

Revista de  
divulgación  
científica

iBIO

Biotechnología a la vanguardia



Microorganismos  
a tu servicio

Revista de divulgación científica  
iBIO, Año 7, No. 1, marzo 2025 - junio  
2025, es una publicación electrónica  
cuatrimestral. Insurgentes norte 1260  
509, Capultitlán, Gustavo A. Madero  
CP:07370, Ciudad de México, México.  
Página electrónica de la revista: [www.  
revistaibio.com](http://www.revistaibio.com) y dirección electrónica:  
[jessica.sanchezvarg@gmail.com](mailto:jessica.sanchezvarg@gmail.com).  
Editor responsable: Jessica Sánchez  
Vargas. Certificado de Reserva de  
Derechos al Uso Exclusivo de Título:  
04-2023-010910182600-102. ISSN:  
2954-4890. Ambos otorgados por el  
Instituto Nacional del Derecho de  
Autor.

Responsable de la última actualización  
de este número: M. en B. Jessica  
Sánchez Vargas. Fecha de última  
modificación: 28 de febrero de 2025.  
Tamaño del archivo: 21.6 MB.

Los derechos de publicación y  
distribución de los artículos pertenecen  
a la Revista de divulgación científica  
iBIO. Los artículos se publican bajo un  
licenciamiento de tipo:

Reconocimiento - No Comercial - Sin  
Obra Derivada (CC BY-NC-ND 4.0).

Se permite el autoarchivo o depósito  
de los trabajos en su versión post-  
publicación (versión editorial) en  
cualquier repositorio personal,  
institucional o temático, así como  
redes sociales o científicas.

Las portadas utilizadas en este número  
fueron generadas por inteligencia  
artificial en InDesign.

# Directorio

## Editor en jefe

Jessica Sánchez Vargas

## Editor subjefe

Isauro Guzmán Cortez

## Editores de sección

Olga B. Benítez López

Isauro Guzman Cortez

Francisco J. Valdés Parada

Viridiana W. Velázquez Vázquez

Briseida Flores Tufiño

Claudia Sinahi Ortega Aguilar

## Galerado

Jessica Sánchez Vargas

Francisco J. Valdés Parada

## Redes sociales

Bryan A. Polito Palma



[revistaibio.com](http://revistaibio.com)



[/revista.ibio](https://www.facebook.com/revista.ibio)



[ibio.revista](https://www.instagram.com/ibio.revista)

# Contenido

| Artículo  | Pag. | Dificultad de la lectura  |
|---|------|---|
| <b>Hot Science</b><br>Tipos de daños moleculares: Una amenaza silenciosa a la estructura del ADN y los genes.<br><i>Edwin Albeiro Aristizabal-Franco</i>  | 4    |    |
| ¿El sargazo, un aliado inesperado contra la diabetes?<br><i>Francisca Villanueva-Flores, Hannia A. Ramírez-Lara, Igor Garcia-Atutxa</i>   | 13   |    |
| Pervaporación de mezclas azeotrópicas: Un enfoque sustentable para la industria química moderna.<br><i>Aarón Guillermo Castillo Rivera, Vivian K. Flores, Marlon E. Velasquez</i>                         | 19   |    |
| Microorganismos: aliados invisibles para un agua limpia libre de pesticidas.<br><i>Mariana Acosta Lopez</i>   | 25   |    |
| <b>Concientifica</b><br>Materiales al rescate: Ciencia para combatir la contaminación del agua.<br><i>María Fernanda Ramírez Ayala, Brayan Javier Lorenzano Hernández, Azdrubal Lobo Guerrero Serrano</i> | 31   |    |
| Filosofía y astrobiología: En búsqueda de la receta de la vida.<br><i>Octavio González-Luna</i>   | 39   |  |
| Empaques hechos de hongos: Una alternativa ecológica al poliestireno.<br><i>Aldo Gutiérrez-Chávez, Jared Hernández-Huerta</i>   | 44   |  |
| Eliminación de contaminantes emergentes de las masas de agua; un largo río por recorrer.<br><i>Carlos Nek Hernández Martínez, Daniel Alejandro Vergara Solis</i>  | 51   |  |
| <b>Microbichos</b><br>Trichoderma: hongos microscópicos aliados de los cultivos agrícolas.<br><i>Sandy E. Celis-Perera, Marcela Gamboa-Angulo</i>   | 37   |  |
| <b>Cápsulas del tiempo</b><br>Un recorrido histórico sobre los genes homeóticos.<br><i>Ana María Buitrago-Robayo, Edwin Albeiro Aristizabal-Franco</i>  | 49   |  |



Nivel bachillerato



Nivel licenciatura



Nivel maestría



# Hot Science

# Tipos de daños moleculares: Una amenaza silenciosa a la estructura del ADN y los genes

*Types of molecular damage: A silent threat to the structure of DNA and genes*

Edwin Albeiro Aristizabal-Franco

*PhyloGenomics, Semillero de Investigación en Filogenética, Evolución y Ciencias Ómicas, Grupo de Investigación en Biodiversidad de Alta Montaña, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.*

*Autor para la correspondencia:  
wolfaae@outlook.com*

## Resumen

El ácido desoxirribonucleico (ADN) almacena la información esencial para la supervivencia de los organismos y regula los procesos fundamentales de la vida. Aunque el ADN tiene una notable capacidad homeostática, puede sufrir alteraciones o daños asociados a agentes físicos, químicos o biológicos, que pueden provocar mutaciones y diferentes errores en el organismo. Estos daños se clasifican en endógenos y exógenos, generados de forma espontánea o inducida; desencadenando múltiples enfermedades, desórdenes genéticos, alteraciones estructurales, etc. Este artículo aborda la estructura y expresión del ADN y los genes, agrupando los diferentes tipos de daños endógenos y exógenos que pueden afectar el ADN.

**Palabras clave:** Estructura del ADN, expresión genética, daños endógenos y exógenos.

## Summary

Deoxyribonucleic acid (DNA) stores essential information for the survival of organisms and regulates fundamental life processes. Although DNA has a remarkable homeostatic capacity, it can suffer alterations or damage associated with physical, chemical or biological agents, which can cause mutations and different errors in the organism. These damages are classified as endogenous and exogenous, generated spontaneously or induced; triggering multiple diseases, genetic disorders, structural alterations, etc. This article addresses the structure and expression of DNA and genes, grouping the different types of endogenous and exogenous damages that can affect DNA.

**Keywords:** DNA structure, genetic expression, endogenous and exogenous damage.

El ADN almacena toda la información necesaria para que la célula pueda sobrevivir y preservar su especie a lo largo del tiempo. La información genética es la encargada de regular el funcionamiento de cada célula, controlando y activando los procesos de duplicación, reparación, autorregulación, transcripción, reproducción y metabolismo [1]. Sin embargo, a pesar de que el código genético tiene mecanismos para conservar la estabilidad de su información genética (capacidad homeostática) mediante diferentes sistemas de reparación de ADN y puntos de control de calidad durante la replicación del ADN, este puede sufrir alteraciones por ciertos agentes físicos, químicos o biológicos que provocan efectos adversos y patológicos que obstaculizan el óptimo funcionamiento celular [1, 2].

La molécula del ADN se constituye por la unión de dos hebras antiparalelas de nucleótidos que se enrollan entre sí para formar una doble hélice; cada hebra se forma mediante un enlace fosfodiéster entre una pentosa (desoxirribosa) y el grupo fosfato del nucleótido, sucesivamente (Figura 1a) [3]. La hebra,

cuenta con dos extremos importantes, el extremo 5' (cinco prima) donde se enlaza el grupo fosfato y el 3' (tres prima) que tiene un grupo hidroxilo unido al tercer carbono [3]. El 5' y 3' son las posiciones de los átomos de carbono en el anillo de la pentosa (azúcar de cinco carbonos)

y su importancia radica en que los extremos 5' y 3' confieren la direccionalidad esencial al ADN y ARN para que estos desarrollen su procesos biológicos correctamente (Figura 1a) [3, 4]. Los nucleótidos son la unidad básica de los ácidos nucleicos y está conformada por tres

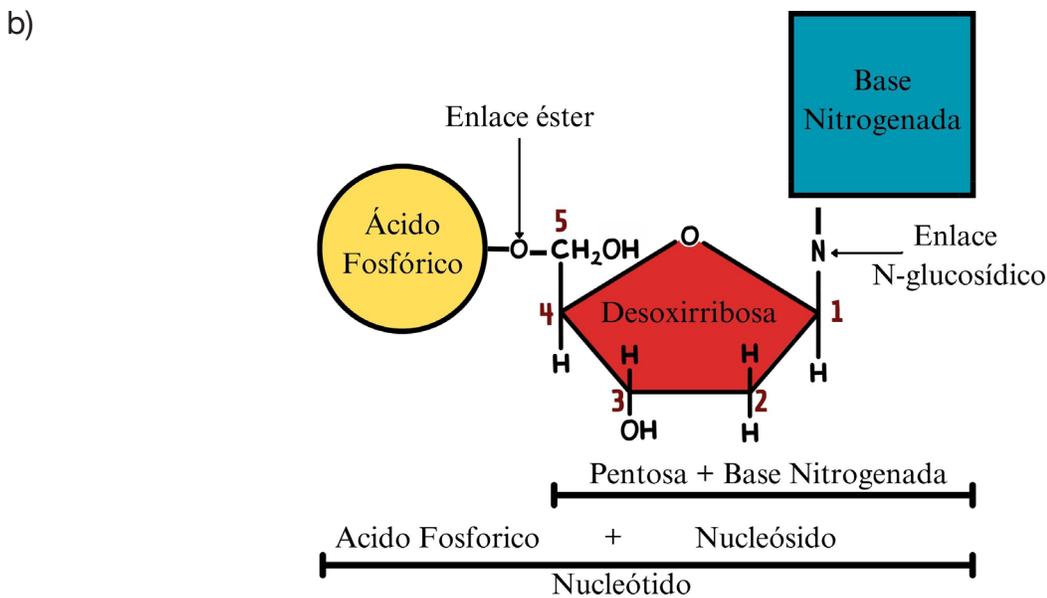
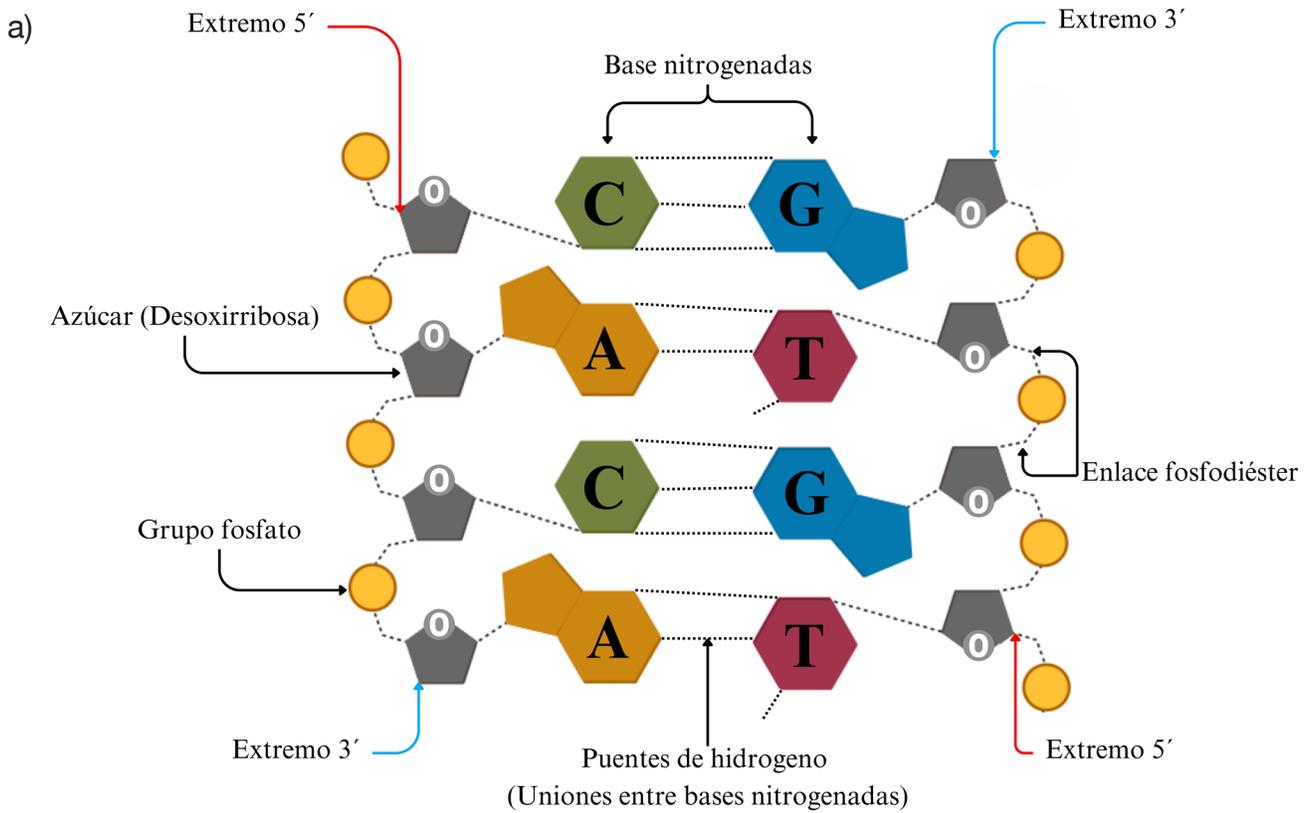


Figura 1. a) Estructura de la doble cadena del ADN. Donde se observa el extremo 5', que es la unión del carbono 5 al grupo fosfato, y el extremo 3', que es la unión del carbono 3 con el grupo hidroxilo (-OH), lo que forma el esqueleto de azúcar-fosfato de la cadena de ácidos nucleicos. A su vez, se detalla la complementariedad específica entre bases nitrogenadas y la unión de estas a partir de puentes de hidrógeno. b) Estructura de un nucleósido y un nucleótido de ADN.

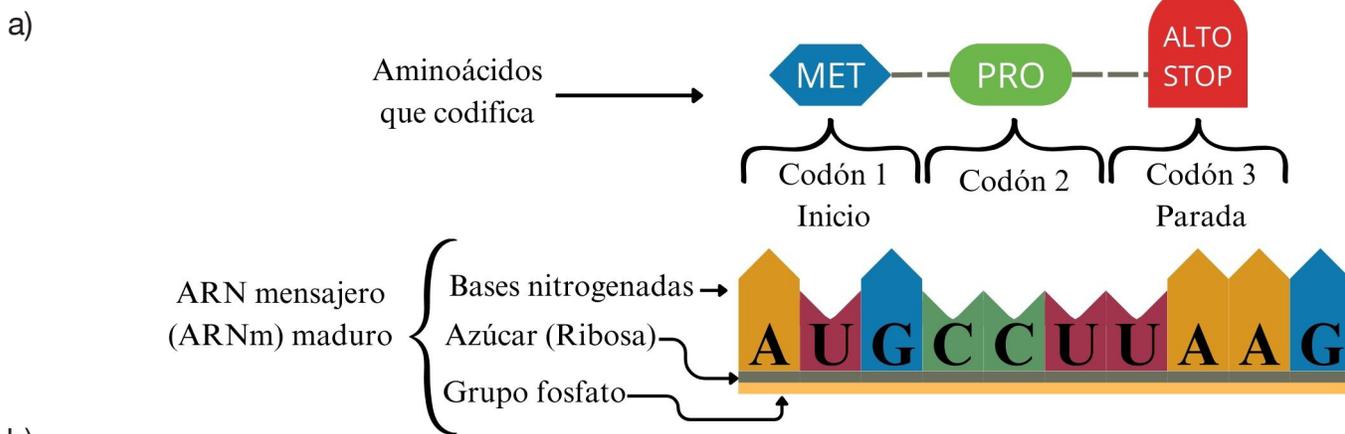
componentes: Una base nitrogenada (molécula que contiene nitrógeno y puede ser de dos tipos: púricas y Pirimidínicas), un azúcar pentosa (como la desoxirribosa en el ADN y la ribosa en el ácido ribonucleico (ARN)) y un grupo fosfato (el cual se une a la pentosa y es el responsable de ser la columna vertebral de la hebra del ADN) (Figura 1b) [3, 4]. La desoxirribosa puede estar unida a una de las 4 bases nitrogenadas: adenina (A), guanina (G), citosina (C) y timina (T). La A y G son bases nitrogenadas de dos anillos, pertenecientes a las purinas, y la C, T y uracilo (U) en el caso del ARN pertenecen a las pirimidinas [3, 4]. Estas 4 bases nitrogenadas del ADN se unen entre sí mediante puentes de hidrógeno, tanto en el ADN como en el ARN, estas bases cuentan con una complementariedad específica entre sus moléculas, donde la A se une con la T y la G con la C, sustituyendo la T por el U en el caso del ARN (Figura 1b) [1, 3, 4].

El dogma central de la biología molecular se centra en los procesos de replicación, transcripción y traducción de la información genética [5]. En los dos últimos, el ADN codifica su información genética en tripletes o codones que serán transcritos en ARN y luego traducidos en secuencias de aminoácidos, las cuales se pliegan en estructuras complejas conocidas como proteínas (Figura 2a). Los codones son secuencias correlativas formadas por 3 nucleótidos (Figura 2a) [4]. Al ser 4 tipos de bases nitrogenadas, se pueden producir 64 combinaciones diferentes, pero como el número máximo de aminoácidos identificados son 20, algunas de esas combinaciones son redundantes y codifican el mismo aminoácido [6].

Los genes son secuencias de ADN que contiene la información necesaria para producir una molécula funcional, generalmente una proteína o ARN en algunos casos; aproximadamente el ser humano tiene entre 25,000 a 30,000 genes, produciendo en promedio 3 proteínas por cada gen [4, 7]. Los genes presentan segmentos denominados exones e intrones; los primeros son secuencias que contienen información para la síntesis de proteínas o la for-

mación de productos transcritos funcionales para el gen o la actividad celular; en cambio los intrones no tienen función codificante y son eliminados en la formación del ARNm maduro, mediante un proceso conocido como corte-empalme o “splicing”, en el cual se cortan los intrones y se pegan los exones en la secuencia del ARNm (Figura 2b) [4]. La síntesis de cualquier producto transcrito, proveniente de la expresión génica, se lleva a cabo en dos etapas: la transcripción del ADN y la traducción del ARN. Este proceso inicia en el núcleo donde se copia la secuencia nucleotídica de un gen específico a una molécula de ARN. Luego, el pre-ARN es modificado mediante splicing y la incorporación de una caperuza o “CAP” (que es la adición de un nucleótido de 7-metilguanosina unido por un enlace trifosfato al primer nucleótido del ARN) en el extremo 5' y una cola de poli-A (que es la adición de aproximadamente 200 a 250 residuos de A) en el extremo 3' en células eucariotas, con la finalidad de que este no sea degradado; transformando el ARNm en su versión final o madura (Figura 2b) [4, 8, 9]. Al finalizar este proceso, el ARNm maduro se traslada al citoplasma, donde se une a al ribosoma e inicia la etapa de traducción del ARN, traduciendo la secuencia de nucleótidos del ARNm en una secuencia de aminoácidos, que, al plegarse, formará una estructura compleja denominada proteína (Figura 2b) [8, 9]. Sin embargo, alguna modificación en el marco de lectura o inicio de la transcripción o traducción del ADN o el ARNm puede desencadenar la formación de diferentes proteínas o transcritos, generando en algunos casos errores o la no transcripción o traducción de la misma; siendo las mutaciones una de las principales causas que originan alteraciones en el ADN, y por consiguiente un efecto en la transcripción o producto a traducir de algún gen en particular[10].

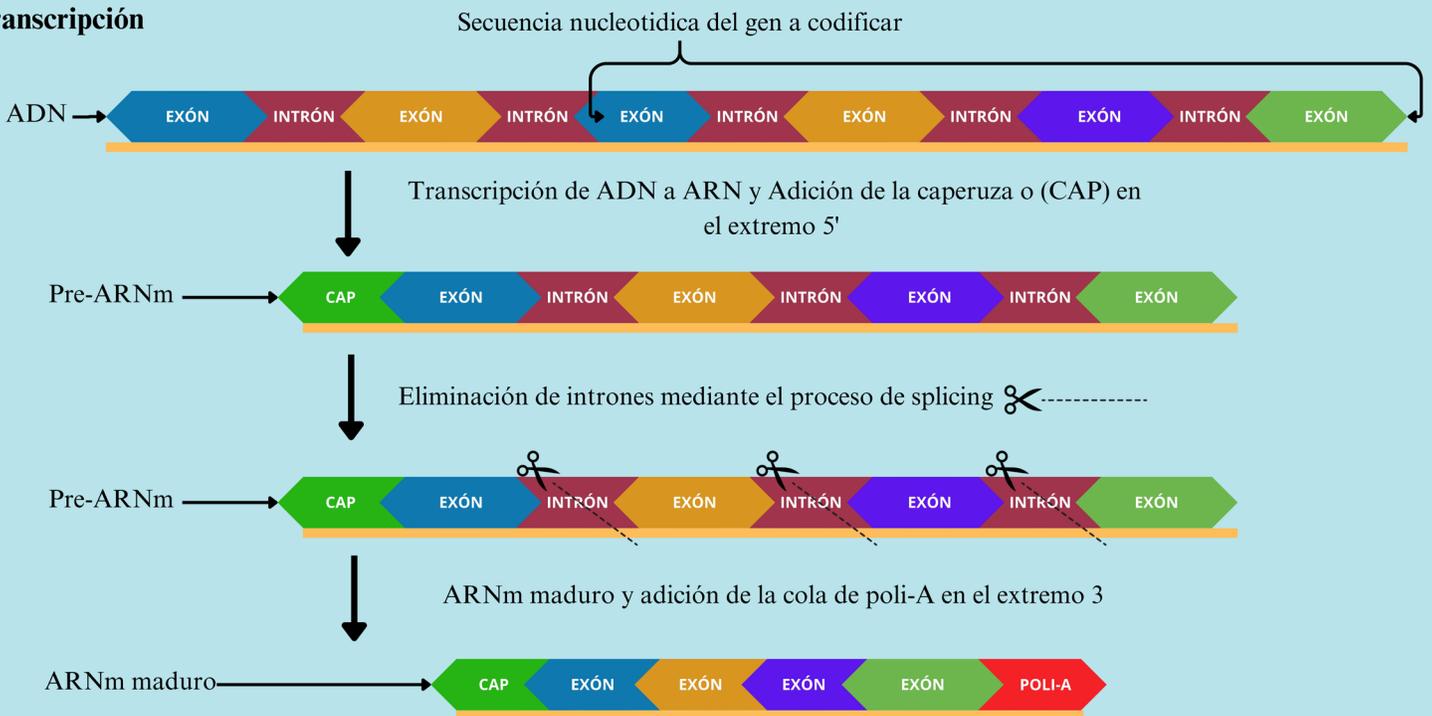
El ADN está expuesto a innumerables agentes mutagénicos de índole física, química o biológica, los cuales pueden originar mutaciones y alteraciones en la información y expresión genética del individuo. Aunque son de múltiple índole, se pueden agrupar en dos tipos de daño de acuerdo con su origen, los daños



b)

**Primera etapa:  
Transcripción**

**NÚCLEO**



**Segunda etapa:  
Traducción**

**CITOPLASMA**

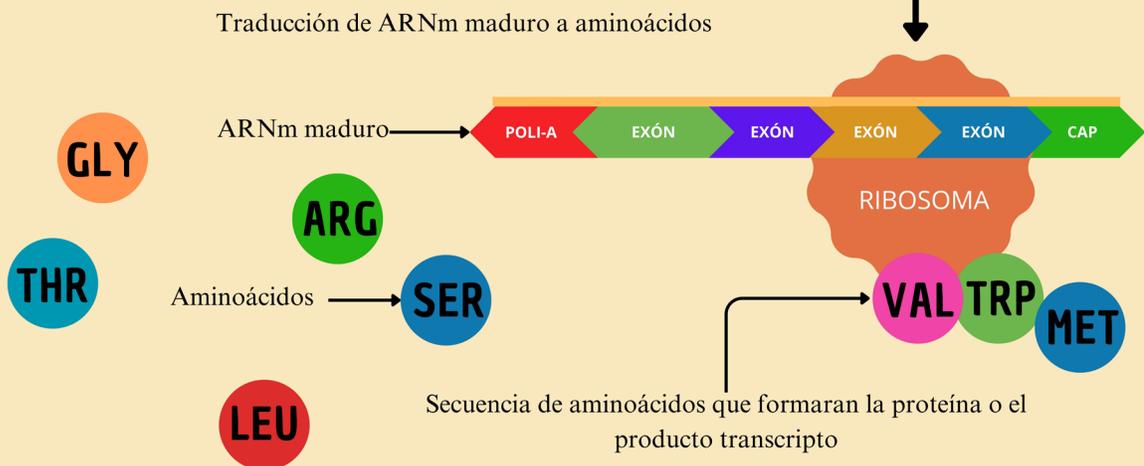


Figura 2. a) Ejemplo de los aminoácidos que puede codificar el ARNm maduro a partir de tripletes o codones. b) Proceso de formación de un producto transcrito o proteína desde la secuencia nucleotídica del gen a codificar hasta la traducción del ARNm maduro en el citoplasma y la traducción de este en una secuencia de aminoácidos.

endógenos y los daños exógenos [1, 10].

### ***Daños endógenos***

Los daños endógenos pueden aparecer en el individuo de forma espontánea, inducida o natural, a partir de los diferentes procesos biológicos que ejecuta la célula para sobrevivir. Por ejemplo, la producción de **radicales libres de oxígeno (RLO) y nitrógeno (RLN)** son consecuencia de los procesos de respiración, metabolismo y en algunos casos de la respuesta del sistema inmunológico [11, 12]. Sustancias como el superóxido ( $O_2$ ), el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y los radicales libres de hidroxilo son considerados el centro de la carcinogénesis y el envejecimiento celular, ya que estos reactivos tienen propiedades que alteran y rompen la estructura del ADN [11, 12].

La **desaminación** es una reacción química que desencadena la pérdida del grupo amino en la citosina, transformando ésta en un uracilo, afectando su emparejamiento y generando su unión con A mediante dos puentes de hidrógeno, en lugar de su unión normal con G a través de tres puentes de hidrógeno (Figura 3a) [11, 12]. La **depurinización** de igual forma, es una reacción química que elimina el enlace N-glucosídico entre la base nitrogenada y el azúcar, generando sitios apurínicos en el ADN, los cuales no permiten la unión de bases complementarias en la replicación de la cadena de ADN recién sintetizada [11, 12]. Los **agentes alquilantes** son moléculas que agregan grupos alquilo (etilo o metilo) a las bases nitrogenadas, modificando su apareamiento y bloqueando la replicación del ADN (Figura 3b) [11, 12]. Los **agentes intercalantes** son compuestos que se intercalan entre los nucleótidos del ADN afectando su transcripción, como algunos metabolitos reactivos o aldehídos [11, 12]. Por último, los **análogos de bases** son compuestos similares a las bases nitrogenadas norma-

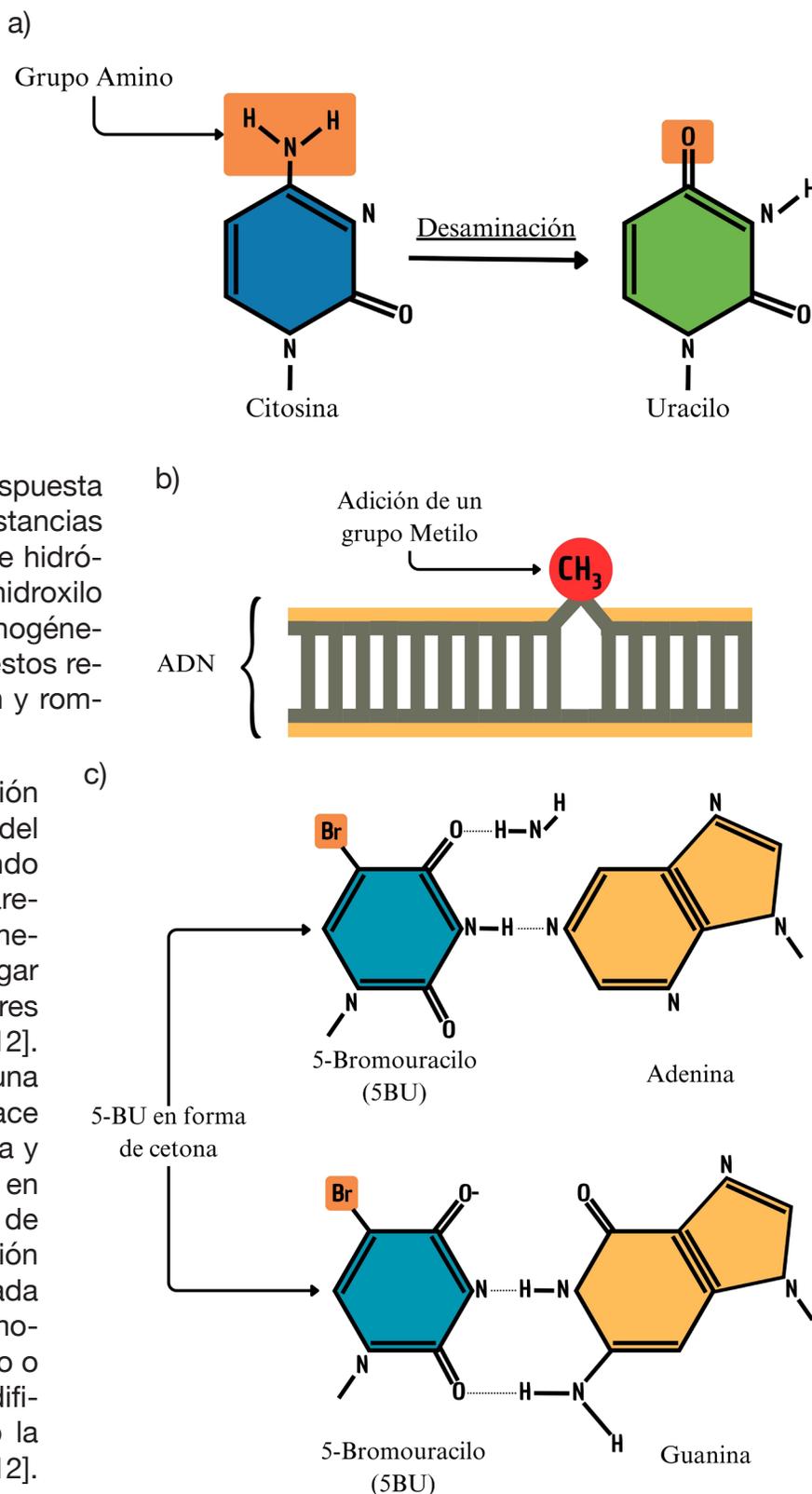


Figura 3. a) Proceso de desaminación, pérdida del grupo amino en la citosina. b) Adición de un grupo metilo por un agente alquilante, ya que este puede añadir un grupo alquilo (etilo o metilo) al ADN. c) Los análogos de bases son compuestos que pueden reemplazar una base determinada, como el 5-Bromouracilo (5BU) que es análogo de la Timina (T).

les, que se pueden emparejar en el ADN en lugar de las originales, generando errores en la replicación por un mal apareamiento, como el 5-Bromouracilo (5BU) que es análogo de la T (Figura 3c) [11, 12].

### **Daños exógenos**

Los daños exógenos son causados por sustancias, agentes o átomos que se producen e incorporan de forma externa al individuo, mediante los alimentos, la radiación ionizante, la inhalación de humo, la absorción o la exposición a agentes quimioterapéuticos o biológicos [11, 12]. Uno de los principales daños exógenos, además de la luz, son las **genotoxinas**, sustancias químicas o agentes que agreden y causan daños a los ácidos nucleicos, provocando mutaciones, desórdenes genéticos e interferencias en la replicación y reparación del ADN.

La **radiación ultravioleta (UV)**, rayos solares con longitudes de onda que oscilan entre 315-399 nm, penetran y atraviesan las células y ocasionan diferentes tipos de daños en el ADN, como los **dímeros de pirimidina** (bases iguales de pirimidina de C o T unidas en su misma hebra), las cuales generan una distorsión en la estructura del ADN. A su vez, la radiación UV es capaz de inducir mutaciones puntuales, mutaciones con cambio de marco de lectura (Frameshift Mutations), roturas y deleciones genéticas, que aumentan la probabilidad de generar cáncer y aceleran los procesos de envejecimiento (Figura 4) [11, 12]. De igual forma, la **radiación ionizante (X, γ, rayos cósmicos)**, emitida por átomos inestables o radiactivos,

atraviesan la células causando: modificaciones y pérdida de bases en el ADN, mutagénesis, inactivación de genes supresores de tumores, inestabilidad genómica, apoptosis, senescencia celular, roturas de cadenas simples y dobles y el desarrollo de enfermedades como el cáncer, enfermedades degenerativas y trastornos del desarrollo [11, 12].

Otros agentes exógenos que afectan el ADN son:

- Las **aminas aromáticas** como el 2-aminofluoreno y el 4-aminobifenilo, forman aductos con el ADN, ya que estas aminas, se unen a las bases nitrogenadas del ADN mediante enlaces covalentes, particularmente a la guanina. Estos aductos distorsionan la doble hélice del ADN, bloqueando la replicación y la transcripción del ADN. Induciendo a su vez mutaciones puntuales y la inactivación de genes supresores de tumores [11, 12].
- Los **hidrocarburos de arilo**, compuestos que se unen y forman aductos en el ADN, induciendo errores en la replicación y generando especies reactivas de oxígeno (ROS) [11, 12].
- El **cloruro de vinilo** es un compuesto reactivo que puede formar aductos en el ADN, interfiriendo con la replicación y transcripción del ADN, formando simultáneamente mutaciones puntuales y transversiones de bases [11, 12].
- Metales** como el **arsénico, el cadmio, el cromo y el níquel** pueden causar daño al ADN a través de varios mecanismos, ya que estos catalizan la formación de ROS e inhiben las enzimas involucradas en la reparación

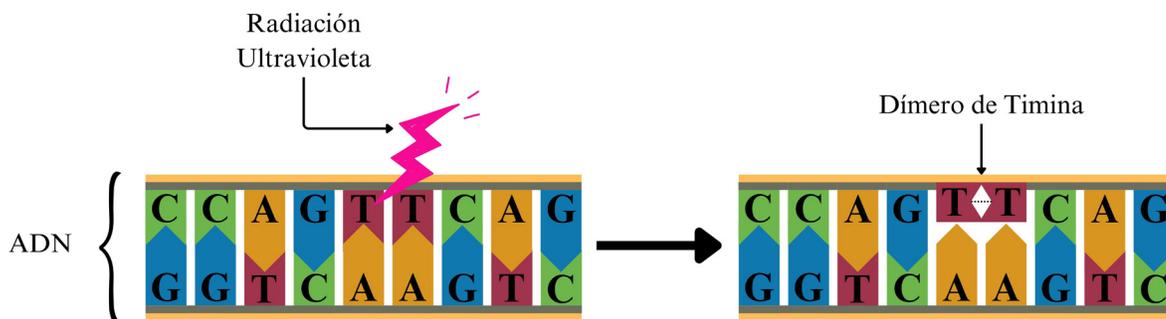


Figura 4. Formación de un dímero de timina a partir del daño ocasionado por la radiación ultravioleta (UV).

del ADN, generando una acumulación de daños no reparados en el ADN, lo cual afecta la expresión génica y el desarrollo de la carcinogénesis. Aclarando, que la producción de ROS, aunque es endógena, también se puede inducir a partir de compuestos exógenos [11, 12].

- e. **Agentes biológicos**, organismos o partículas biológicas que provienen del exterior y pueden alterar la estructura y la función del ADN, como: *Helicobacter pylori* (que induce cáncer gástrico mediante inflamación crónica y la producción de ROS), *Chlamydia trachomatis* (que aumenta el riesgo de cáncer cervical mediante inflamación y la producción de ROS), *Aspergillus spp* (que produce aflatoxina B1, formando aductos con el ADN y cáncer hepático) y *Plasmodium spp* (que induce daño al ADN a través de la producción de ROS durante la malaria) [11, 12].

Día a día, la célula es bombardeada y afectada por múltiples tipos de daños y se ha calculado que cerca de  $10^5$  lesiones atacan el ADN cada 24 horas de forma espontánea o inducida [3, 4]. Para combatir estos daños, la célula dispone de diferentes mecanismos de defensa y reparación que se encargan de mantener la integridad del genoma y prevenir mutaciones. Estos mecanismos constituyen una maquinaria altamente especializada que detecta el daño, genera una respuesta celular y elimina o reemplaza los segmentos dañados con los nuevos fragmentos de la cadena existente, arreglando y restaurando la integridad genómica y su correcto funcionamiento [11, 12].

En conclusión, conocer los tipos de daños que atacan el ADN y cómo se originan, permite diseñar estrategias de prevención y detección temprana de enfermedades, trastornos y desórdenes genéticos, los cuales pueden ser intervenidos antes de que aparezcan y desarrollen sus patologías, como el cáncer, mejorando la calidad de vida de las personas. De igual forma, identificar agentes exógenos que dañan el ADN en el ámbito de la toxicología, permite regular sustancias tóxicas o productos que per-

judican la salud pública o al medio ambiente. Sin contar, qué al comprender, cómo ciertos compuestos o hábitos de vida (exposición a la radiación, productos químicos, el tabaquismo, etc.) afectan al ADN, puede generar conciencia en la población acerca de los riesgos asociados a estas acciones o agentes, promoviendo cambios en el comportamiento de las sociedad. Destacando, que en investigaciones de alto impacto como el envejecimiento celular, determinar qué tipos de daños endógenos contribuyen a errores en los mecanismos de reparación y oxidación celular, ayuda a entender mejor los procesos de envejecimiento y a explorar intervenciones que puedan retardar a futuro. **iBIO**

## Referencias

- [1] Martínez-Frías, M. L. (2010). Estructura y función del ADN y de los genes. I Tipos de alteraciones de la función del gen por mutaciones. *SEMERGEN - Medicina de Familia*, 35(5), 273-277. <https://doi.org/10.1016/j.semerg.2009.12.014>
- [2] Instituto Nacional del Cáncer (NIH). Homeostasis. En *Diccionario de cáncer del NCI*. Recuperado 5 de octubre de 2024, de <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/homeostasis>
- [3] Travers, A., & Muskhelishvili, G. (2015). DNA structure and function. *The FEBS Journal*, 282(12), 2279-2295. <https://doi.org/10.1111/febs.13307>
- [4] Martínez-Frías, M. L. (2010). Estructura y función del ADN y de los genes. I Tipos de alteraciones de la función del gen por mutaciones. *SEMERGEN - Medicina de Familia*, 36(5), 273-277. <https://doi.org/10.1016/j.semerg.2009.12.014>
- [5] National Human Genome Research Intitute. Dogma central. En *Talking Glossary of Genomic and Genetic Terms*. Recuperado 12 de octubre de 2024, de <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Central-Dogma#:~:text=El%20dogma%20central%20de%20la,ARN%20directamente%20a%20la%20prote%C3%ADna>
- [6] National Human Genome Research Intitute. Aminoácido. En *Glosario parlante de términos genómicos y genéticos*. Recuperado 12 de octubre de 2024, de <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Aminoacido>
- [7] National Human Genome Research Intitute. (2011, 13 octubre). *Terminación del Proyecto Genoma Huma-*

no: Preguntas más frecuentes. Recuperado 12 de octubre de 2024, de <https://www.genome.gov/11510905/preguntas-maacutes-frecuentes#:~:text=Cada%20uno%20de%20los%2030.000,un%20promedio%20de%20tres%20prote%C3%ADnas>

[8] Alvarez Martinez, O. (2016). Los ácidos nucleicos, la replicación y la transcripción. *Publicaciones Didácticas*, 73, 32-36. <https://core.ac.uk/download/pdf/235859308.pdf>

[9] National Human Genome Research Intitute. Transcripción. En *Glosario parlante de términos genómicos y genéticos*. Recuperado 12 de octubre de 2024, de <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Transcripcion>

[10] Friedberg, E. Daños y reparación del ADN. *Nature* 421, 436–440 (2003). <https://doi.org/10.1038/nature01408>

[11] Mayra Guadalupe, M. E., Sandoval Rodríguez, A. S., Flores Contreras, L., & Armendáriz Borunda, J. (2013). Mecanismos de reparación del ADN. En *Biología molecular - Fundamentos y aplicaciones en la ciencias de la salud* (1.a ed., pp. 82-90). Javier de León Fraga. ISBN: 978-607-15-0912-3

[12] Tafurt Y, Marin M. A. (2014). Principales mecanismos de reparación de daños en la molécula de ADN. *Revista Biosalud*, 13(2), 95-110. ISSN 1657-9550



Hot Science

# ¿El sargazo, un aliado inesperado contra la diabetes?

*Could sargassum be an unexpected ally against diabetes?*

Francisca Villanueva-Flores<sup>1\*</sup>  
Hannia A. Ramírez-Lara<sup>1,2</sup>  
Igor García-Atutxa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Instituto Politécnico Nacional, Atlacholoaya, Morelos, México.  
<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Zacatepec, Zacatepec de Hidalgo, Morelos, México.  
<sup>3</sup>Universidad Católica de Murcia (UCAM), Murcia, España.

\*Autor para la correspondencia:  
fvillanuevaf@ipn.mx

## Resumen

El sargazo es un alga invasora de las playas mexicanas, pero afortunadamente está dejando de ser un problema molesto para convertirse en una fuente de soluciones para obtener fertilizantes, materiales de construcción y medicamentos. En el Instituto Politécnico Nacional, hemos logrado extraer una sustancia llamada alginato mediante una metodología amigable con el medio ambiente y la transformamos en partículas diminutas. Actualmente, estamos explorando su potencial para tratar enfermedades como la diabetes. Nuestro enfoque pretende “matar dos pájaros de un tiro” al dar valor agregado al indeseable sargazo y formular un potencial medicamento para una de las principales enfermedades en nuestro país.

*Palabras clave: Sargazo, Nanopartículas, Diabetes.*

## Summary

Sargassum is an invasive algae affecting Mexican beaches, but fortunately, it is shifting from being a troublesome issue to becoming a source of solutions for obtaining fertilizers, construction materials, and medicines. At the Instituto Politécnico Nacional, we have successfully extracted a substance called alginate using an environmentally friendly methodology and transformed it into tiny particles. We are currently exploring its potential for treating diseases such as diabetes. Our approach aims to “kill two birds with one stone” by adding value to the undesirable sargassum while developing a potential treatment for one of the most prevalent diseases in our country.

*Keywords: Sargassum, Nanoparticles, Diabetes.*

Imagina llegar a tus vacaciones a una playa del hermoso Caribe mexicano y encontrar toneladas de algas marrones invadiendo la arena y el agua cristalina. Según estimaciones de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en el año 2023, más de 20 millones de toneladas de sargazo llegaron a las costas mexicanas del Caribe, marcando un récord histórico. Este fenómeno, no solo arruina las vacaciones de muchos turistas, sino que también pone en peligro la economía local y los ecosistemas marinos de la región, ya que el sargazo consume grandes cantidades de oxígeno del agua y bloquea la luz solar, elementos vitales para la vida marina. Además, cuando se descompone, libera gases tóxicos como ácido sulfhídrico, amonio y metano, que no solo huelen mal, sino que también representan un riesgo para la salud de las personas que viven cerca de la costa [1].

En Quintana Roo, el costo de remover el sargazo puede llegar hasta 18 millones de pe-



Figura 1. Caricatura de playa con sargazo. Fuente: elaboración propia.

unos por kilómetro cada año. Esta es una carga financiera enorme tanto para el gobierno como para la industria hotelera, que dependen del turismo para sostener la economía local [2]. En la Fig. 1. se muestra una caricatura de la problemática del sargazo en las playas. Cuando grandes cantidades de sargazo llegan a la playa, por seguridad, los bañistas deberán quedarse con las ganas de meterse al mar. ¡Qué decepción!

¿Y si pudiéramos convertir esta plaga marina en algo útil y valioso? Añadir valor al sargazo mediante su uso en aplicaciones tecnológicas podría ser la clave. Por ejemplo, el sargazo se puede utilizar para hacer biocombustibles, fertilizantes naturales, materiales de construcción e incluso productos cosméticos. Estas innovaciones no solo ayudarían a reducir su impacto ambiental negativo, sino que también podrían generar ingresos para las comunidades costeras afectadas. A continuación,

se presentan algunas de las aplicaciones más destacadas del sargazo que los científicos están explorando, con un enfoque especial en las oportunidades de innovación que estamos desarrollando en el Instituto Politécnico Nacional, donde trabajamos en el desarrollo de un potencial medicamento contra la diabetes a partir de este recurso natural.

### **Bioremediación, biofertilizantes y producción de biogás**

El sargazo podría convertirse en un aliado inesperado para el medio ambiente. Se ha descubierto que ciertas especies de sargazo se pueden aprovechar para limpiar áreas de maricultura contaminadas. México, China y otros países están aprovechando estas algas como

filtros naturales para eliminar

contaminantes del agua como algunos colorantes tóxicos o metales pesados, y así ayudar a restaurar el equilibrio de los ecosistemas marinos. Asimismo, esta biomasa puede aprovecharse para la producción de biofertilizantes comerciales. Incluso, el sargazo también puede transformarse en una fuente de energía limpia. Cuando se combina con residuos alimentarios en un proceso llamado digestión anaeróbica (es decir, sin oxígeno), este proceso produce biogás que es una mezcla de metano y dióxido de carbono. Esto significa que esas molestas algas marrones que invaden nuestras costas podrían generar energía renovable, reduciendo el impacto ambiental y creando soluciones sostenibles. ¿Te imaginas que el sargazo que arruina las vacaciones en la playa sea la clave para generar energía limpia? Con innovación y creatividad, lo que antes era un problema se convierte en una oportunidad para un futuro más verde [3].

## **Producción de bloques de construcción con sargazo**

Esta macroalga, además, podría convertirse en un aliado para la construcción sostenible. Investigaciones recientes han demostrado que las fibras de sargazo se pueden usar para fabricar bloques de construcción con propiedades superiores a los materiales tradicionales. Estos bloques no solo son resistentes, sino que también tienen una capacidad mejorada para absorber la humedad y reducen la transferencia de calor, lo que los hace ideales para construir casas más frescas y eficientes energéticamente [4].

## **Uso en biomedicina: un alga con superpoderes**

Además de invadir las playas, el sargazo tiene un gran potencial en medicina pues contiene compuestos naturales con efectos anticancerígenos, antiinflamatorios, antibacterianos y antivirales. También es rico en antioxidantes, como polifenoles y carotenoides, valorados en las industrias cosmética y alimentaria por su capacidad para conservar alimentos y mejorar productos de belleza. Sin embargo, ciertas especies suelen acumular metales pesados tóxicos, por lo que podría requerir etapas de purificación adicionales antes de su aprovechamiento [5].

## **El IPN desarrolla nanopartículas de alginato de sargazo con potencial antidiabético**

Como ves, el sargazo tiene un gran potencial en diversas áreas. Actualmente, en nuestro grupo de investigación en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA), Unidad Morelos del Instituto Politécnico Nacional, hemos desarrollado una técnica innovadora y amigable con el medio ambiente para aprovechar el sargazo y extraer un biopolímero natural llamado alginato con un rendimiento del 10%. El alginato tiene una consistencia tipo goma o gel cuando está hidratado. Imagina los biopolímeros como cadenas largas de moléculas parecidas al azúcar, aunque sin un sabor dulce.

En nuestro grupo, hemos recolectado muestras de sargazo y hemos identificado que pertenece a la especie *S. natans* en las costas del puerto de Chuburná, en Yucatán. El *S. natans* presenta filoides largos y estrechos, con márgenes lisos o ligeramente dentados. Además, sus vesículas flotantes tienen pequeñas espinas, a diferencia de otras especies como *S. fluitans*, que las tiene lisas. En la Fig. 2 se muestra una foto del *S. natans* recolectado. Para analizar el alginato obtenido del sargazo, utilizamos una técnica llamada espectroscopía de infrarrojo. Esta herramienta nos permite “ver” las huellas químicas del material al interactuar con luz infrarroja, que hace vibrar las moléculas como si estuvieran bailando. Estas vibraciones son únicas para cada tipo de molécula, lo que nos ayuda a confirmar su composición y estructura (datos no publicados).

En el laboratorio, nos dimos a la tarea de generar una manera para transformar el alginato en partículas pequeñas de apenas 200 nanómetros de diámetro (mil veces más pequeñas que un grano de arena). Este tamaño tan diminuto hace posible que estas partículas puedan entrar a las células, y por lo tanto, se aprovechen mejor en nuestro organismo. Sin embargo, dado que las nanopartículas de alginato tienden a agregarse, pueden perder esta posibilidad de entrar a las células, por lo que implementamos en el laboratorio un método para estabilizarlas en microcápsulas de miel con lo cual fue posible mantener las partículas en suspensión a muy bajo costo y, lo más importante, sin utilizar reactivos químicos contaminantes. En la Fig. 3 se muestran las partículas diminutas de alginato envueltas en microcápsulas de miel. Gracias a esta técnica innovadora, no solo desarrollamos materiales avanzados y naturales, sino que también demostramos que es posible encontrar soluciones tecnológicas mientras cuidamos el medio ambiente.

Una de las aplicaciones más emocionantes de estas nanopartículas de alginato en la cual estamos trabajando, es su potencial para combatir la diabetes, una enfermedad que afecta a más de 12.4 millones de personas en



Figura 2. Fotografía de una muestra de *S. natans* recolectada en el puerto de Chuburná, Yucatán.

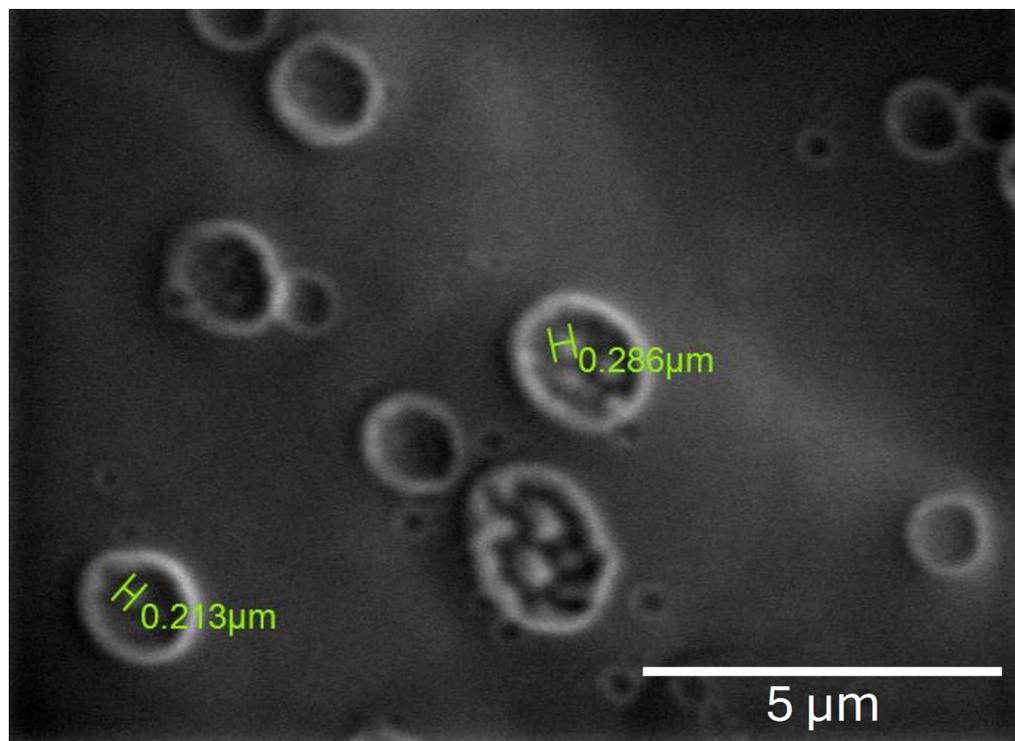


Figura 3. Micrografía electrónica de barrido de nanopartículas de alginato de *S. natans*. La imagen muestra a las nanopartículas de alginato embebidas en micropartículas de miel como estabilizante.

México. Se ha observado en ratones que el alginato puede reducir los niveles de azúcar en sangre modulando el microbiota intestinal, es decir, las bacterias que habitan en el intestino, lo que abre una puerta a nuevos tratamientos [6]. En el IPN, estamos explorando cómo aprovechar esta propiedad, buscando una sinergia con sus efectos como potencial antidiabético y así mejorar la eficiencia terapéutica. Piensa en el medicamento y su vehículo como un dúo perfecto: el medicamento es la estrella principal y el vehículo, su mánager experto, asegurándose de que llegue justo al lugar indicado y en el momento preciso. Juntos, no solo alcanzan su máximo potencial, sino que logran un efecto más potente y efectivo, mejorando los resultados del tratamiento y reduciendo los efectos no deseados. Actualmente, nos estamos enfocando en demostrar que nuestras partículas son seguras y eficaces para aplicaciones terapéuticas. Imagina cómo con esta investigación podríamos cambiar la vida de muchas personas que, como tú y yo, buscamos soluciones económicas y naturales para cuidar nuestra salud.

### **Conclusiones: hacia un futuro más verde**

El desarrollo de nanopartículas de alginato obtenido de sargazo con actividad antidiabética representa un ejemplo claro de cómo la ciencia puede transformar un problema ambiental en una solución innovadora y amigable con el medio ambiente, al no utilizar sustancias químicas peligrosas ni condiciones extremas en el proceso. Este proyecto podría transformar el problema del sargazo de nuestras playas, en una oportunidad para crear nuevos materiales con el potencial de mejorar la salud de muchas personas.

Desde biocombustibles y fertilizantes naturales hasta materiales de construcción y potenciales bioterapéuticos, las aplicaciones del sargazo tienen el potencial de generar ingresos para las comunidades costeras y mitigar su impacto negativo en los ecosistemas. En particular, nuestra investigación en nanopartículas de alginato extraídas del sargazo demuestra un nuevo enfoque en biomedicina, con posibilidades en el tratamiento de enfermedades como

la diabetes.

Este proyecto subraya el compromiso del IPN con la innovación científica, mostrando cómo la investigación puede generar beneficios tangibles para la sociedad y el medio ambiente. Transformar el sargazo en un recurso valioso no solo responde a una necesidad urgente, sino que también establece un modelo de cómo convertir desafíos ambientales en oportunidades tecnológicas. **iBIO**

### **Agradecimientos**

Se agradece al financiamiento SIP20242814 otorgado por el Instituto Politécnico Nacional para la realización de este trabajo.

### **Referencias**

- [1] Wang, M., Hu, C., Barnes, B. B., Mitchum, G., Lapointe, B., & Montoya, J. P. (2019). The great Atlantic Sargassum belt. *Science*, 365(6448), 83–87. <https://doi.org/10.1126/science.aaw7912>
- [2] Hendy, I. W., Woolford, K., Vincent-Piper, A., Burt, O., Schaefer, M., Cragg, S. M., Sanchez-Navarro, P., & Ragazzola, F. (2021). Climate-driven golden tides are reshaping coastal communities in Quintana Roo, Mexico. *Climate Change Ecology*, 2, 100033. <https://doi.org/10.1016/j.ecochg.2021.100033>
- [3] Liu, L., Heinrich, M., Myers, S., & Dworjanyn, S. A. (2012). Towards a better understanding of medicinal uses of the brown seaweed *Sargassum* in Traditional Chinese Medicine: A phytochemical and pharmacological review. *Journal of Ethnopharmacology*, 142(3), 591–619. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.05.046>
- [4] Cruz, J., & García-Uitz, K. (2024). Use of sargassum and other organic substitutes in the construction industry. A review. *Métodos y Materiales*, 14(1), 1–12. <https://doi.org/10.15517/mym.v14i1.56675>
- [5] Pal, S., Soni, A., Patel, N., Sharma, P., Siddiqi, N. J., Fatima, S., & Sharma, B. (2024). Phytochemical profiling, antioxidant potential and cytotoxic activity of *Sargassum prismaticum* extracts: Implications for therapeutic applications. *Natural Product Research*, 1–7. <https://doi.org/10.1080/14786419.2024.2344745>
- [6] Qiang, T., Wang, J., Jiang, L., & Xiong, K. (2022). Modulation of hyperglycemia by sodium alginate is associated with changes of serum metabolite and gut microbiota in mice. *Carbohydrate Polymers*, 291, 119359. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119359>



Hot science

# Pervaporación de mezclas azeotrópicas: Un enfoque sustentable para la industria química moderna

*Pervaporation of azeotropic mixtures: A sustainable approach for the modern chemical industry*

Aarón Guillermo Castillo Rivera\*  
Vivian K. Flores  
Marlon E. Velasquez

Universidad Nacional Autónoma de Honduras,  
Tegucigalpa, Honduras.

\*Autor para la correspondencia:  
aaron.castillo@unah.hn

## Resumen

Son muchos los bioprocesos enzimáticos que producen disoluciones alcohólicas y cada vez estos toman mayor relevancia en el mundo actual. La pervaporación se presenta como una alternativa energéticamente eficiente para la separación de este tipo de disoluciones. En este artículo se presentan tres aplicaciones relevantes: tratamiento de biomasa, industria alimentaria y generación de biocombustibles.

*Palabras clave: Pervaporación, bioprocesos, mezclas azeotrópicas.*

## Summary

There are many enzymatic bioprocesses that produce alcoholic mixtures, and these are becoming more and more relevant in today's world. Pervaporation is presented as an energy efficient alternative for the separation of these types of mixtures. Three relevant applications are presented in this article: biomass treatment, food industry and biofuel generation.

*Keywords: Pervaporation, bioprocesses, azeotropic mixtures.*

## ¿Qué son las mezclas azeotrópicas?

Las mezclas azeotrópicas son aquellas que al ser destiladas alcanzan una temperatura o presión donde ya no se pueden separar debido a que la composición del vapor es la misma que la composición líquida. Este punto se le llama azeótropo. Una alternativa efectiva a la destilación para este caso es la pervaporación, técnica de separación que no se ve afectada por la existencia de este punto azeotrópico.

## **Pervaporación: Uso de membranas como alternativas para procesos de separación**

La pervaporación es una operación de separación líquido-líquido basada en el uso de una membrana sintética permeable a un componente, la mezcla líquida se hace circular por un extremo de la membrana mientras que el otro está al vacío, un componente cruza la membrana y se evapora al instante, siendo extraído de inmediato [1]. Como se muestra en la Figura 1.

Sin embargo, también existe la alternativa de pervaporación por arrastre de vapor en la

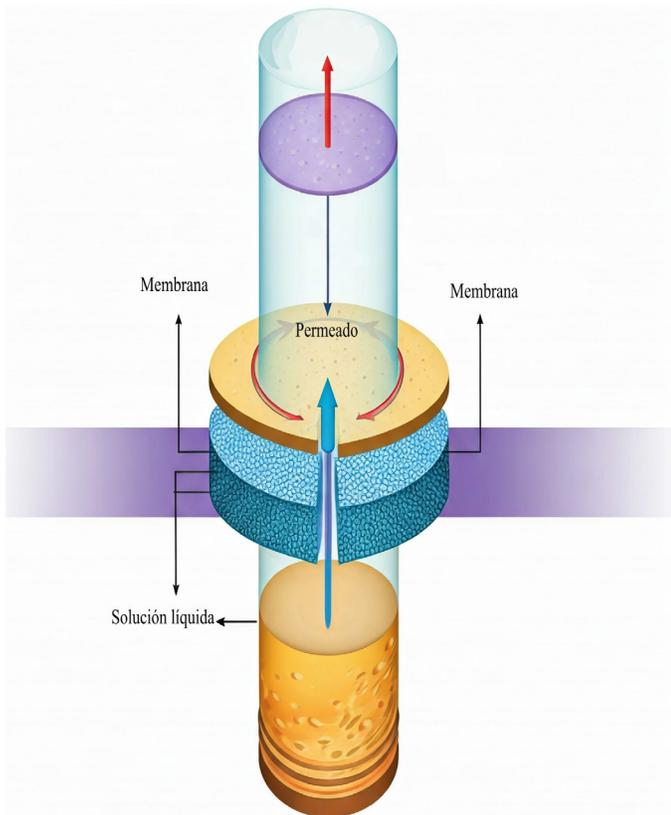


Figura 1. Diagrama de pervaporación (Autoría propia).

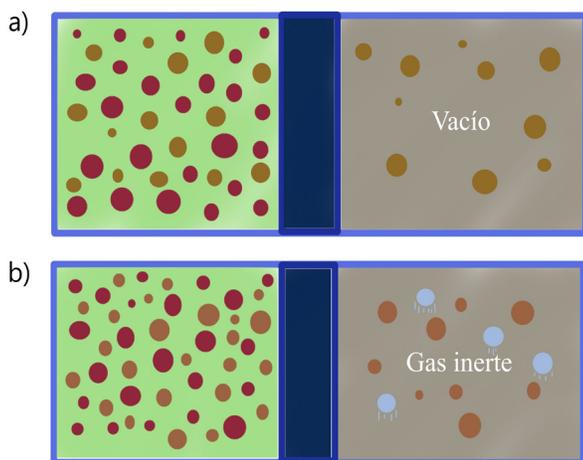


Figura 2. Comparación entre pervaporación al vacío y por arrastre de vapor (Autoría propia).

que se hace pasar un gas inerte del lado del permeado como se muestra en la Figura 2.

El paso de efluente a través de la membrana se da en 3 pasos, un primer paso de absorción selectiva donde el componente más soluble en la membrana se absorbe. Una segunda etapa de difusión binaria selectiva donde el flux del efluente, atravesando la membrana en estado estacionario puede expresarse a través de la primera ley de Fick

$$J_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dx}$$

Donde  $x$  es la dirección unidimensional perpendicular a la membrana. Y una tercera etapa de desorción donde el efluente ha llegado al vacío donde se evapora y se retira de la membrana.

La pervaporación ha sido ampliamente utilizada para separar mezclas azeotrópicas como etanol-agua o butanol-agua, debido a que es más eficiente energéticamente comparada con la destilación [2].

### Pervaporación para la producción de bioetanol

Los biocombustibles pueden clasificarse en generaciones según la biomasa de la cual proceden: combustibles de primera generación (los que provienen de alimentos almidonados de consumo humano), de segunda generación (los que provienen de residuos agrícolas) y de tercera generación (algas y otras fuentes de carbono). Los biocombustibles de primera generación no son demasiado convenientes debido a que esa biomasa requiere tierra de cultivo, agua, etc. [4].

Las fuentes de biomasa de segunda generación suelen ser lignocelulósicas, es decir, contienen hemicelulosa, celulosa y lignina en su estructura. La celulosa es un polisacárido de glucosa bastante regular, en contraste la hemicelulosa es un polisacárido amorfo y de composición irregular (es decir que sus azúcares pueden no ser solo glucosa), y la lignina es un biopolímero fenólico que da resistencia a la madera [4].

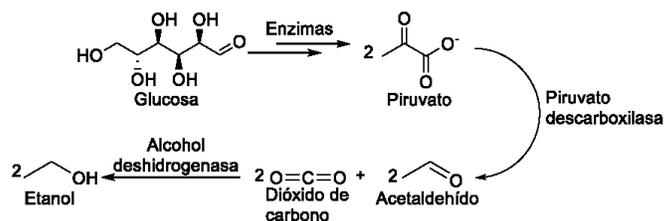


Figura 3. Ruta de fermentación alcohólica (Autoría propia).

El inicio de la ruta fermentativa se da en la molécula de glucosa, por ende, para trabajar esta biomasa se debe darle un pretratamiento para hacer a la glucosa atrapada accesible para su conversión. Un procedimiento convencional

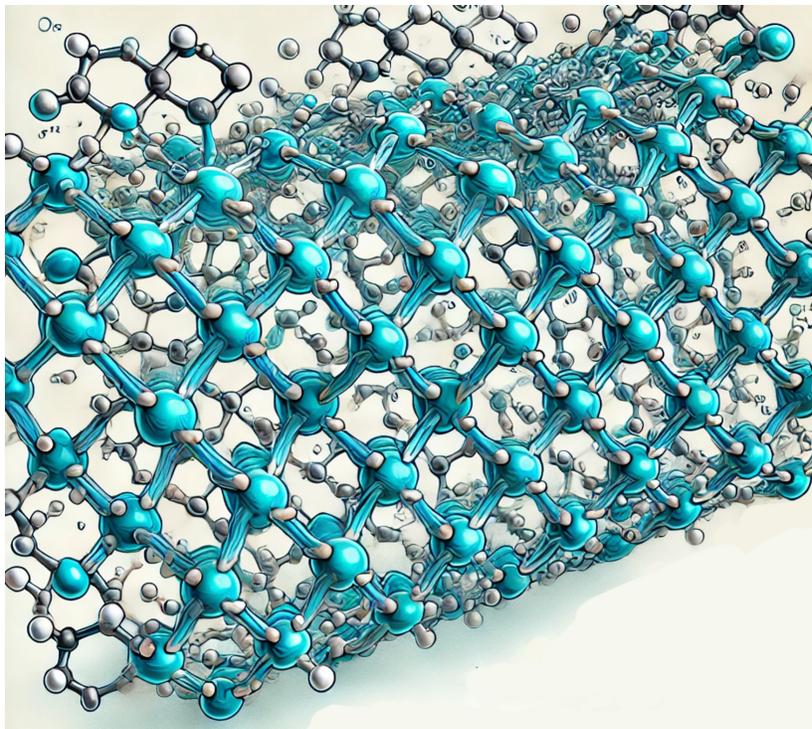


Figura 4: Ilustración de una membrana PDMS (Autoría propia).

funcionan como compuertas hidrofóbicas las cuales dejan pasar al bioetanol, en otras palabras, son membranas que solubilizan el etanol por medio de esa afinidad y facilitan su absorción. [2].

Además de la membrana de PDMS, otras membranas especializadas en la recuperación del etanol son las de quitosano, alginato de sodio y alcohol polivinílico (PVA) [4].

Una de las principales desventajas al trabajar con membranas es el ensuciamiento, catecol y otros residuos lignocelulósicos pueden ser adsorbidos por la membrana haciendo necesario diferencias de presión cada vez mayores para mantener la operación funcionando[4].

### **Pervaporación para la desalcoholización de vinos y cervezas**

El vino contiene numerosos compuestos que desempeñan un papel vital desde el punto de vista de la salud humana. De estos componentes, los dos más importantes son las antocianinas, los compuestos colorantes de los vinos tintos, y la sustancia fenólica resveratrol. Ambos se consideran antídotos naturales contra las enfermedades cardiovasculares [5]. Al implementar técnicas de separación el objetivo es reducir la cantidad de alcohol presente para que los consumidores puedan apreciar las propiedades organolépticas que estas bebidas ofrecen, sin los efectos adversos de las sustancias alcohólicas. Al reducir el contenido de etanol, presente en el vino, que es venenoso para las células del cuerpo humano, y aumentar el número de compuestos valiosos asociados, el organismo humano puede absorber sustancias con propiedades medicinales sin efectos secundarios nocivos. El proceso térmico tradicional destruye la calidad y las características sensoriales, por lo que se han realizado serios esfuerzos para reponer los compuestos aromáticos (por ejemplo, concentrado de mosto) o para evitar su evaporación [5].

Aquí es donde entran en juego los procesos de separación como la pervaporación. El método puede usarse solo o en combinación

es someter a la biomasa a una hidrólisis ácida (exponer a ácidos fuertes) y luego convertir estos polisacáridos en monómeros de glucosa utilizando alguna celulasa (una enzima que rompe las cadenas de celulosa) [1].

El inconveniente es que muchas de estas técnicas generan sustancias que inhiben la acción de los microorganismos que realizan el proceso fermentativo, algunos inhibidores son compuestos fenólicos, furanos y ácidos alifáticos; el mismo bioetanol también puede actuar como un inhibidor de la misma enzima por lo que es necesario removerlo del caldo y utilizar alguna técnica de extracción líquido-líquido u otra para remover el resto de inhibidores o desechar el resto del caldo una vez asegurado el bioetanol [4].

Aquí la pervaporación se presenta como una solución, al remover el bioetanol del caldo incrementa el rendimiento del cultivo, además de que la pervaporación puede acoplarse como una operación unitaria en planta permitiendo una extracción instantánea [4].

Las membranas utilizadas en los procesos de pervaporación son un tema de estudio reciente, para la extracción de etanol en agua, una de las más utilizadas es la membrana de Polidimetilsiloxano (PDMS), los enlaces metilo

con otros métodos. La pervaporación puede producir un permeado con mayor concentración de alcohol, por lo que el vino se vuelve menos denso en comparación con la filtración por membrana; solo cambia ligeramente la consistencia del producto. La pervaporación es una operación suave capaz de extraer selectivamente el etanol del vino que contiene compuestos aromáticos termolábiles [5].

Los análisis económicos pronostican una gran demanda de costos de inversión, que se puede explicar por el precio relativamente alto de las membranas de pervaporación no porosas. Pero la inversión podría ser rentable en unos pocos años. La rentabilidad puede ser impulsada seriamente por el uso de subproductos, por ejemplo, mediante el uso del concentrado de alcohol separado como materia prima para destilados de vino o licores industriales [5].

La membrana PERVAP™ 4101 de Sulzer ChemTech ha demostrado ser una solución eficaz y confiable en aplicaciones relacionadas con la deshidratación de mezclas líquidas. Este tipo de membrana estándar, diseñada para la mayoría de las aplicaciones de deshidratación, permite la separación precisa de agua y alcoholes, aprovechando la tecnología de pervaporación para lograr un alto nivel de pureza sin alterar las propiedades sensoriales de los productos finales [7].

### **Pervaporación para la optimización de la producción de butanol**

Un combustible que es de gran interés es el butanol, debido a su poder calorífico, su índice de octano y otras propiedades físico-químicas. Una de las formas de obtenerlo es mediante un proceso de fermentación que se lleva a cabo por la bacteria de la clase *Clostridia*. Existen varios tipos o especies, cada una variando en su productividad y el tipo de carbohidrato que puede metabolizar. La *Clostridium acetobutylicum* es la más utilizada por su mayor productividad y metabolizar una gran cantidad de hidratos de carbono. [3]

La ruta fermentativa que sigue esta bacteria es la observada en la Figura 5, donde los

principales productos que se obtienen son la acetona, butanol y etanol, conocido como la mezcla ABE. El inconveniente que se presenta durante este tipo de fermentación es el hecho de que el butanol se comporta como un componente tóxico para la bacteria en concentraciones mayores a los 5 g/L, degradando a la célula y reduciendo su tiempo de vida. Una solución a esta problemática ha sido el uso de un proceso acoplado de biorreactor y pervaporación, gracias a esto se logra bajar las concentraciones de butanol a niveles en los que la bacteria no sufra ningún daño, mejorando el rendimiento de la producción y aumentando el crecimiento del cultivo de bacterias [6].

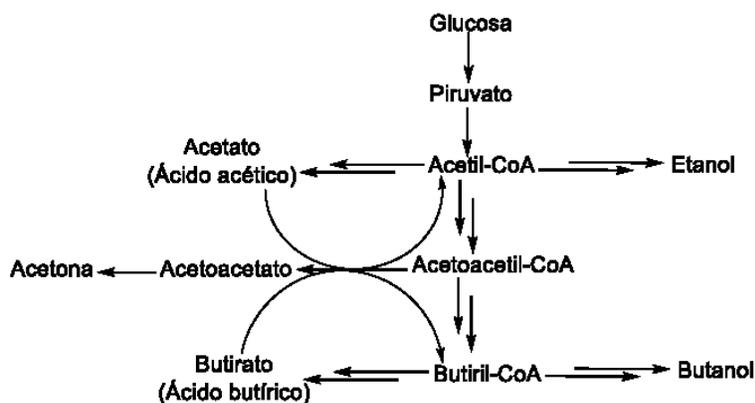


Figura 5. Ruta de fermentación del ácido butírico. (Adaptado de [3]).

Se puede utilizar la pervaporación y el biorreactor como dos unidades de procesos separadas o en ocasiones las membranas de pervaporación se encuentran dentro del biorreactor. La pervaporación se hace mediante presión al vacío para obtener el componente permeado que en este caso será la mezcla acetona-butanol-etanol, esperándose una mayor concentración del butanol. La separación se realiza in situ junto con la fermentación, permitiendo que el proceso se realice de manera continua. Esto también permite que el proceso se pueda llevar a nivel industrial, teniendo en cuenta otras consideraciones [6].

### **Conclusiones**

La pervaporación aparece como una alternativa eficiente que además de poder ser integrada en procesos industriales y de tener apli-

caciones en diversas industrias químicas, abre la puerta al uso de nuevas tecnologías de operaciones unitarias con membrana, dando un paso más hacia el uso de tecnologías mucho más amigables con el medio ambiente. **iBIO**

### **Agradecimientos**

Agradecimiento a Oscar Vladimir Ortiz Hernández por la revisión y edición del presente artículo.

### **Referencias**

- [1] Lipnizki, F. (2010). Membrane process opportunities and challenges in the bioethanol industry. *Desalination*, 250(3), 1067–1069. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.09.109>
- [2] Serna-Vázquez, J., Zamidi Ahmad, M., & Castro-Muñoz, R. (2021). Simultaneous production and extraction of bio-chemicals produced from fermentations via pervaporation. *Separation and Purification Technology*, 279, 119653. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119653>
- [3] Lee, S. Y., Park, J. H., Jang, S. H., Nielsen, L. K., Kim, J., & Jung, K. S. (2008). Fermentative butanol production by clostridia. *Biotechnology and Bioengineering*, 101(2), 209–228. <https://doi.org/10.1002/bit.22003>
- [4] Nogueira, C. da, Padilha, C. E., Dantas, J. M., Medeiros, F. G., Guilherme, A. de, Souza, D. F., & Santos, E. S. (2021). In-situ detoxification strategies to boost bioalcohol production from lignocellulosic biomass. *Renewable Energy*, 180, 914–936. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.012>
- [5] Takács, L., Vatai, G., & Korány, K. (2005c). Production of alcohol-free wine by pervaporation. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.005>
- [6] Li, J., Chen, X., Qi, B., Luo, J., Zhang, Y., Su, Y., & Wan, Y. (2014). Efficient production of acetone–butanol–ethanol (ABE) from cassava by a fermentation–pervaporation coupled process. *Bioresource Technology*, 169, 251–257. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.06.102>
- [7] Sulzer Chemtech. Membrane Technology. Disponible desde: [https://www.sulzer.com/-/media/files/products/process-technology/reaction\\_technology/brochures/membrane\\_technology.ashx](https://www.sulzer.com/-/media/files/products/process-technology/reaction_technology/brochures/membrane_technology.ashx). Consultado: enero 6, 2025.

# Hot Science



# Microorganismos: aliados invisibles para un agua limpia libre de pesticidas

¿Cómo microorganismos encontrados en suelo agrícola de Guanajuato pueden ser clave para eliminar un peligroso pesticida del agua?

*Microorganisms: invisible allies for clean, pesticide-free water*

*How can microorganisms found in an agricultural field in Guanajuato be key to eliminating a dangerous pesticide from water?*

Mariana Acosta Lopez\*

École de Technologie Supérieure, Université du Québec, Canada.

\*Autor para la correspondencia:  
mariana.acosta-lopez.1@ens.etsmtl.ca

## Resumen

Los microorganismos juegan un papel clave en la degradación de contaminantes al descomponerlos en compuestos menos dañinos para el ambiente. Los pesticidas son considerados contaminantes ambientales, ya que pueden desplazarse lejos del área de aplicación, afectando negativamente el agua, el ambiente y la salud humana. De particular preocupación son los riesgos que representan los insecticidas para los organismos polinizadores como las abejas. Este artículo presenta los resultados de la identificación y aislamiento de una comunidad microbiana proveniente de suelo agrícola en Guanajuato, con la capacidad de eliminar de manera eficiente el insecticida carbaril del agua.

*Palabras clave: pesticidas, microorganismos, contaminantes emergentes.*

## Summary

Microorganisms play a key role in the degradation of pollutants by breaking them down into less harmful compounds for the environment. Pesticides are considered environmental pollutants, as they can travel far from the area of application, contaminating water and negatively impacting human health and the environment. Of particular concern are the risks that insecticides pose to pollinators such as bees. This article presents the results of the identification and isolation of a microbial community from agricultural soil in Guanajuato, with the ability to efficiently remove the insecticide carbaryl from water.

*Keywords: pesticides, microorganisms, emerging contaminants.*

Los pesticidas son sustancias empleadas para prevenir y combatir plagas en los cultivos ya que tienen la capacidad de eliminar hongos, insectos o hierbas que interfieren con la producción, almacenamiento, transporte y comercialización de alimentos y productos agrícolas. El uso de sustancias naturales para combatir las plagas se remonta a más de cuatro mil años atrás; sin embargo, en las últimas décadas, se han empleado numerosos compuestos sintéticos con este propósito.

Al aplicarse en campos agrícolas, la mayor parte de los pesticidas no permanece en los cultivos, sino que se dispersan en el medio ambiente a través de diversos mecanismos, como la filtración a través del suelo, la volatilización y la evaporación (Figura 1). Lo anterior, sumado al uso excesivo de estas sustancias a nivel mundial, ha provocado la contaminación de aguas, suelos y aire, generando una serie de problemas que afectan tanto al medio ambiente como a la salud humana [1].

Actualmente, es posible encontrar residuos de pesticidas en frutas, verduras, aguas y suelos; ¡incluso se han detectado en glaciares de los polos! Esto, como consecuencia de su utilización descontrolada en actividades agrí-

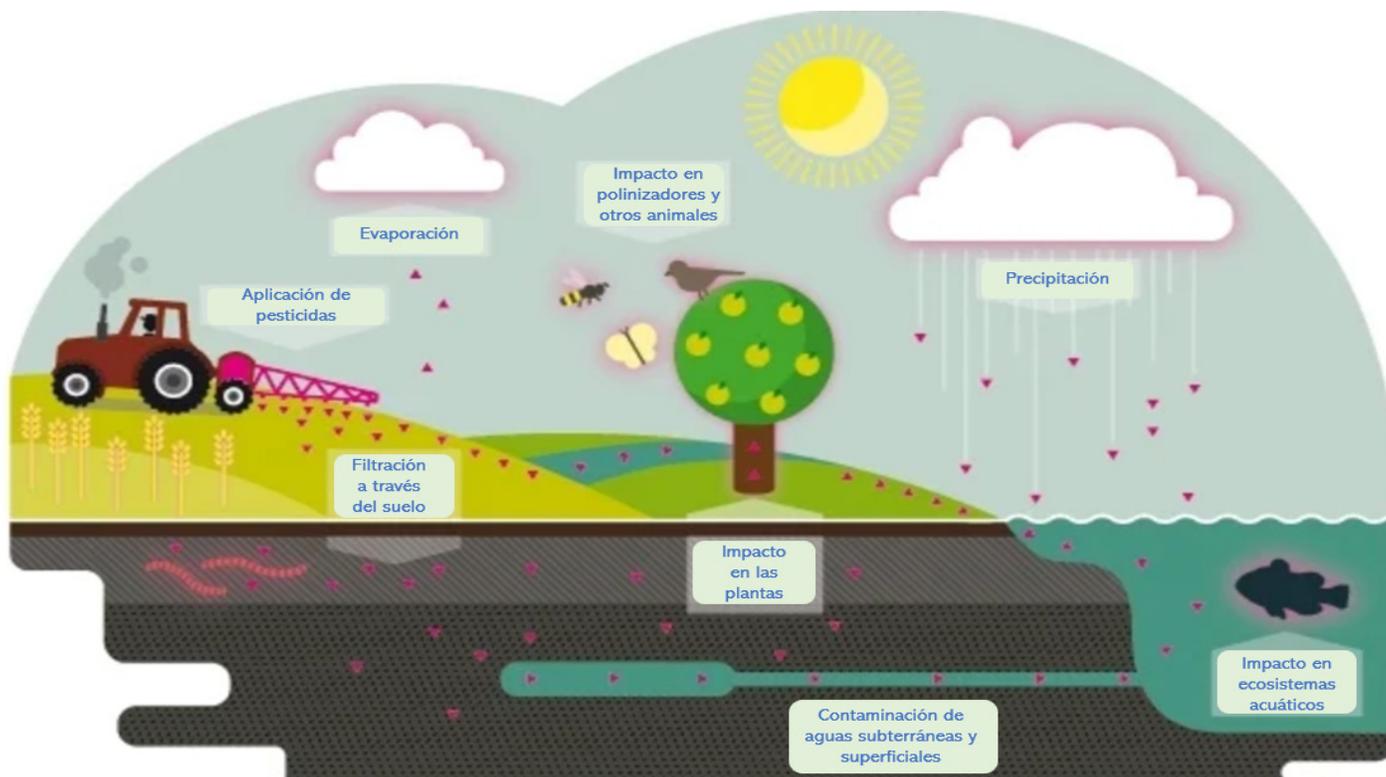


Figura 1. Desplazamiento de los pesticidas en el ambiente.

colas, industriales y domésticas.

Aunque el uso de pesticidas ha aportado numerosos beneficios a la industria agroalimentaria, estos compuestos se consideran contaminantes emergentes debido a que son tóxicos y son difíciles de eliminar de los ecosistemas. Por lo tanto, se acumulan y contaminan principalmente el agua, generando daños en los seres vivos, en el ambiente y en la salud humana. Por consiguiente, en la actualidad es de vital importancia la investigación científica en el desarrollo de tecnologías eficaces y sostenibles para la eliminación de estos contaminantes del agua con el objetivo de proteger la salud pública y preservar el medio ambiente.

Algunos microorganismos tienen la capacidad de degradar ciertos contaminantes, utilizándolos como fuente de alimento y descomponiéndolos en sustancias más simples y menos dañinas. Este proceso no solo contribuye a la recuperación de los ecosistemas, sino que también ofrece soluciones sostenibles para el tratamiento de aguas, como la biorremediación. Este método aprovecha la extraordinaria capacidad de los microorganismos para adaptarse a su entorno y los utiliza para limpiar el medio ambiente de contaminantes.

### **Efectos de los insecticidas en los polinizadores y en la salud humana**

Una clase de pesticidas de particular interés en la comunidad científica son los insecticidas. Aunque estos son de utilidad para eliminar insectos nocivos en la agricultura, también afectan a especies clave como las abejas, mariposas y escarabajos, que desempeñan un papel crucial en la ecología debido a su función como polinizadores esenciales. Los polinizadores desempeñan una función crucial en la reproducción de las plantas, al transferir el polen entre las partes masculinas y femeninas de las flores, facilitando así la fertilización. Este proceso asegura una alta diversidad genética vegetal y permite la producción de alimentos esenciales para las personas, como el aguacate, el chile, el frijol, la calabaza, el jitomate y el agave, entre otros.

El carbaril, en particular, es un insecticida de uso común en México a pesar de que ha sido prohibido desde hace varios años en Europa, Canadá, Estados Unidos y otros países debido a sus efectos nocivos sobre la naturaleza y la salud humana [2]. Este compuesto puede ingresar al organismo de insectos, animales y

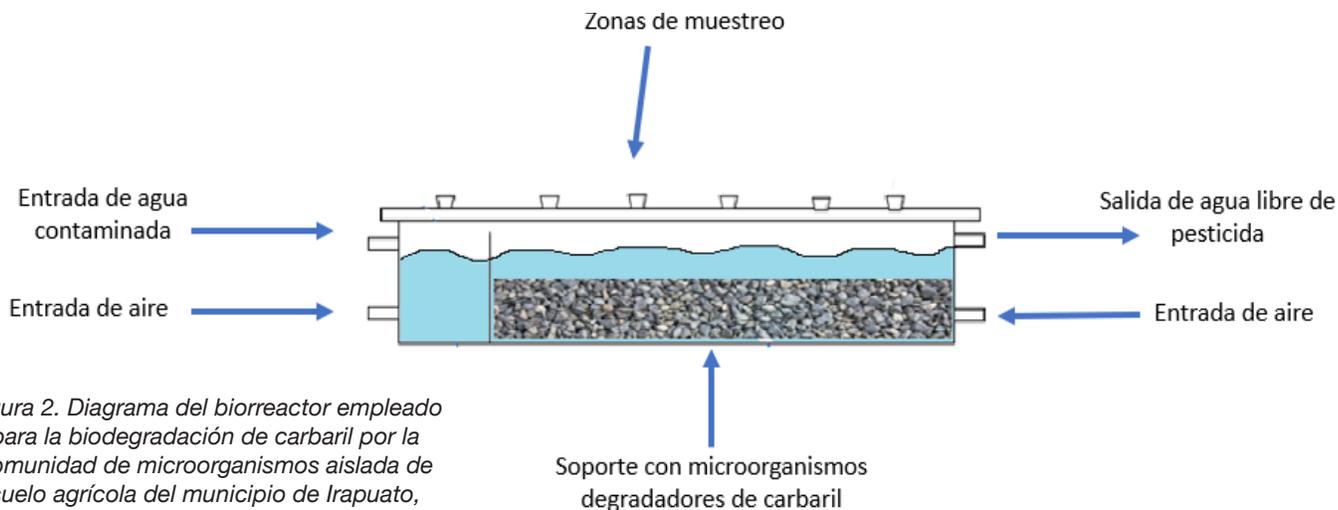


Figura 2. Diagrama del biorreactor empleado para la biodegradación de carbaril por la comunidad de microorganismos aislada de suelo agrícola del municipio de Irapuato, Guanajuato.

humanos por vía cutánea, respiratoria o digestiva, causando toxicidad al alterar el funcionamiento normal de las fibras nerviosas. Además, se asocia con mutaciones genéticas, cáncer, disfunción endócrina, alteraciones reproductivas e incluso la muerte [3]. El principal medio de exposición a este tóxico es el consumo de agua contaminada [4].

### Carbaril en el estado de Guanajuato

Debido a su alta persistencia, el carbaril es detectado frecuentemente en diversos cuerpos de agua alrededor del mundo. En México, se han encontrado cantidades importantes de este pesticida en el agua de la cuenca Lerma-Chapala-Pacífico, la segunda región hidrológica más contaminada del país. Guanajuato, ubicado dentro de esta región hidrológica, destina el 59% de su territorio a actividades agropecuarias, donde el carbaril es ampliamente utilizado como pesticida.

Recientemente se llevó a cabo una investigación en la que se tomaron muestras de suelo agrícola en el municipio de Irapuato, Guanajuato, en donde se practican rotaciones de cultivo de fresa, maíz y cebada, y se utilizan varios pesticidas, incluido el carbaril. Las muestras de suelo se trasladaron a un laboratorio de bioingeniería, donde se aplicaron diversas técnicas para aislar una comunidad de microorganismos capaces de degradar este contaminante [5].

Si bien algunos microorganismos aislados de ambientes naturales pueden degradar contaminantes y contribuir a la remediación

natural, la velocidad con la que se eliminan estas sustancias suele ser muy inferior a la velocidad con la que se vierten en el ambiente, lo que resulta en su acumulación. Una alternativa para la eliminación de pesticidas del agua es el desarrollo de sistemas de remoción dirigida, como los **biorreactores**, que proporcionan las condiciones óptimas para el crecimiento y la concentración adecuada de estos microorganismos, permitiendo así una degradación de contaminantes mucho más eficiente.

### Microorganismos devoradores de carbaril

La comunidad de microorganismos aislados de suelo agrícola del estado de Guanajuato, con capacidad para degradar carbaril, fue inoculada en un biorreactor tubular horizontal de lecho empacado, como se muestra en la Figura 2. Esto significa que se proporcionaron las condiciones adecuadas para la supervivencia y multiplicación de estos microorganismos, permitiendo así la colonización y adherencia a un material de soporte constituido por fragmentos de roca volcánica conocida como tezontle. El tezontle proporciona a la comunidad microbiana un medio protector para la formación de un micro ecosistema que facilita la supervivencia de los microorganismos en un ambiente hostil. Además, este medio presenta canales y poros por donde circulan los nutrientes mientras los microorganismos permanecen inmóviles [6].

Durante la operación del biorreactor, se realizaron varios experimentos en los que se variaron las condiciones de funcionamiento, incluyendo los flujos de aireación y de alimenta-

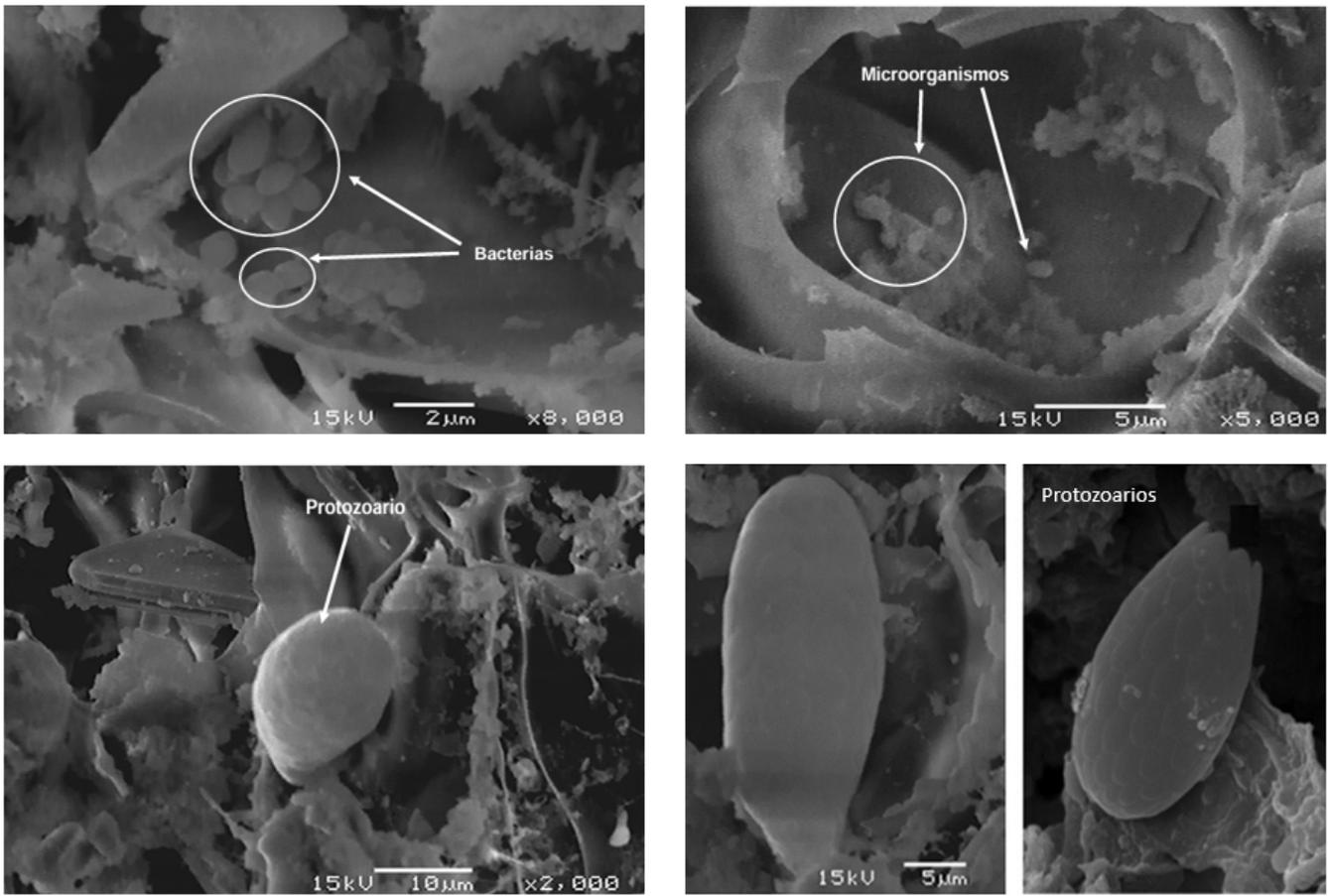


Figura 3. Micrografías de la comunidad microbiana degradadora de carbaril.

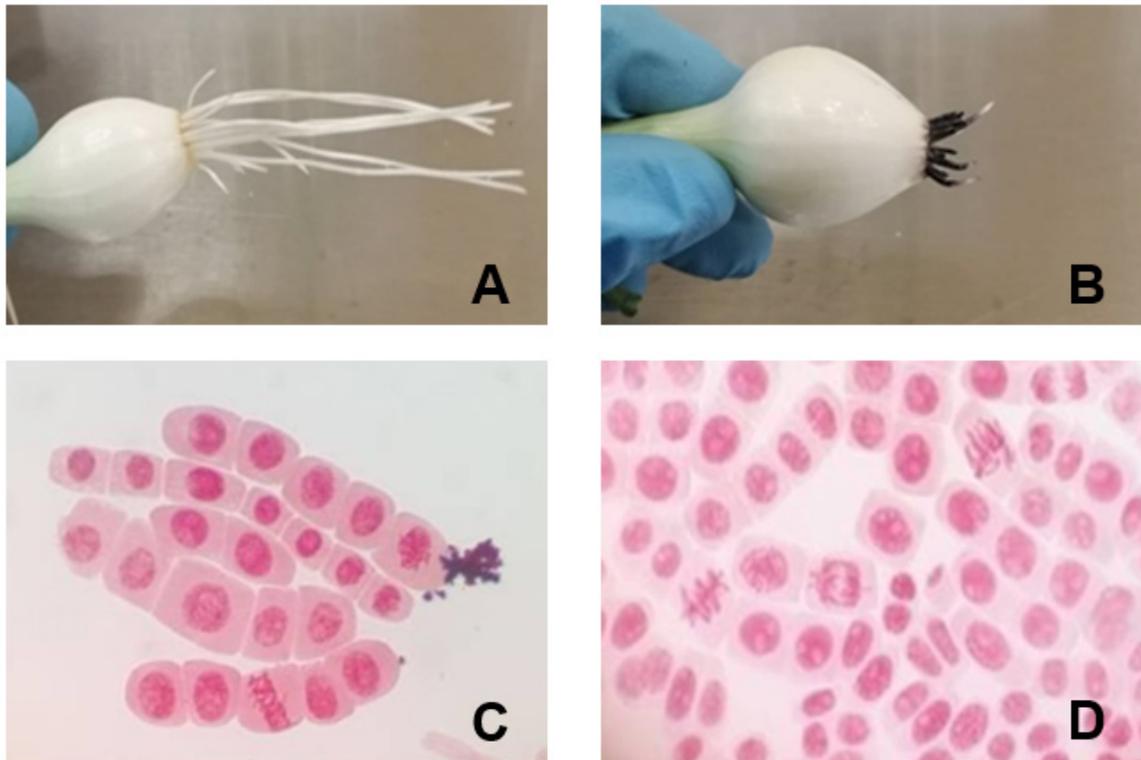


Figura 4. A) Crecimiento de raíces de cebolla expuestas al agua tratada en el biorreactor, B) Raíces de cebolla expuestas al agua contaminada con carbaryl. C) y D) Material genético de células de cebolla en diferentes fases del ciclo celular.

ción de agua contaminada con carbaril. El biorreactor fue monitoreado durante varios meses, y se determinó que la eficiencia de remoción de carbaril fue superior al 99 %. Esta eficiencia se midió utilizando diferentes técnicas, como la espectrofotometría UV-visible, la cromatografía líquida de alta resolución y la demanda química de oxígeno, entre otras.

Posteriormente se procedió a identificar las especies de microorganismos que conforman la comunidad degradadora de carbaril mediante el análisis de su ADN. Lo anterior, permitió la identificación de las bacterias *Stenotrophomonas nitritireducens*, *Delftia acidovorans*, *Achromobacter denitrificans*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Achromobacter xyloxidans*, *Variovorax* sp. y *Microbacterium azadirachtae*.

Para confirmar visualmente la conformación de la comunidad microbiana en el biorreactor, se obtuvieron micrografías de fragmentos del soporte mediante microscopía electrónica de barrido. En la Figura 3 se observan bacterias y protozoarios del género *Euglypha*. Se ha reportado que este género de protozoarios se encuentra comúnmente en plantas de tratamiento de agua.

Finalmente, para verificar la eficacia del proceso de biorremediación, se evaluó la toxicidad del agua antes y después de su tratamiento en el biorreactor. Para ello, se realizó un ensayo de toxicidad, en el que se expusieron las raíces de cebollas al influente contaminado con carbaril y al efluente tratado, midiendo su crecimiento y los posibles daños en el material genético de sus células (Figura 4).

La evaluación del crecimiento de las raíces y las alteraciones cromosómicas en las células de cebolla mostró diferencias significativas entre los tratamientos, confirmando que el carbaril induce efectos tóxicos en las plantas de cebolla. Además, el tratamiento del agua contaminada con carbaril en el biorreactor demostró una alta eficiencia en la reducción de la toxicidad.

## Conclusiones

En este artículo se aborda la capacidad de

ciertos microorganismos para eliminar pesticidas del agua. Este tema es de gran relevancia, ya que estos pequeños seres pueden contribuir a la limpieza de cuerpos de agua contaminados por actividades humanas. A través de la investigación científica, se identificó una comunidad microbiana capaz de degradar eficientemente el pesticida carbaril, a partir de muestras de suelo agrícola del municipio de Irapuato, Guanajuato.

Es fundamental continuar investigando para comprender mejor el papel de los microorganismos en el cuidado y la recuperación del medio ambiente, así como para desarrollar métodos que aprovechen sus capacidades en la eliminación de otros contaminantes peligrosos. Esto permitirá proteger la salud humana y los ecosistemas, además de mejorar la calidad de vida de las personas. **iBIO**

## Referencias

- [1] Rani, L., Thapa, K., Kanojia, N., Sharma, N., Singh, S., Grewal, A., Srivastav, A., Kaushal, J. (2021). An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *Journal of Cleaner Production*, 283. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124657>
- [2] Koshlukova, S., Reed, N.R. (2014) Carbaryl. *Encyclopedia of Toxicology*. Elsevier 668-672.
- [3] Jorsaraei, A., Maliji, G., Azadmehr, A., Moghadamnia, A., Faraji, A. (2014). Immunotoxicity effects of carbaryl *in vivo* and *in vitro*. *Environ Toxicol Chem* 38(3):838-844. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2014.09.004>
- [4] Pérez, H., Aguilar, A., González, L., Bernal, M., González, C., Santos, A., Zavala, J., Durán, A. (2012). *Agricultura y contaminación del agua*. Primera edición. UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas 288 p.
- [5] Acosta-Lopez, M. (2019). *Efecto de la tensión de oxígeno en la biodegradación del insecticida carbaril en una biobarrera permeable*. Tesis de Maestría en Ciencias Químico-biológicas, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, México. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13469.12000>
- [6] Chen C, Wu T, Wang H, Wu S, Tien S (2015). The ability of immobilized bacterial consortia and strains from river biofilms to degrade the carbamate pesticide methomyl. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 12:2857–2866. <https://doi.org/10.1007/s13762-014-0675-z>



Concientificas

# Materiales al rescate: Ciencia para combatir la contaminación del agua

## Materials to the rescue: Science to combat water pollution

### Resumen

El agua es esencial para la vida en nuestro planeta. Sin embargo, la actividad humana ha provocado que grandes cantidades de contaminantes lleguen a los cuerpos de agua dulce en todo el mundo, afectando tanto a las personas como a los ecosistemas. Para enfrentar este problema, los científicos están desarrollando nuevos materiales y tecnologías, como bacterias modificadas para biorremediación, zeolitas para adsorción, y fotocatalizadores como óxidos de hierro para descomponer contaminantes bajo la luz solar. Estos avances buscan mejorar la calidad del agua y hacer los procesos de limpieza más rápidos, eficientes y accesibles para su uso en diversas regiones.

**Palabras clave:** Contaminación del agua, ciencia de materiales, sostenibilidad ambiental.

### Summary

Water is essential for life on our planet. However, human activity has caused large amounts of pollutants to reach freshwater bodies around the world, affecting both people and ecosystems. To combat this problem, scientists are developing new materials and technologies, such as modified bacteria for bioremediation, zeolites for adsorption, and photocatalysts like iron oxides to break down pollutants under sunlight. These advances seek to improve water quality and make cleaning processes faster, more efficient, and accessible for use in various regions.

**Keywords:** Water contamination, materials science, environmental sustainability.

María Fernanda Ramírez Ayala<sup>1\*</sup>  
Brayan Javier Lorenzano Hernández<sup>2</sup>  
Azdrubal Lobo Guerrero Serrano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo,  
Hidalgo, México.

<sup>2</sup>Departamento de Nanociencias y Nanotecnología,  
CINVESTAV, CDMX, México.

\*Autor para la correspondencia:  
mariafernandara@outlook.es

### Introducción

Imagínate un mundo sin agua limpia. Aunque parezca una película de ciencia ficción, esta es la realidad para millones de personas que viven hoy sin agua. Según datos de la Organización Mundial de la Salud, en 2022, al menos de 1,700 millones de personas consumían agua de fuentes contaminadas con heces. En México, el acceso al agua potable sigue siendo un reto importante; de acuerdo con datos de la ONU y UNICEF (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia), solo el 43% de los hogares tienen un suministro de agua gestionado de forma segura, mientras que el 57% no cuenta con un sistema de saneamiento adecuado [1].

La contaminación de ríos, lagos y océanos se ha convertido en una crisis urgente, amenazando no solo nuestra salud, sino también el equilibrio de los ecosistemas que sostienen la vida en el planeta. Un contaminante es cualquier sustancia que altera el equilibrio natural del medio ambiente. Los contaminantes más comunes en el agua incluyen productos químicos, residuos industriales y metales pesados. En muchos lugares, la escasez de agua limpia

ha provocado protestas masivas en demanda de acceso a este recurso básico.

¡Pero no todo está perdido! Los científicos están trabajando para encontrar soluciones ante esta problemática. En laboratorios de ingeniería y tecnología de distintas universidades, estudiantes e investigadores están creando materiales capaces de reducir la cantidad de contaminantes del agua o incluso eliminarlos por completo. Estos materiales están diseñados para ofrecer soluciones innovadoras que permitan limpiar incluso el agua residual, con el objetivo de reutilizarla en distintos sectores, desde la agricultura hasta la industria.

En este artículo exploraremos algunos de los métodos que utilizan nuevos materiales para combatir la contaminación del agua. ¡Prepárate para descubrir como la ciencia de materiales está ayudando a proteger uno de nuestros recursos más valiosos!

### **El desafío que no podemos ignorar**

Nuestras fuentes de agua —ríos, lagos, arroyos y océanos— están enfermando, suena exagerado, ¿verdad? Pero para muchas personas, esta es su realidad diaria. ¿El culpable? La contaminación.

Pero no nos engañemos, todos tenemos algo de responsabilidad en esto. Desde el jabón que usamos para lavar la ropa hasta los productos químicos que utilizan las industrias, todo lo que va por el desagüe tiene que llegar a alguna parte. Y esa “parte” son nuestras fuentes de agua (Figura 1).

Ahora bien, ¿qué

ocurre con el agua después de ser utilizada en nuestros hogares y en las grandes fábricas? Esa agua no desaparece; se convierte en agua residual y necesita ser tratada. Aquí es donde entran en juego las estaciones de depuración ubicadas en muchas de nuestras comunidades. Imagina estas estaciones como grandes fábricas que transforman el agua sucia en un recurso valioso. Estas estaciones aplican procesos físicos, químicos y microbiológicos para eliminar contaminantes. Por ejemplo, el agua sucia se deja reposar para que la tierra y los sólidos se asienten y puedan removerse; luego se agregan químicos como el cloro para eliminar gérmenes y otros contaminantes; después, se usan microorganismos que “comen” los restos de suciedad, y al final, la luz ultravioleta mata cualquier microbio que pueda causar enfermedades [2]. Una vez limpia, esta agua puede ser reutilizada en actividades como la agricultura (ej. riego), procesos industriales (ej. enfriamiento de maquinaria), usos recreativos (ej. fuentes de parques) y en estaciones de bomberos (ej. lucha contra incendios).

Si bien existen tecnologías convenciona-

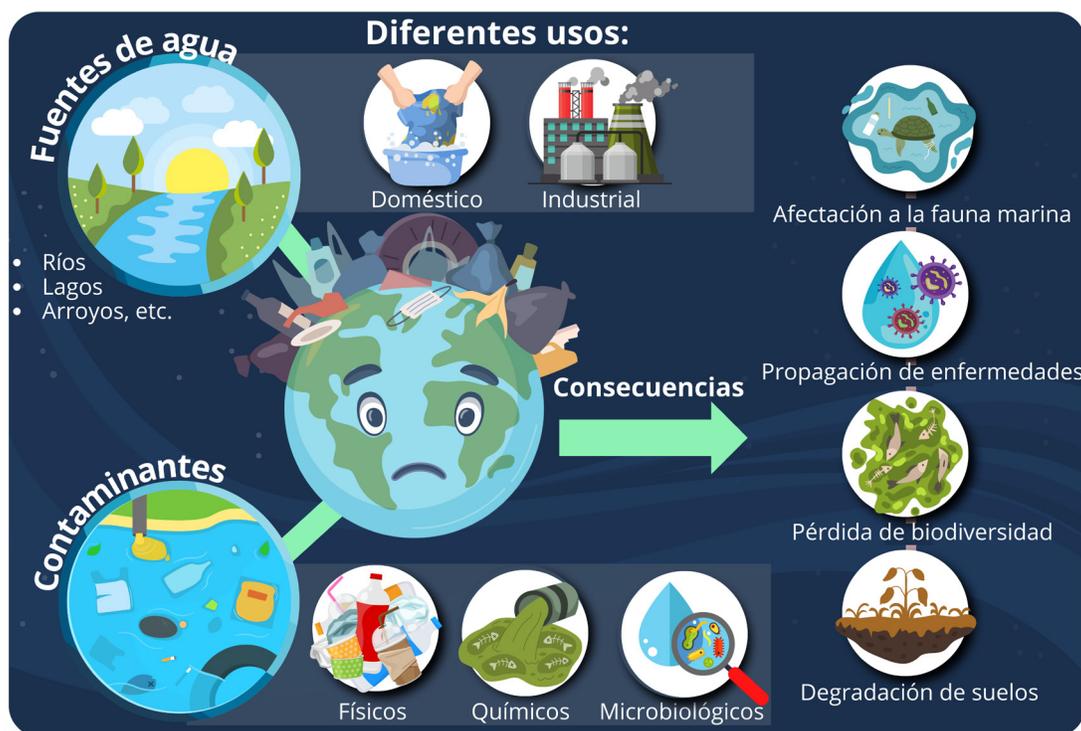


Figura 1. Usos, fuentes y consecuencias de la contaminación del agua [Elaboración propia].

les como la filtración para eliminar los principales contaminantes de tipo físico (ej. bolsas de plástico), también existen procesos químicos como la cloración para desinfectar o eliminar microorganismos perjudiciales (ej. bacterias) y microbiológicos como los biorreactores que ayudan a degradar contaminantes orgánicos (ej. aceites). Estos métodos presentan limitaciones en cuanto a su eficiencia, costo y capacidad para eliminar completamente todos los contaminantes (Figura 2) [3].

sustancias inofensivas.

Estas innovaciones incluyen métodos como la biorremediación, electrocoagulación, adsorción, fotocatalisis, electrocatalisis y nanotecnología, que emplean materiales avanzados con propiedades químicas y biológicas específicas. Diseñados para actuar selectivamente, estos métodos ofrecen soluciones innovadoras y efectivas en el tratamiento de aguas residuales.

### 1. Biorremediación: Microhéroes de la limpieza

¿Alguna vez has pensado que la solución a la contaminación del agua podría estar en seres tan pequeños que ni siquiera podemos verlos? ¡Pues así es! Imagina tener un ejército de pequeños microorganismos, tan diminutos que solo miden entre 0.2 a 10 micrómetros, trabajando en conjunto para limpiar el agua.

Gracias al estudio en ciencia de materiales, se han desarrollado sistemas biológicos a partir de materiales funcionales

como nanopartículas de óxido de hierro ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) u óxido de zinc ( $\text{ZnO}$ ), que optimizan el uso de microorganismos específicos, como bacterias (ej. *Pseudomona aeruginosa*), microalgas verdes (ej. *Chlorella vulgaris*), hongos (ej. *Trametes versicolor*) y microorganismos modificados (ej. *Escherichia coli*), los cuales pueden “comer” los contaminantes presentes en el agua. Estos microorganismos transforman sustancias nocivas en inofensivas, como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) [5]. Un ejemplo de aplicación ha sido el uso *Bacillus subtilis* para eliminar metales pesados como plomo, cobre y cadmio en



Figura 2. Diferentes tipos de contaminantes en el agua [Elaboración propia].

Y entonces, ¿qué se está haciendo al respecto? Aquí es donde la ciencia de materiales entra en acción: científicos han desarrollado materiales avanzados capaces de eliminar una amplia variedad de contaminantes, desde tintes textiles hasta pesticidas y productos farmacéuticos en el agua [4]. Estos materiales cuentan con propiedades especiales que les permiten “atrapar” o descomponer los contaminantes mediante diversos métodos de tratamiento. Imagina pequeños imanes que retienen sustancias dañinas o materiales que, al contacto con la luz solar, descomponen contaminantes en

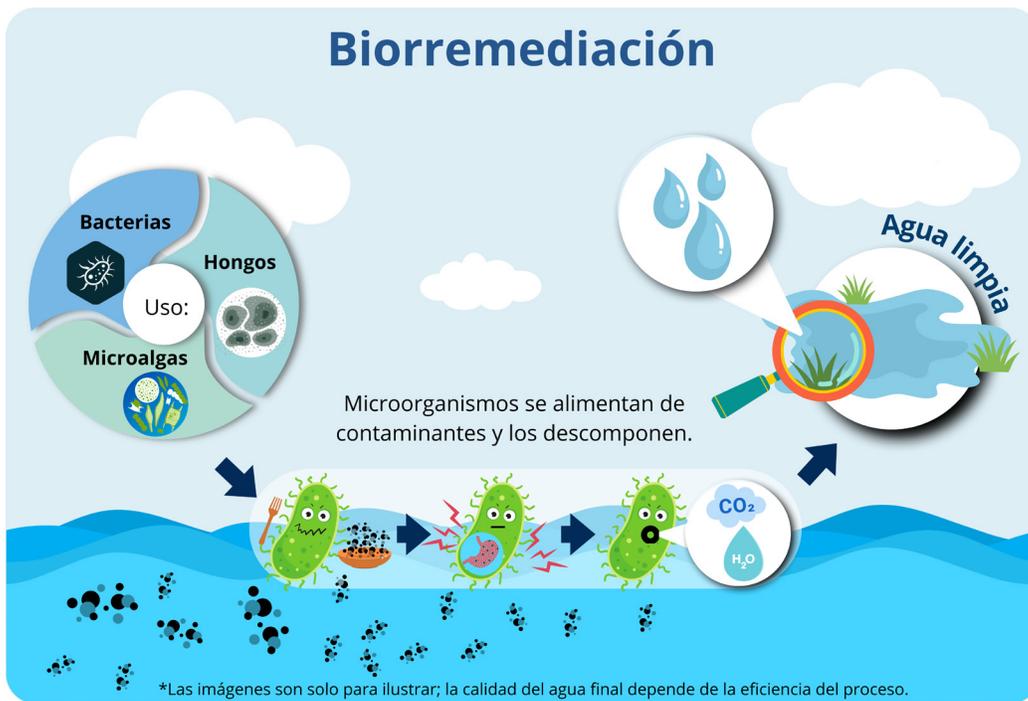


Figura 3. Bacterias, hongos y microalgas que son utilizados en el proceso de biorremediación [Elaboración propia].

muestras de agua de origen industrial [6].

Este proceso es particularmente útil para eliminar compuestos farmacéuticos, metales pesados, colorantes textiles, residuos domésticos y derivados del petróleo (Figura 3). Gracias a estos “materiales biológicos”, la biorremediación se está convirtiendo en una solución prometedora para el tratamiento de aguas contaminadas [7].

## 2. Electrocoagulación: La magia eléctrica que limpia el agua

¿Te has fijado cómo un imán atrae pedacitos de metal? En este método ocurre algo similar, pero en lugar de imanes, se usa electricidad para agrupar los contaminantes y facilitar su eliminación. Se colocan unas varillas en el fondo del agua

(electrodos) hechas de materiales como carbón activado recubiertos con partículas metálicas, materiales cerámicos y polímeros conductores, los cuales hacen pasar electricidad a través de ellos, cuando esto sucede los contaminantes se juntan tanto que forman algo parecido a bolitas de suciedad, lo que se conoce como “flóculos”.

Estos flóculos pueden flotar hacia la superficie o hundirse en el fondo, dependiendo de su densidad, donde pueden ser retirados fácilmente. Este método es útil para

eliminar aceites, grasas, metales pesados y otras partículas como coloides y moléculas orgánicas (Figura 4) [8]. La ciencia de materiales ha optimizado el diseño de estos electrodos, haciendo que la formación de flóculos sea más

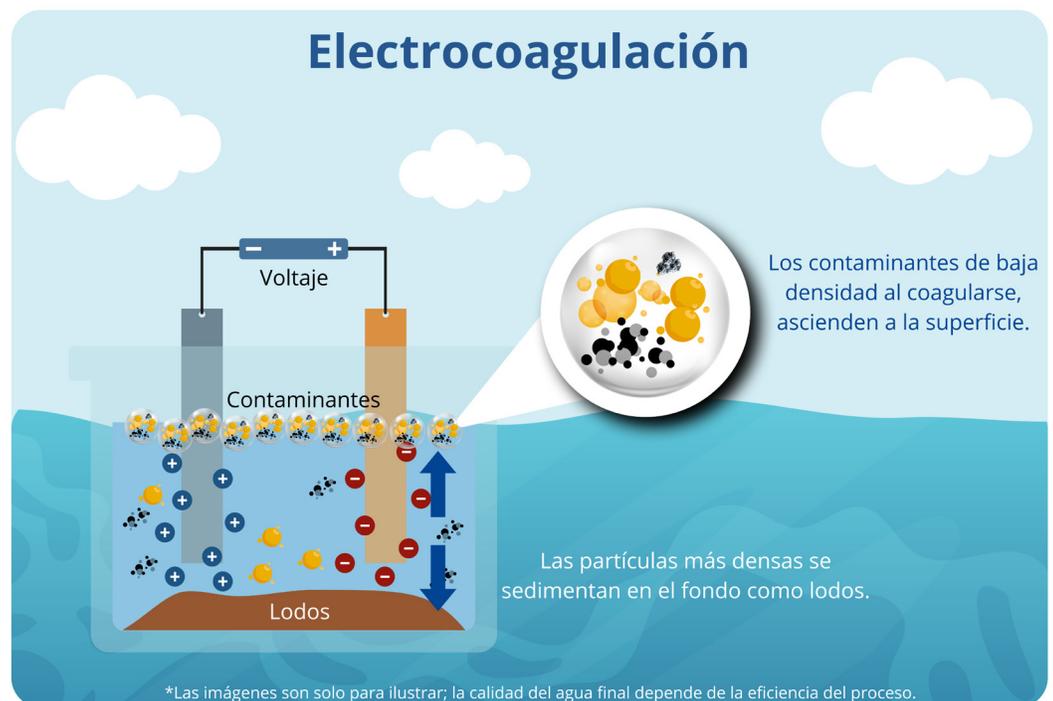


Figura 4. Principio de funcionamiento de la electrocoagulación [Elaboración propia].

rápida y eficiente, mejorando el tratamiento del agua. Por ejemplo, se han empleado electrodos de hierro y aluminio para limpiar agua residual industrial resultante de la producción de café instantáneo, la cual contiene una mezcla de sustancias complejas como polisacáridos, proteínas, melanoidinas, cafeína y ácidos clorogénicos [9].

### 3. Adsorción: Una alternativa prometedora

Imagina materiales que funcionan como esponjas, capaces de “atrapar” contaminantes en su superficie. Este proceso, conocido como adsorción, se basa en el uso de materiales altamente porosos (ej. carbón activado, zeolitas, redes poliméricas y nanopartículas) que capturan contaminantes mediante fuerzas electrostáticas. La ciencia de materiales ha permitido el desarrollo de estos materiales adsorbentes, mejorando su capacidad para retener contaminantes.

Cuando los materiales atrapan toda la suciedad, se retiran del agua, se limpian y pueden usarse otra vez. Este proceso es muy útil para

limpiar el agua de contaminantes como los colorantes que se usan en las fábricas para teñir la ropa que usamos (Figura 5) [10].

### 4. Procesos de Oxidación Avanzada (POA): La fuerza del oxígeno

Los POA son métodos que ayudan a descomponer los contaminantes presentes en el agua en sustancias más simples o menos dañinas, mediante especies químicas oxidantes que “desintegran” los contaminantes ¿Cómo lo hacen? Hay dos formas principales:

- **Fotocatálisis:** Este proceso utiliza materiales llamados “fotocatalizadores”, como dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), óxido de zinc ( $\text{ZnO}$ ), óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), titanato de bario ( $\text{BaTiO}_3$ ) y titanato de estroncio ( $\text{SrTiO}_3$ ), que al captar luz ultravioleta (UV) o visible (Vis), activan una serie de reacciones químicas que descomponen contaminantes, incluyendo colorantes industriales como azul de metileno, rojo Congo o rodamina B; metales pesados como arsénico, cromo, cadmio o plomo; y microorganismos dañinos, como bacterias (Figura 6) [11].

- **Electrocatalisis:** Similar a la fotocatalisis, pero en lugar de luz, se utilizan corrientes eléctricas que pasan a través de varillas (electrodos) recubiertas con un material catalizador (ej. óxidos metálicos o metales nobles), sumergidos en el agua contaminada. Estos materiales provocan reacciones electroquímicas rápidas que convierten los contaminantes en sustancias menos dañinas, siendo útiles para tratar agua contaminada de origen industrial



Figura 5. Adsorción de contaminantes en la superficie de materiales altamente porosos [Elaboración propia].

## Fotocatálisis

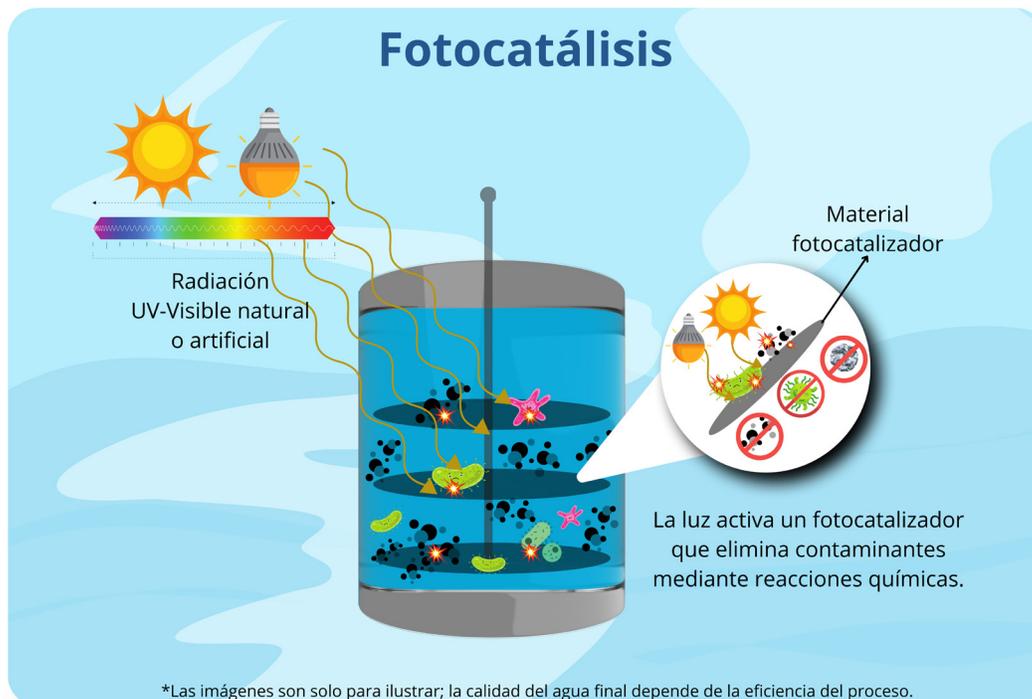


Figura 6. Fotocatálisis como alternativa para la descontaminación de agua residual [Elaboración propia].

y agrícola. Un ejemplo es la eliminación de sulfonamida, un antibiótico utilizado contra infecciones bacterianas (Figura 7) [12].

### 5. ¿Y la nanotecnología? ¿Nano qué?

La nanotecnología permite el uso de materiales increíblemente pequeños, llamados nanomateriales, que tienen propiedades extraordinarias gracias a su diminuto tamaño. Estos nanomateriales pueden ser aplicados en diversos procesos de tratamiento de agua, mejorando significativamente la eliminación de contaminantes. Gracias a esta tecnología, se han desarrollado nanofiltros, nanomembranas y otras soluciones que permiten eliminar los contaminantes más pequeños del agua, mejorando la eficiencia del proceso de

tratamiento [13].

### Conclusión

La ciencia de materiales nos ha proporcionado herramientas poderosas para combatir la contaminación del agua. Ahora es nuestro deber como sociedad aprovechar al máximo estas innovaciones. Debemos fomentar la investigación, invertir en tecnologías de tratamiento de agua y promover políticas que incentiven el uso responsable de este recurso.

Cada uno de nosotros puede contribuir a este esfuerzo, desde reducir nuestro consumo de agua potable en actividades diarias hasta apoyar iniciativas que promuevan la conservación y la reutilización en sectores clave, como la agricultura, industria y el uso doméstico. **iBIO**

La corriente activa un catalizador en los electrodos que acelera la eliminación de contaminantes.

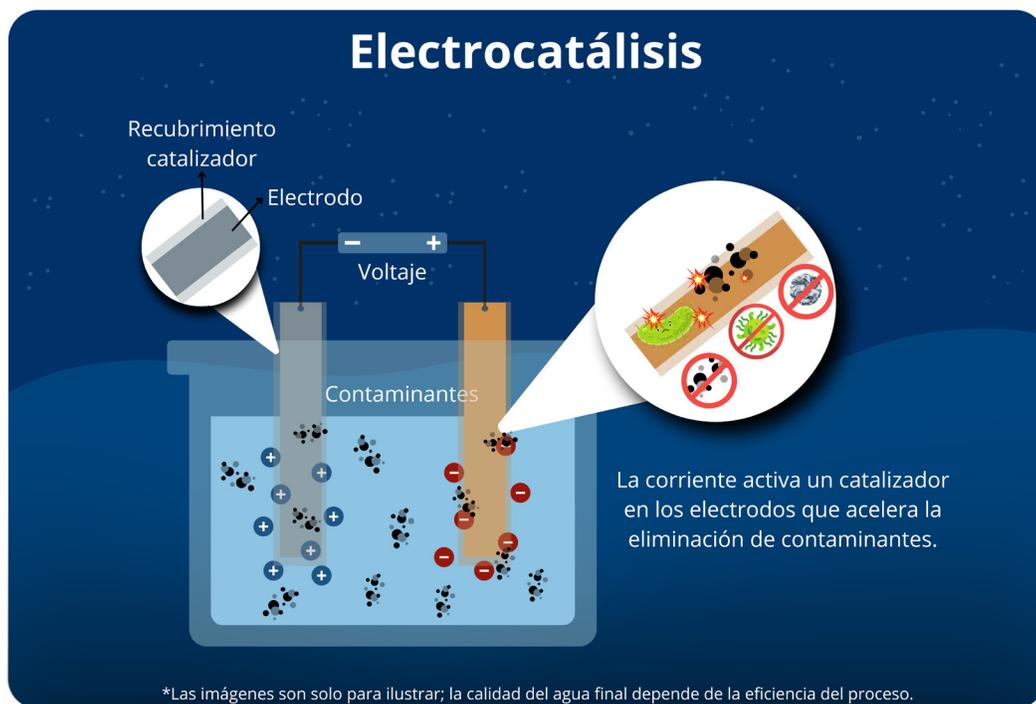


Figura 7. Electrocatálisis, una alternativa novedosa para descontaminar agua residual [Elaboración propia].

## Referencias

- [1] WHO (2023). *Agua para consumo humano*. Disponible desde: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>. Consultado: 3 de noviembre, 2024.
- [2] Tarpani, R. R. Z., & Azapagic, A. (2023). Life cycle sustainability Assessment of advanced treatment techniques for urban wastewater reuse and sewage sludge resource recovery. *Science of The Total Environment*, 869(1), 161771. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161771>
- [3] Ahmed, S. F., Mofijur, M., Nuzhat, S., Chowdhury, A. T., Rafa, N., Uddin, M. A., Inayat, A., Mahlia, T. M. I., Ong, H. C., Chia, W. Y., & Show, P. L. (2021). Recent developments in physical, biological, chemical and hybrid treatment techniques for removing emerging contaminants from wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 416(1), 125912. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125912>
- [4] Ajith, M. P., Rajamani P. (2021). Nanotechnology for water purification – current trends and challenges. *Journal of Nanotechnology and Nanomaterials*, 2(2), 88-91. <https://doi.org/10.33696/nanotechnol.2.025>
- [5] Zhang, Y., Hong, Y., & Wang, X. (2023). Recent Advances on Using Functional Materials to Increase the Pollutant Removal Capabilities of Microalgae and Bacteria: Especially for Their Symbiotic Systems. *Current Pollution Reports*, 9(2), 272-291. <https://doi.org/10.1007/s40726-023-00259-6>
- [6] Rocco, D. H. E., Freire, B. M., Oliveira, T. J., Alves, P. L. M., de Oliveira Júnior, J. M., Batista, B. L., Grotto, D., & Jozala, A. F. (2024). *Bacillus subtilis* as an effective tool for bioremediation of lead, copper and cadmium in water. *Discover Applied Sciences*, 6(8), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s42452-024-06101-y>
- [7] Yaashikaa, P. R., Palanivelu, J., & Hemavathy, R. V. (2024). Sustainable approaches for removing toxic heavy metal from contaminated water: A comprehensive review of bioremediation and biosorption techniques. *Chemosphere*, 357(1), 141933. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141933>
- [8] Graça, N. S., Ribeiro, A. M., & Rodrigues, A. E. (2019). Modeling the electrocoagulation process for the treatment of contaminated water. *Chemical Engineering Science*, 197(1), 379-385. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2018.12.038>
- [9] Dobrosz-Gómez, I., Ibarra-Taquez, H. N., & Gómez-García, M. Á. (2024). Evaluation of the environmental and economic scope of an electrocoagulation process for the treatment of wastewater from the instant coffee industry. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 1(1), 1-23. <https://doi.org/10.1007/s10008-024-05940-4>
- [10] Zhang, P., He, M., Teng, W., Li, F., Guo, X., Li, K., & Wang, H. (2023). Ordered mesoporous materials for water pollution treatment: adsorption and catalysis. *Green Energy & Environment*, 9(8), 1239-1256. <https://doi.org/10.1016/j.gee.2023.11.001>
- [11] Mishra, S., & Sundaram, B. (2023). A review of the photocatalysis process used for wastewater treatment. *Materials Today: Proceedings*, 1(1), 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.147>
- [12] Masaud, Z., Liu, G., Roseng, L. E., & Wang, K. (2023). Progress on pulsed electrocatalysis for sustainable energy and environmental applications. *Chemical Engineering Journal*, 475 (1), 145882. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.145882>
- [13] Xie, Y., Hu, J., Esmaeili, H., Wang, D., & Zhou, Y. (2022). A Review Study on Wastewater Decontamination using Nanotechnology: Performance, mechanism and Environmental Impacts. *Powder Technology*, 412(1), 118023. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.118023>

# Concientifica



# Filosofía y astrobiología: En búsqueda de la receta de la vida

*Philosophy and astrobiology: In search of the recipe for life*

Octavio González-Luna

Centro de Investigación en Recursos Energéticos y  
Sustentables, Universidad Veracruzana, Coatzacoalcos,  
Veracruz, México.

Centro Universitario Bonpland & Humboldt,  
Cuernavaca, Morelos, México.

Autor para la correspondencia:  
ocgonzalez@uv.mx

## Resumen

Este trabajo de reflexión presenta los retos a los que la ciencia se ha enfrentado al momento de definir el objeto de estudio de la biología: la vida, describiendo las características esenciales para definirla tal como la conocemos y las implicaciones de encontrar otras formas de vida en el universo.

**Palabras clave:** Vida, astrobiología, filosofía de la biología.

## Summary

This reflective analysis presents the challenges science has faced in defining the object of study of biology: life. It describes the essential characteristics needed to define life as we know it and explores the implications of discovering other forms of life in the universe.

**Keywords:** Life, astrobiology, philosophy of biology.

**P**ocas veces los seres humanos nos detenemos a reflexionar acerca de nuestra condición en el universo. Es conocido por todos que hemos desarrollado una gran maestría en la búsqueda de respuestas para todas nuestras dudas, eso nos ha llevado al desarrollo de la ciencia y a dar por hecho que somos capaces de comprender cómo funciona nuestra realidad.

Sin embargo, uno de los conceptos que resulta más conflictivo para el entender huma-

no es la vida. Claro ejemplo de ello es la existencia de organismos en el borde de lo que consideramos vida, como los son los virus.

Bunge [1] destaca que el concepto de organismo se encuentra en la intersección de las ciencias de la vida con la filosofía y que, ni el biólogo carente de sensibilidad filosófica, ni el filósofo indiferente a la ciencia, nos dicen con precisión qué es un ser vivo. De esta forma, es pertinente preguntarnos si la vida como la conocemos y la definimos es la única forma de vida posible. Si aquellos entes que no cumplan todas las características pueden denominarse seres vivos.

La importancia radica en la posibilidad de que exista vida fuera del planeta Tierra. Pues, hasta ahora, debido a que únicamente conocemos la vida de la manera en la que existe dentro de él, estamos epistemológicamente limitados a percibirla e identificarla solo de esa manera.

Empero, esta gran fascinación por el conocimiento y todos los descubrimientos que el ser humano ha realizado hasta ahora, nos han mostrado que el universo se comporta de manera invariable, siguiendo propiedades físicas fundamentales, posibles de describir con las

herramientas matemáticas que hemos desarrollado. Entre estas propiedades se encuentran la masa del electrón, la masa del protón, la masa atómica, la fuerza nuclear fuerte, la fuerza nuclear débil, la velocidad de la luz, la constante cosmológica, la fuerza gravitacional y la masa del universo. Tal que, si alguna de ellas variara solo un poco, el universo como lo conocemos no existiría.

Esto nos ha llevado, a estas alturas, a dar por hecho que somos capaces de comprender, describir y predecir el comportamiento y la estructura del universo sin apreciar la gran fortuna que tenemos por ello y la oportunidad que esto significa para nosotros. Y por esto, es oportuno utilizar los descubrimientos realizados hasta la fecha en torno al tema de la vida, para intentar localizar organismos vivos en otras regiones de nuestro Sistema Solar, Galaxia y/o Universo. Siendo quizá este descubrimiento el que nos permita dilucidar la definición más adecuada y las características esenciales de la vida.

Sabemos que existen límites para la existencia de vida que están basados en las propiedades físicas de los componentes que forman a los organismos [2]. Sin embargo, ninguna de las propiedades básicas de los seres vivos es, por sí misma, típicamente biológica. Todas ellas se explican en términos puramente físicos o químicos. En general: dada una propiedad básica de cualquier ser vivo, es casi seguro que existe o puede fabricarse un sistema que la exhibe [1].

Hasta ahora, sabemos que las condiciones necesarias para que la vida que conocemos exista son numerosas y varían según la escala en la que las analicemos.

A escala planetaria, se necesita un planeta rocoso, es decir, con abundantes elementos pesados como carbono (esencial para la vida orgánica), nitrógeno, oxígeno, magnesio, silicio, titanio, hierro, etc., con una atmósfera gaseosa gruesa para asegurar un clima templado, protección de la radiación electromagnética espacial que permita el paso de la luz visible (esencial para los procesos biológicos) y con

la cantidad adecuada de oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono necesarios para la presencia de agua líquida (que permite disolver y transformar nutrientes químicos, así como absorber grandes cantidades de calor) y la formación de vida compleja.

En su estructura interna, el planeta requiere tener un núcleo con la temperatura lo suficientemente alta para que circule el hierro líquido, originando un campo magnético que proteja a su atmósfera del viento estelar. Así como una corteza fragmentada con actividad tectónica que permita la formación de continentes y la actividad volcánica, para que de esta forma se distribuyan los minerales y nutrientes esenciales para la vida. Además de las características mencionadas, también es necesario que el planeta cuente con un tamaño y masa adecuados para que la atracción gravitacional no sea excesiva y para que el campo magnético sea lo suficientemente fuerte.

La habitabilidad de un planeta no solo depende de sus características internas, sino también de factores que se presentan a mayor escala. Lo primero que encontramos es la necesidad de un satélite grande que orbite al planeta que ejerza una atracción gravitacional adecuada, ayudando a estabilizar su eje de rotación, permitiendo así una rotación moderada que dé lugar a cambios estacionales, regulando el clima y ayudando a circular el agua de los océanos. Otra ventaja para que un planeta albergue vida es contar con planetas gaseosos gigantes en su sistema planetario que la protejan de impactos de cometas, asteroides y rocas espaciales.

En este punto podemos abordar la Zona Habitable Planetaria o Circunestelar (Figura 1), que está determinada principalmente por la ubicación del planeta en torno a su estrella, que le permita tener agua líquida en su superficie. Para ello, es necesario que el planeta presente una órbita casi circular alrededor de su estrella.

Pero la estrella también debe cumplir varias características: debe tratarse de una estre-

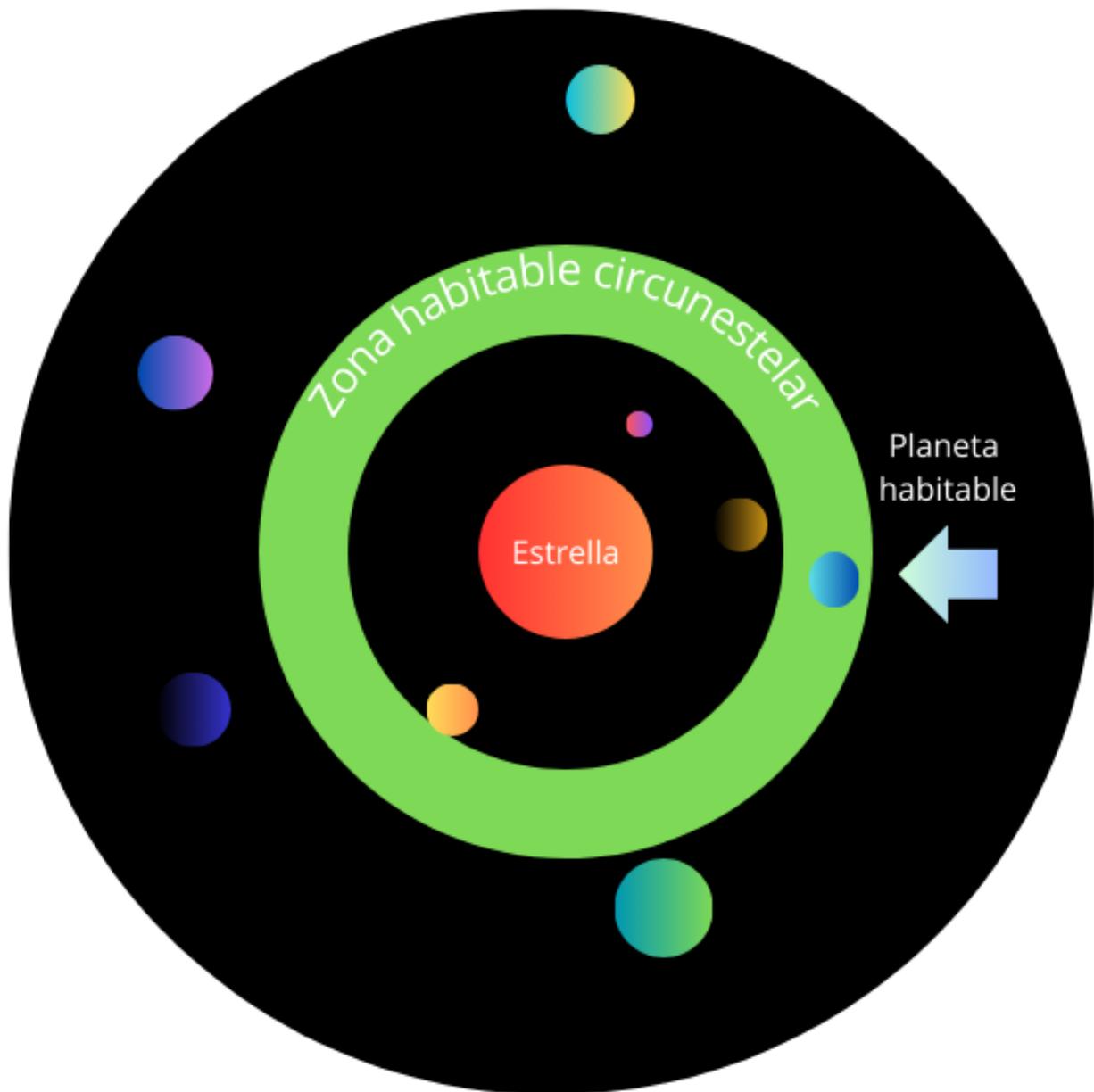


Figura 1. Zona habitable circunestelar.

lla de baja masa, que queme hidrógeno en su núcleo de manera estable con una temperatura superficial moderada (entre 5,300 y 6,000 K) [4]. Si el planeta es demasiado pequeño, la zona habitable debería estar muy cerca de la estrella, para poder recibir la cantidad necesaria de luz visible y calor, esta cercanía podría ocasionar que su fuerza gravitacional modificara la rotación del planeta para sincronizarlo con su órbita, generando así un lado constantemente irradiado y otro lado oscuro congelado.

En cambio, si el planeta es demasiado grande, la zona habitable estaría demasiado alejada de la estrella. Y si la estrella no estu-

viera en su secuencia principal, esto implicaría que no lograría el equilibrio hidrostático, por lo que variaría continuamente su tamaño, modificando así la zona habitable.

De encontrarse la estrella muy cerca del centro galáctico, estaría en una zona con una alta densidad estelar y por ende con una mayor cantidad de supernovas, colisiones de estrellas de neutrones y la cercanía de un probable agujero negro supermasivo; siendo todos estos, peligros fatales para la vida, principalmente por su radiación emitida.

Por otra parte, si la estrella se encuentra

cerca del borde galáctico, la cantidad de elementos pesados sería insuficiente para la formación de planetas rocosos. Es por ello por lo que la estrella debe ubicarse en una zona media alrededor del núcleo galáctico.

Pero no basta con eso, pues debe evitar los brazos espirales en donde hay numerosas nubes moleculares gigantes y alta densidad de polvo, así como avalanchas de cometas y asteroides que podrían impactar al planeta.

Un requisito para la habitabilidad que podría sorprender es el tiempo pues, las primeras estrellas únicamente contenían hidrógeno y helio y, durante su vida (curioso concepto), sintetizaron elementos más pesados como el carbono, oxígeno, nitrógeno y silicio. Al morir (algunas de forma violenta), arrojaron estos elementos al medio interestelar, los cuales fueron incorporados por estrellas nacientes que, a su vez, sintetizaron más elementos pesados. Lo cual significa que las estrellas con los elementos necesarios para la vida como la conocemos, deben ser estrellas de pocos millones de años de formación.

Esto podría significar que las formas de vida (y, sobre todo, las formas de vida compleja) son relativamente recientes en el universo y, considerando la cantidad de condiciones necesarias, podría decirse que quizá también es escasa actualmente, pues la vida compleja e inteligente requiere otros factores específicos como la adaptación, la diferenciación celular, la especialización, la evolución; las cuales no implican progreso ni un aumento en la complejidad del sistema, sino únicamente una ventaja para el organismo, que puede heredarse.

No obstante, es importante destacar que estamos determinando las condiciones necesarias para nuestra vida, condiciones que se cumplieron específicamente para nosotros, lo cual vuelve a estas condiciones demasiado particulares, llegando a eventos tan específicos como la explosión cámbrica, evento en el que surgió una gran diversidad de especies en un tiempo geológicamente corto [5]. Tal como

menciona Catling [3], el descubrimiento de vida extraterrestre tendría un significado muy profundo no solo para identificar las características esenciales de los seres vivos, sino también para vislumbrar cómo se originó la vida.

Es importante delimitar cuál es el objeto de búsqueda de la astrobiología, ¿se busca vida inteligente?, ¿se busca vida como la conocemos?, ¿seremos capaces de reconocer otras formas de vida existentes? Todo recae en la correcta identificación de las características esenciales y accidentales de la vida.

Podría ser que algunas características que hoy consideramos esenciales para la vida resulten ser solamente accidentales; o bien, podríamos necesitar la generación de un nuevo concepto que englobe esas otras formas de inteligencia que no se originan a partir de nuestras condiciones necesarias para la vida.

Mientras no conozcamos otras formas de vida con las cuales comparar, no podremos definir de otra manera la nuestra. Estamos limitados conceptualmente por lo desconocido, pero al mismo tiempo, la esperanza por conocerlo nos motiva a seguir investigando y nos acerca más su descubrimiento. **iBIO**

## Referencias

- [1] Bunge, M. (2015). *Epistemología*. Siglo Veintiuno.
- [2] Grady, M. M. (2001). *Astrobiology*. Smithsonian Institution Press.
- [3] Catling, D. C. (2013). *Astrobiology: A Very Short Introduction*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/actrade/9780199586455.001.0001>
- [4] Vardavas, I., & Taylor, F. (2011). *Radiation and climate: Atmospheric energy budget from satellite remote sensing*. OUP Oxford.

# Concientifica



# Empaques hechos de hongos: Una alternativa ecológica al poliestireno

*Mushroom-Based Packaging: An eco-friendly alternative to polystyrene*

## Resumen

Los empaques a base de hongos son una alternativa sostenible a los plásticos convencionales, como el poliestireno. Se producen combinando residuos agrícolas o forestales con hongos, lo que resulta en materiales biodegradables y de bajo impacto ambiental. Este proceso reduce las emisiones contaminantes y promueve la reutilización de desechos. Estos empaques destacan por su ligereza, resistencia y rápida degradación, siendo ideales para empresas que buscan prácticas más responsables. Aunque enfrentan desafíos como los costos de producción y producción en masa, su potencial para reemplazar empaques no renovables es significativo en un contexto de creciente interés por soluciones ecológicas a los plásticos.

*Palabras clave: Micelio, empaques, biodegradable.*

## Summary

Mushroom-based packaging is a sustainable alternative to conventional plastics, such as polystyrene. These materials are produced by combining agricultural or forestry residues with fungi, resulting in biodegradable and environmentally low-impact products. This process reduces pollutant emissions and promotes the reuse of waste. The packing solutions are notable for their light weight, durability, and rapid decomposition, making them ideal for companies seeking more responsible practices. Although they face challenges such as production costs and mass manufacturing, their potential to replace non-renewable packaging is significant in the context of growing interest in eco-friendly solutions to plastics.

