genes involucrados en la respuesta de defensa frente a enfermedades, causadas por hongos, así como en su adaptación a condiciones de estrés, como la escasez de agua o el exceso de sales en los sistemas de riego.

En cereales como el maíz, algunas plantas parásitas actúan como plagas al invadir grandes extensiones de cultivo y provocar pérdidas económicas importantes. Gracias a *VIGS*, ha sido posible estudiar este problema con mayor profundidad, identificando los genes involucrados en el ataque de las plantas parásitas como en los mecanismos de defensa de los cultivos hospederos.

Hoy en día, el sistema *VIGS* se combina con otras técnicas avanzadas para ayudar a los científicos a descifrar el funcionamiento de los genes de las plantas. Este esfuerzo colectivo ha permitido identificar genes esenciales para su crecimiento, desarrollo y conservación, así como para su capacidad de adaptación a los cambios y retos que impone el entorno.

A lo largo de este recorrido, hemos visto cómo algo que normalmente asociamos con la enfermedad puede transformarse en una poderosa herramienta científica. Al utilizar virus como aliados invisibles, los investigadores pueden apagar genes específicos y observar cómo responde la planta. Así, “escuchan” la función de esos genes y comprenden su funcionamiento interno. Esta técnica no solo nos ayuda a entender cómo las plantas producen compuestos valiosos para la salud humana, sino que también abre la puerta a nuevas estrategias en la agricultura, la medicina y la biotecnología.

Así, los virus dejan de ser enemigos y se convierten en aliados que nos permiten comprender mejor a las plantas y aprovechar su potencial.

Referencias

- Barrientos, M. M., Carranza, M. R., & Pareja, C. V. (2021). Estrategias víricas contra el silenciamiento génico en plantas. Encuentros en la Biología, 14(179), 7-11. https://revistas.uma.es/index.php/enbio/es/article/view/17072
- Concepción-Hernández, M. (2018). CRISPR/Cas: aplicaciones y perspectivas para el mejoramiento genético de plantas. Biotecnol. Veg12, 18(3), 135-149. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20203113884
- Contreras-Paredes, A., & Ramos-Godínez, P. (2024). Los virus: “Amigos” o “enemigos” de la humanidad. Revista de divulgación científica iBIO, 6(1), 148-148. https://revistaibio.com/ojs33/index.php/main/article/view/148
- Courdavault, V., Besseau, S., Oudin, A., et al., (2020). Virus-induced gene silencing: hush genes to make them talk. Trends in Plant Science, 25(7), 714-715. doi: 10.1016/j.tplants.2020.02.013
- Lange, M., Yellina, A. L., Orashakova, S., & Becker, A. (2013). Virus-induced gene silencing (VIGS) in plants: an overview of target species and the virus-derived vector systems. Virus-Induced Gene Silencing: Methods and Protocols, 1-14. doi: 10.1007/978-1-62703-278-0_1
- Patra, B., Liu, Y., Singleton, J. J., et al., (2022). Virus-induced gene silencing as a tool to study regulation of alkaloid biosynthesis in medicinal plants. In Plant Secondary Metabolism Engineering: Methods and Protocols (pp. 155-164). New York, NY: Springer US. doi: 10.1007/978-1-0716-2185-1_13
- Ricaño-Rodríguez, J., Zavala-González, E. A., & Ramírez-Lepe, M. (2014). Silenciamiento génico en plantas: mecanismos moleculares del *ARN* de interferencia y aplicaciones biotecnológicas. Revista fitotecnica mexicana, 37(4), 339-350. doi: 10.35196/rfm.2014.4.339
- Rössner, C., Lotz, D., & Becker, A. (2022). VIGS goes viral: how VIGS transforms our understanding of plant science. Ann. Rev. Plant Biol., 73(1), 703-728. doi: 10.1146/annurev-arplant-102820-020542
- Sánchez-Paz, A., Muhlia-Almazán, A., Mendoza-Cano, F., & Encinas-García T. (2023). Virus Mariños: ¿Amigos o enemigos? Revista de divulgación científica; Recursos Naturales y Sociedad”, 9(1), 1-10. https://www.cibnor.gob.mx/revista-rns/pdfs/vol9num1/3_ARTURO_VIRUS.pdf
- Yamamoto, K., Grzech, D., Koudounas, K., et al., (2021). Improved virus-induced gene silencing allows discovery of a serpentine synthase gene in *Catharanthus roseus*. Plant Physiology, 187(2), 846-857. doi: 10.1093/plphys/kiab285

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convenidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos.