



El ADN bajo ataque: cómo las plantas enfrentan y reparan el daño genético

Estefany Damaris Guerrero Molina y Jorge Manuel Vázquez Ramos

Piensa en un día caluroso de verano bajo el sol, seguro te dan ganas de poder refrescarte un poco, tal vez tomando una bebida con hielo, tirarte bajo la sombra de un árbol o incluso yendo a una alberca con agua fría, por supuesto sin olvidar colocarte protector solar para evitar quemaduras en la piel.

Sin embargo, ¿alguna vez has pensado en cómo le hacen otros organismos para protegerse de los efectos del sol si no tienen un bloqueador solar en crema?, ¿Y qué hay en especial de las plantas? estas no pueden correr a la alberca o ir a comprar un helado, ¡bueno, ni siquiera pueden moverse! Entonces seguramente a lo largo del tiempo han desarrollado mecanismos que les permiten protegerse contra los efectos causados por la radiación solar.

Bloques de la vida y fuentes de daño al ADN

El elemento clave para mantener la información que permite la vida y desarrollo de los organismos es el ADN (ácido desoxirribonucleico). Se trata de una molécula construida por cuatro bloques diferentes (nucleótidos) que al interaccionar forman una estructura con dos cadenas en forma de escalera de caracol ([Figura 1](#)). Como contenedor de toda la información que permite la vida, es de gran importancia protegerlo de los posibles daños causados por agentes físicos (radiaciones) y sustancias químicas. Los cambios estructurales sobre el ADN pueden causar desequilibrios en las funciones celulares, llegando al extremo de provocar la muerte celular.

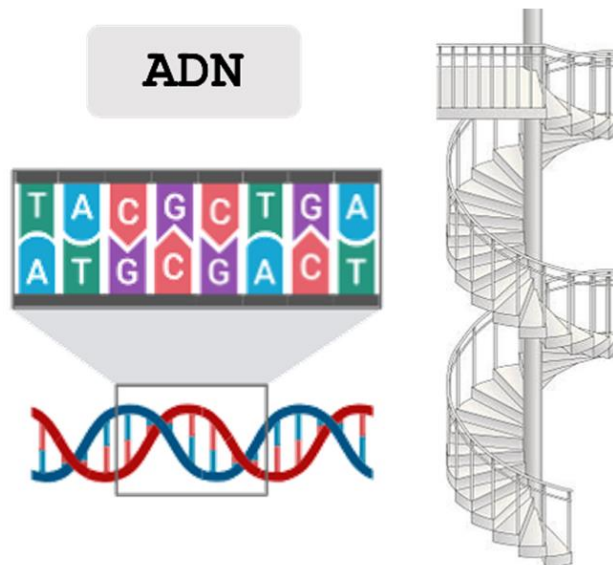


Figura 1. Estructura del ADN. El ADN está formado por cuatro bloques que al interactuar forman una doble hélice en forma de escalera de caracol (imagen creada con inteligencia artificial).

La radiación ultravioleta emanada de la luz solar puede incrementar la cantidad de especies reactivas de oxígeno (EROs), las cuales a su vez causan daño directamente sobre el ADN, lo cual coloca a la célula en una situación de alto riesgo pues puede perder parte de la información que almacena. En particular, las plantas están expuestas a metales pesados o pesticidas presentes en el suelo donde se encuentran. Estas sustancias químicas causan daño al ADN, ya sea al interactuar directamente con las cadenas o favoreciendo la producción de EROs.

¿Y entonces como le hacen las plantas para proteger su ADN que está en constante ataque sin poder siquiera moverse?

Mecanismos de reparación del ADN

Las plantas, al igual que todos los organismos, han desarrollado y mantenido a lo largo de la evolución múltiples mecanismos que les permiten defenderse contra el daño al ADN.

Por un lado, existen proteínas especializadas encargadas de responder ante los agentes que causan el daño y por otro, existen múltiples mecanismos especializados que permiten reparar el ADN cuando éste sufre daño en su estructura.

