



LA NUEVA REVOLUCIÓN VERDE DE LAS NTGs

Manuel Rodríguez-Concepción

Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas (IBMCP), CSIC-UPV.

Durante milenios, la humanidad ha transformado las plantas que cultiva para proveerse de energía, materiales y alimentos. Desde los primeros agricultores que elegían las mejores plantas para propagar hasta las modernas empresas de semillas donde se crean nuevas variedades, la historia de la agricultura es una historia de constantes cambios e innovación. Hoy, gracias a la biotecnología, los cambios pueden ser mucho más rápidos y precisos, ya que en una sola generación del cultivo se pueden introducir cambios en su genoma para que sea más productivo, más resistente frente a plagas o condiciones ambientales adversas, o incluso más nutritivo. En las últimas décadas, varias técnicas moleculares han hecho posible esta revolución. Estas técnicas se pueden agrupar en dos tipos: las que incorporan nuevos elementos genéticos (**transgénesis** y **cisgénesis**) y las que cambian los genes ya existentes en la planta. Estas últimas, denominadas genéricamente **Nuevas Técnicas Genómicas (NTGs)**, incluyen la **edición génica con CRISPR**, y están llamadas a revolucionar la agricultura del futuro.

Transgénesis: el origen de los cultivos modificados genéticamente

A principios de los años noventa del siglo pasado se crearon los primeros **organismos modificados genéticamente (OMG)** gracias a la transgénesis. En esencia, la transgénesis consiste en insertar en el genoma de la planta un gen o un fragmento de ADN procedente de otra especie (vegetal, animal, fúngica o microbiana). Para lograrlo, se emplea una bacteria llamada *Agrobacterium tumefaciens*, que está presente de forma natural en el suelo y en la superficie de las plantas. La evolución ha dotado a esta bacteria con la capacidad de transferir parte de su ADN al genoma vegetal. En el fragmento de ADN transferido están las instrucciones para que la planta produzca el alimento que le gusta a las bacterias. Sustituyendo ese fragmento por un ADN de interés (por ejemplo, un gen de resistencia a sequía), y usando la bacteria como un “vehículo”, podemos transferir ese gen a la planta y conseguir así que, por ejemplo, la planta resista mejor la escasez de agua.

Uno de los ejemplos más conocidos de transgénesis es el **maíz Bt**. En este caso, se ha introducido un gen bacteriano para que la planta de maíz produzca una proteína que solamente es tóxica para algunos tipos de insectos perjudiciales, reduciendo así el uso de plaguicidas que matan también insectos beneficiosos. El maíz Bt es la única planta transgénica que se cultiva en España. Otro ejemplo muy conocido de transgénesis es el **arroz dorado**, al que se han introducido genes para que produzca pigmentos carotenoides que actúan como precursores de la vitamina A (ver monografía BIOTECNOLOGÍA PARA LA BIOFORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS). Tanto el maíz Bt como el arroz dorado han sido protagonistas de encendidos debates sobre la seguridad, la oportunidad y la ética de modificar genéticamente las plantas, a menudo influenciados por discusiones políticas sobre el control por parte de grandes corporaciones de las nuevas variedades.

Cisgénesis: un intento más “natural” de modificación genética

Con el tiempo se han ido buscando alternativas menos controvertidas para la mejora biotecnológica de los cultivos. Así nació la cisgénesis, una estrategia similar a la transgénesis pero que solo utiliza genes procedentes de la misma especie o de especies emparentadas. Esto significa que el nuevo gen podría haberse incorporado también mediante cruces tradicionales, pero la cisgénesis lo hace de forma mucho más rápida y precisa. Al no introducir material



genético ajeno, se ha considerado que estas plantas serían más “naturales”, y algunos países incluso las regulan de manera diferente a los transgénicos clásicos. La cisgénesis demuestra que la biotecnología no siempre implica crear organismos con genes completamente nuevos: a veces basta con reorganizar y optimizar lo que la propia naturaleza ya ofrece.

CRISPR y otras NTGs: los bisturís moleculares que han revolucionado la biotecnología

Si la transgénesis fue el primer salto y la cisgénesis una versión refinada, las NTGs representan un cambio de paradigma, ya que permiten modificar el genoma de las plantas y de otros organismos de manera precisa, rápida y eficiente sin que se aporte nuevo material genético. Más allá del sistema CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats), existen otras NTGs como TALENs (Transcription Activator-Like Effector Nucleases) y ZFNs (Zinc Finger Nucleases), que actúan como bisturís moleculares capaces de cortar el ADN en lugares específicos y modificar genes concretos del genoma de la planta. También incluyen los editores de bases y el “prime editing”, que cambian nucleótidos individuales sin romper la doble hélice del ADN, reduciendo errores y efectos no deseados.

El sistema CRISPR-Cas9 utiliza la enzima Cas9, guiada por una molécula de ARN, para localizar y cortar una secuencia diana. Luego, la planta repara el ADN, introduciendo cambios que anulan o modifican la función del gen editado. Así, puede “apagarse” un gen que la hace vulnerable a enfermedades o introducir variaciones que mejoren su rendimiento o tolerancia al calor. Nuevas variantes, como Cas12 y Cas13, permiten ediciones genéticas aún más precisas.

La tecnología CRISPR aplicó los conocimientos básicos generados por el español Francisco Mojica. En la década de 1990, mientras investigaba microorganismos de las salinas alicantinas, Mojica observó unas secuencias extrañas en el ADN de estos microorganismos, y propuso que formaban parte de un sistema de defensa inmunológica adaptativa frente a virus al reconocer y cortar su ADN. Fue él quien acuñó el término CRISPR, cuyo desarrollo experimental para aplicarlo a la edición de genomas supuso la concesión del **Premio Nobel de Química** a Emmanuelle Charpentier y Jennifer Doudna en 2020.

Un futuro basado en la biotecnología para una agricultura de precisión

De la transgénesis a las NTGs, la biotecnología ha multiplicado nuestra capacidad de entender y transformar las plantas. Hoy, los mejoradores de plantas no solo cruzan variedades, sino que editan genes y reescriben secuencias para diseñar los cultivos del futuro. Se podría decir que el destino de la agricultura ya se está escribiendo, letra a letra, en el ADN de las plantas.

Aunque el hecho de que las NTGs no introduzcan genes ajenos ha suavizado los debates regulatorios, su aplicación sigue planteando implicaciones éticas y legales. El reto es tanto científico como político y cultural. Los marcos regulatorios internacionales aún se adaptan para aprovechar su potencial sin renunciar a una exhaustiva evaluación de riesgos ambientales evitando la dependencia tecnológica de unos pocos actores globales. La creciente necesidad de alimentar a una población en aumento y de adaptar la agricultura al cambio climático sin duda impulsará su desarrollo controlado y su aceptación social como herramienta segura y eficaz. Combinadas con la biología sintética, la genómica computacional y la inteligencia artificial aplicada al diseño genético, las NTGs anuncian una nueva revolución verde basada en una agricultura sostenible y de precisión que garantice la seguridad alimentaria futura.