Algunos de los mecanismos que utilizan las plantas son los siguientes:

Fotorreactivación

Las proteínas llamadas fotoliasas utilizan la luz visible para poder reparar deformaciones estructurales en el ADN, causadas por la radiación solar (**Figura 2A**). Este mecanismo es fundamental para las plantas, dado que no pueden moverse hacia un lugar con sombra; en cierto sentido, este mecanismo podría funcionar como su propio bloqueador solar.

Recombinación homóloga

Uno de los tipos más graves de daño al ADN es cuando éste se rompe y la recombinación homóloga es el mecanismo de reparación más importante, aunque existen otros.

Para que este mecanismo funcione es necesario que exista un ADN con una secuencia virtualmente idéntica a la región dañada, que se presenta en eucariontes (organismos como tú, una planta, o un hongo, porque sus células están delimitadas por una envoltura) dada su naturaleza diploide, o bien cuando el ADN se duplica. Muchas proteínas están involucradas durante este proceso para poder alinear las secuencias y copiar la información correcta, para así corregir la región donde ocurrió la ruptura del ADN.

Este mecanismo es muy complicado pues se forman estructuras complejas del ADN que deben ser resueltas, para ello un conjunto de proteínas especializadas reconocen estas estructuras, cortan y sellan el ADN para finalmente repararlo (Figura 2B).

Este mecanismo, al igual que la fotorreactivación, se trata de un sistema de reparación libre de errores pues proviene de utilizar una copia idéntica de la información.

Reparación por escisión de bases (BER)

La reparación por escisión de bases es específica para reparar los nucleótidos que han sufrido oxidaciones por efecto de las EROs o alguna modificación por algún agente químico, y como resultado cambia la estructura natural del ADN.

El grupo de proteínas involucradas en este mecanismo reconocen la distorsión en la estructura del ADN, eliminan inicialmente el nucleótido incorrecto dejando un hueco en la cadena dañada del ADN. Para reponer correctamente los nucleótidos faltantes se utiliza una proteína capaz de reconocer el nucleótido faltante y finalmente se cierra el hueco que se había generado inicialmente (Figura 2C).

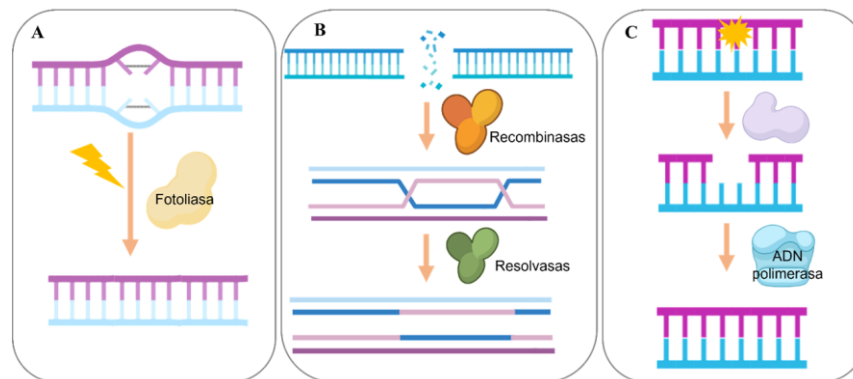


Figura 2. Mecanismos de reparación del ADN. (A) Fotorreactivación. (B) Recombinación homóloga. (C) Reparación por escisión de bases (imagen creada con inteligencia artificial).

Estos son algunos de los mecanismos utilizados para reparar el ADN, sin embargo, existen muchos otros que les permiten a las plantas sobrevivir.

Un futuro verde y resistente

Ahora que entendemos cómo se detectan y reparan daños en el ADN, es momento de explorar qué implicaciones tienen estos mecanismos en las plantas.

¿Qué podemos aprender de los mecanismos que han desarrollado las plantas para protegerse contra el daño al ADN?, ¿Podríamos usar el conocimiento del ADN vegetal para crear cultivos más resistentes, o incluso usar la biotecnología para restaurar ecosistemas dañados? Las respuestas a estas preguntas no se encuentran lejos de nuestro alcance.

Actualmente contamos con herramientas moleculares basadas en estas tecnologías que nos permiten obtener beneficios agroindustriales.

Utilizando ingeniería genética se pueden obtener plantas con diversos mecanismos de resistencia, por ejemplo, se podrían generar plantas de trigo, de cebada y de arroz entre muchas otras, en donde la actividad de un conjunto de enzimas reparativas (Fotoliasa, BER, Recombinación homóloga) sean más eficientes y por ello esas plantas puedan contender mejor contra el estrés por radiación, por EROs o por agentes químicos, obteniendo cultivos productivos en regiones de alta radiación solar.

Aspectos a destacar

En resumen, el ADN es la molécula de la vida que contiene la información necesaria para que la célula funcione de forma correcta. Dada la importancia del ADN, los organismos han desarrollado múltiples mecanismos de reparación que les permiten enfrentarse a los diversos retos.

Las plantas, al ser organismos que no se pueden desplazar del lugar donde crecen, han optimizado estos mecanismos para contender con la luz solar, metales pesados y otros agentes dañinos. Por otro lado, la modificación genética ha permitido el mejoramiento de cultivos obteniendo características deseables sin modificar la seguridad para funcionar como alimentos (Figura 3).

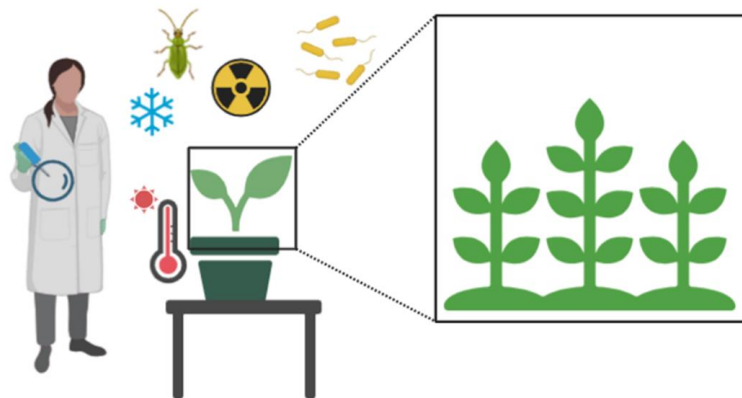


Figura 3. Un futuro verde y resistente (imagen creada con inteligencia artificial).

Si quieres saber más del tema, puedes consultar los siguientes trabajos en los que se basó el presente escrito.

Referencias

- Chatterjee, N. y Walker, G. C. (2017). Mechanisms of DNA damage, repair and mutagenesis. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 58(5), 235-263. <https://doi.org/10.1002/em.22087>
- Spampinato, C. P. (2017). Protecting DNA from errors and damage: an overview of DNA repair mechanisms in plants compared to mammals. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 74, 1693-1709. <https://doi.org/10.1007/s00018-016-2436-2>
- Watson, J. D. y Crick, F. H. (1953). The structure of DNA. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 18, 123-131. <https://doi.org/10.1101/sqb.1953.018.01.020>

¿Quieres preguntarles algo relacionado con el tema a los investigadores del trabajo?, puedes ponerte en contacto con ellos, quienes con gusto resolverán tus dudas.

-La M. en C. Estefany Damaris Guerrero Molina es alumna de doctorado en la Facultad de Química, de la Universidad Nacional Autónoma de México. Su línea de investigación es la descripción de los sistemas de reparación del daño al ADN más estudiado en plantas. Su correo electrónico es: edamaris12@hotmail.com

-El doctor Jorge Manuel Vázquez Ramos es investigador y profesor titular C del Departamento de Bioquímica de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente pertenece al Sistema Nacional de Investigadoras e investigadores con el nivel 2. Su línea de investigación es el ciclo celular en procesos de desarrollo en plantas. Su correo electrónico es: jorman@unam.mx