*Keywords: Mycelium, packaging, biodegradable.*

Aldo Gutiérrez-Chávez  
Jared Hernández-Huerta\*

Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad  
Autónoma de Chihuahua, Chihuahua,  
México.

\*Autor para la correspondencia:  
jahuerta@uach.mx

La contaminación por plásticos es un problema ambiental significativo, con millones de toneladas de residuos plásticos que se acumulan cada año y cuya degradación en el ambiente puede tardar siglos. Por ejemplo, los empaques de poliestireno expandido, comúnmente conocido como unicel, son ampliamente utilizados en la industria de alimentos, logística y comercio debido a su ligereza, bajo costo y capacidad aislante. Sin embargo, su baja degradabilidad genera acumulaciones en los ecosistemas, afectando la biodiversidad y ocasionando problemas de contaminación [1]. En este contexto, se ha impulsado la búsqueda de alternativas ecológicas que reduzcan el uso de este tipo de materiales. Entre las soluciones que están tomando relevancia, destacan los empaques elaborados a base de hongos, los cuales son una opción innovadora y ecológica.

Estos envases son elaborados mediante el crecimiento controlado de hongos comestibles sobre residuos agrícolas o forestales. Este proceso permite moldear los hongos y los residuos en formas específicas, creando empaques sostenibles de bajo impacto ambiental ya que son biodegradables. Además, de acuerdo con la empresa Ecovative dedicada a la producción de materiales biodegradables, la pro-



Figura 1. Propiedades de empaques elaborados a base de hongos y residuos orgánicos. Basado en Aiduang et al. [5].

ducción de empaques a base de hongos requiere tan solo 12% de energía y genera hasta 90% menos emisiones de bióxido de carbono en comparación con los procesos industriales necesarios para la fabricación de los plásticos [2]. El uso de empaques a base de hongos no solo responde a la necesidad de disminuir la contaminación ambiental, sino que también contribuye a fortalecer prácticas sostenibles hacia la reducción de residuos plásticos. Esto permite, además aprovechar desechos agrícolas y forestales que de otro modo se desperdiciarían o se subutilizarían.

El presente trabajo analiza el proceso de producción de este tipo de empaques, sus ventajas y desafíos como alternativa al poliestireno, destacando su potencial para reducir la huella ecológica de los empaques tradicionales y contribuir a la sostenibilidad.

### Desarrollo de empaques a base de hongos

Los empaques a base de hongos se elaboran principalmente utilizando especies de hongos medicinales y comestibles como el reishi (*Ganoderma lucidum*) y el hongo seta (*Pleurotus ostreatus*). Estos hongos son especies clave en la producción de este tipo de empaques, debido a su seguridad para el ser humano y sus múltiples aplicaciones. Estos hongos no solo son biodegradables, sino también versátiles. Por ejemplo, el hongo reishi, es reconocido por sus propiedades medicinales, se emplea en forma de extractos y suplementos para fortalecer el sistema inmunológico [3]. Aunque no es comestible en su forma natural, su estructura rígida y ligera es ideal para fabricar empaques biodegradables. En el caso del hongo seta, es ampliamente utilizado como alimento gracias a su alto contenido nutricional, además se ser fácil de cultivar y adaptable a diversos sustratos [4].

Ambos hongos se han seleccionados por su capacidad de producir filamentos llamados hifas, los cuales forman una estructura conocida como micelio al crecer sobre un sustrato. El micelio del reishi y del hongo seta destaca por su rápido crecimiento y su capacidad para colonizar materiales como el aserrín, paja o cáscaras de cultivos. El micelio no solo proporciona cohesión al empaque, sino que también permite darle formas personalizadas al cultivarlo en moldes o bandejas con la forma deseada. Los empaques resultantes son ligeros, resistentes y sostenibles, características que los hacen ideales para empaquetar una amplia

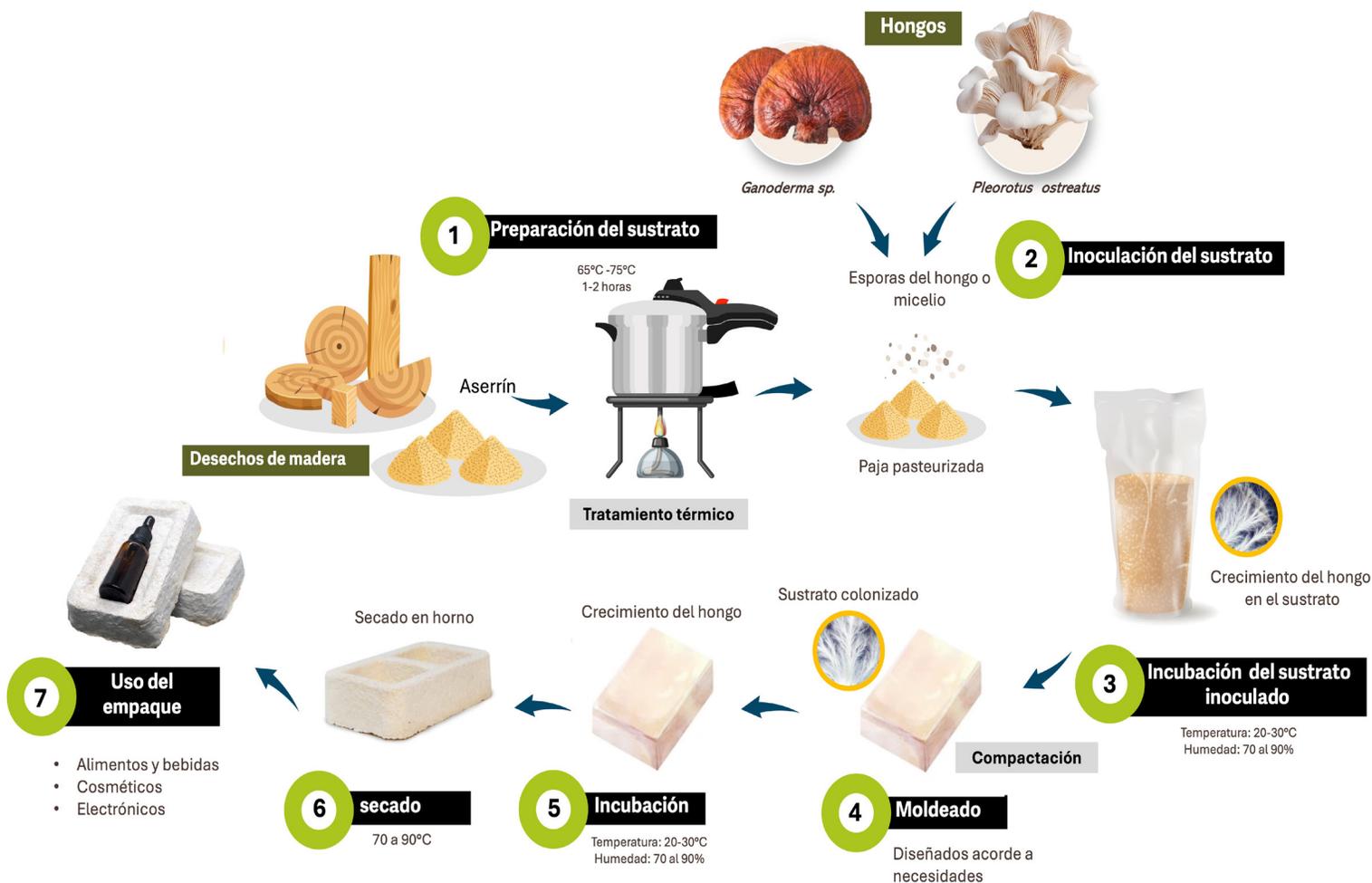


Figura 2. Proceso de producción de empaques a base de hongos.

variedad de productos [5] (Figura 1).

La producción de empaques a base de hongos como alternativa ecológica al poliestireno, se desarrolla mediante un proceso organizado en varias etapas [6] (Figura 2):

1. El proceso inicia con la **preparación del sustrato**, donde se utilizan residuos agrícolas o forestales, como cáscaras de cereales, restos de cultivos o aserrín. Estos materiales son seleccionados cuidadosamente por su capacidad para servir como fuente de nutrientes para el crecimiento de los hongos. Una vez recolectados, los residuos se limpian, retirando partículas no deseadas y posteriormente se les aplica un tratamiento térmico, lo cual consiste en calentar el sustrato con agua a una temperatura de 65 a 75°C, durante 1-2 horas. Este paso es fundamental para reducir la presencia de microorganismos contaminantes que puedan interferir con el crecimiento y la colonización

del hongo. Además, el tratamiento térmico conserva los nutrientes del sustrato y no los degrada como otros métodos de esterilización.

2. **Inoculación del sustrato**, consiste en la incorporación del hongo en el sustrato preparado previamente. En este paso se utilizan esporas o fragmentos de micelio del hongo seleccionado. El material biológico se mezcla de manera uniforme con el sustrato, realizando el proceso en condiciones controladas de higiene, evitando la introducción de contaminantes externos que puedan competir con el hongo. La mezcla inoculada se coloca en bolsas de plástico donde el hongo comienza a colonizar el sustrato.

3. **Incubación en condiciones controladas** de temperatura y humedad, esta etapa es clave para garantizar el desarrollo óptimo del hongo en todo el sustrato y se lleva a cabo en cuartos especiales. Durante

Tabla 1. Características comparativas entre empaques convencionales y hechos a base de hongos [7].

| Aspecto                  | Tipo de empaque  |   |   |                               |
|--------------------------|--|---|---|-------------------------------|
|                          | Compuesto de hongo   | Poliestireno expandido  | Plástico de burbujas                                | Cartón triturado              |
| Material base            | Residuos agrícolas o forestales (celulosa) + micelio del hongo | Poliestireno (derivado del petróleo)                                      | Poliestireno (derivado del petróleo)                | Residuos vegetales (celulosa) |
| Degradabilidad           | 30-60 días   | No biodegradable  | 500-1000 años                                       | 5 años                        |
| Sostenibilidad           | Fuente renovable   | Recurso no renovable  | Recurso no renovable                                | Fuente renovable              |
| Manejo después de su uso | Eliminación rápida por degradación                             | Proceso específico para su eliminación (recolección adecuada de desechos) | Proceso de reciclaje convencional (Reciclaje local) | Reciclaje de desechos locales |
| Retardante del fuego     | Sí   | No  | No  | No                            |
| Resistencia a la humedad | Moderada   | Alta  | Alta  | Baja                          |
| Peso                     | Ligero   | Muy ligero  | Ligero  | Moderado                      |
| Popularidad actual       | Creciente  | Muy alta  | Alta  | Moderada                      |
| Durabilidad              | Moderada   | Alta  | Alta  | Baja                          |

la incubación, la temperatura se mantiene dentro de un rango ideal, de generalmente oscila entre 20 a 30°C, dependiendo de la especie de hongo utilizada. Asimismo, la humedad relativa del ambiente se controla cuidadosamente, manteniéndola entre un 70% y 90%, lo que favorece el crecimiento uniforme y vigoroso del hongo. Para garantizar una oxigenación adecuada, se debe contar con un sistema de ventilación y las bolsas de plástico con la mezcla debe tener agujeros que permita el intercambio gaseoso. El periodo de incubación puede variar entre 5 y 14 días, dependiendo del tipo de hongo y del tamaño o volumen del sustrato.

**4. Modelado del material colonizado**, una fase crucial para darle al empaque su forma final. En este paso, el sustrato ya colonizado se coloca en moldes previamente diseñados según especificaciones del producto final deseado. Los moldes pueden ser de

diversos materiales, como plástico reutilizable, metal o silicona. Una vez en el molde, el material se compacta cuidadosamente, aplicando presión uniforme para garantizar que el micelio se distribuya de manera homogénea en toda la estructura. Este proceso no solo define la forma del empaque, sino que también mejora su densidad y cohesión, características necesarias para lograr un producto resistente y funcional.

**5. Segunda incubación en los moldes**, una vez en los moldes, la mezcla de sustrato y hongo se somete a una segunda fase de incubación, que generalmente se lleva a cabo en cámaras con control estricto de temperatura y humedad. Esta segunda incubación favorece el crecimiento del hongo dentro del molde, permitiendo que el micelio actúe como un aglutinante natural que une firmemente las partículas del sustrato, dando como resultado una estructura sólida y co-

hesiva. La duración de esta etapa puede variar dependiendo de las características del empaque y de las condiciones ambientales, pero puede ser entre 3 a 7 días.

**6. Secado del empaque en horno**, paso crucial para detener el crecimiento del hongo y garantizar la estabilidad del empaque. En esta fase, los empaques ya moldeados se colocan en hornos a temperaturas entre 70 y 90°C, con la finalidad de inactivar las células del hongo sin comprometer la integridad del empaque. Durante el secado se elimina la humedad residual presente en el empaque, ya que la retención del agua podría favorecer la actividad de otros microorganismos como el moho. La duración del secado depende del grosor y tamaño de empaque, pero puede durar entre 4 y 12 horas.

Este proceso ha permitido el desarrollo de productos moldeables en diversas formas, utilizados principalmente en empaques para alimentos, bebidas, cosméticos, electrónicos, adornos y como sustituto del poliestireno expandido.

### ***Ventajas de empaques a base de hongos***

Este tipo de empaques, representan una alternativa sostenible frente a opciones tradicionales como el poliestireno expandido, el plástico de burbujas y el cartón triturado [7] (Tabla 1).

La principal ventaja de los empaques hechos a base de hongos es su biodegradabilidad y compostabilidad, lo que significa que puede descomponerse de manera natural en semanas, sin dejar residuos tóxicos ni contribuir a la acumulación de basura plástica [2]. Además, su fabricación utiliza menos energía de alrededor de 12.5% y emite alrededor de 10% de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>), reduciendo la huella de carbono en comparación con los empaques hechos de derivados del petróleo. Este tipo de empaques aprovechan subproductos de la agricultura o forestería que de otro modo serían desechados, promoviendo un

modelo de economía circular (reutilizar, reciclar, regenerar recursos, reducir residuos y contaminación). Otra ventaja clave es su capacidad de adaptarse a diferentes formas y tamaños, ofreciendo propiedades similares al poliestireno en términos de ligereza y resistencia, pero sin el impacto ambiental negativo [8]. Esto los convierte en una alternativa ideal para industrias que buscan alinearse con prácticas más sostenibles y responsables.

### ***Impacto ambiental***

Los empaques a base de hongos, está emergiendo como alternativa sostenible frente a los plásticos convencionales. Su popularidad radica en que tienen algunas ventajas ambientales, respecto a los plásticos convencionales [8,9]. Por ejemplo, ayudan a reducir la acumulación de desechos en vertederos, debido a su degradabilidad, que tan solo en 60 días se puede integrar al suelo. Además, su producción aprovecha residuos agrícolas o forestales, minimizando con ello la extracción de nuevos recursos. Otro aspecto positivo es que no contienen compuestos tóxicos, como los plásticos convencionales, evitando contaminación química. Una vez desechados, estos empaques pueden integrarse al suelo como materia orgánica que favorece la calidad del suelo y promueve la diversidad microbiana. Además, de acuerdo con la empresa HAU Biotechnology, su fabricación requiere hasta un 82% menos agua que los plásticos convencionales, lo que reduce su huella hídrica.

Sin embargo, también presentan algunas desventajas ambientales. Aunque son biodegradables, su descomposición eficiente depende de condiciones de específicas, como humedad alta, oxígeno y la presencia de microorganismos, que no siempre están presentes en los basureros. Además, el aprovechamiento de residuos agrícolas o forestales como sustrato podría competir con otras aplicaciones, como el compostaje o alimentación animal, cuando se producen a gran escala. Asimismo, si se adoptará su producción a gran escala podría incentivar el uso intensivo de residuos agrí-

colas, promoviendo monocultivos y afectando la biodiversidad.

### **Desafíos de los empaques a base de hongos**

Los empaques a base de hongos representan una solución innovadora y sostenible frente a la contaminación plástica, en particular al poliestireno. Sin embargo, su adopción enfrenta retos significativos. Entre los principales desafíos destacando los costos de producción: por ejemplo; mientras la producción de una bolsa de plástico convencional cuesta alrededor de un centavo de dólar, un empaque elaborado a base de hongos tiene un costo aproximado de 2.5 a 3 dólares [9]. Además, es necesario avanzar en su escalabilidad a nivel industrial, lo cual podría lograrse mediante mayor investigación. Otro desafío importante es su limitada resistencia en condiciones extremas, como alta humedad superior al 70% o cuando deben soportar cargas pesadas. Además, la falta de infraestructura para su fabricación y comercialización masiva limita su disponibilidad en los mercados globales [10]. Sin embargo, las perspectivas son prometedoras gracias al creciente interés en soluciones ecológicas y al desarrollo de tecnologías que mejoren la eficiencia del proceso productivo de este tipo de empaques. Con avances en biotecnología, inversiones en investigación y políticas de incentivo hacia materiales sostenibles, los empaques a base de hongos tienen el potencial de posicionarse como una alternativa viable, ayudando a reducir la dependencia de plásticos convencionales.

### **Conclusiones**

Los empaques de micelio de hongo podrían ser una alternativa sostenible al poliestireno, destacando por su biodegradabilidad, bajo impacto ambiental y uso de residuos agrícolas y forestales. Aunque enfrenta desafíos como costos y escalabilidad, su potencial para reducir la contaminación plástica los posiciona como una solución prometedora en la transición hacia materiales más ecológicos. **iBIO**

## **Referencias**

- [1] Kik, K., Bukowska, B., & Sicińska, P. (2020). Polystyrene nanoparticles: Sources, occurrence in the environment, distribution in tissues, accumulation, and toxicity to various organisms. *Environmental pollution*, 262,114297 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114297>
- [2] Mojumdar, A., Behera, H.T., & Ray, L. (2021). Mushroom mycelia-based material: an environmentally friendly alternative to synthetic packaging. *Microbial polymers: applications and ecological perspectives*, 131-141. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-0045-6\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-16-0045-6_6)
- [3] Porter, D.L., Hotz, E.C., Uehling, J.K. et al (2023). A review of the material and mechanical properties of select Ganoderma fungi structures as a source for bioinspiration. *Journal of Materials Science* 58, 3401–3420. <https://doi.org/10.1007/s10853-023-08214-y>
- [4] Lesa, K. N., Khandaker, M. U., Mohammad Rashed Iqbal, F., Sharma, R., Islam, F., Mitra, S., & Emran, T. B. (2022). Nutritional Value, Medicinal Importance, and Health-Promoting Effects of Dietary Mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Journal of Food Quality*, 2022(1), 2454180. <https://doi.org/10.1155/2022/2454180>
- [5] Aiduang, W., Chanthaluck, A., Kumla, J., Jatuwong, K., Srinuanpan, S., Waroonkun, T.,...& Suwasnnarach, N. (2022). Amazing fungi for eco-friendly composite materials: A comprehensive review. *Journal of fungi*, 8(8), 842. <https://doi.org/10.3390/jof8080842>
- [6] Rajendran, R. C. (2022). Packaging applications of fungal mycelium-based biodegradable composite. In *Fungal biopolymers and Biocomposites: Prospects and Avenues* (pp.189-208). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-1000-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-19-1000-5_9)
- [7] Kundanati, L. (2022). Fungi-based biomimetic approach to address plastic pollution: A developing nation's perspective. *Preprints*, 2022090255. <https://doi.org/10.20944/preprints202209.0255.v1>
- [8] Sydor, M., Cofta, G., Doczekalska, B., & Bonenberg, A. (2022). Fungi in mycelium-based composites: usage and recommendations. *Materials*, 15 (18), 6283. <https://doi.org/10.3390/ma15186283>
- [9] Sdg\_Thematic\_Experts. (2024, 13 julio). Can mushrooms eliminate plastic? SDG Knowledge Hub. <https://sdg.iisd.org/commentary/generation-2030/can-mushrooms-eliminate-plastic/>
- [10] Alemu, D., Tafesse, M., & Mondal, A.K. (2022). Mycelium-based composite: The future sustainable biomaterial. *International journal of biomaterials*, 2022(1), 8401528. <https://doi.org/10.1155/2022/8401528>



Concientifica

# Eliminación de contaminantes emergentes de las masas de agua; un largo río por recorrer

*Elimination of emerging pollutants from water bodies; a long river to travel*

Carlos Nek Hernández Martínez\*  
Daniel Alejandro Vergara Solís

Centro Mexicano para la Producción más Limpia, Instituto Politécnico Nacional, CDMX, México.

\*Autor para la correspondencia:  
chernandezm1303@alumno.ipn.mx

## Resumen

Los contaminantes emergentes son un problema que afecta a los cuerpos de agua nacionales y podría estar contribuyendo a aumentar problemas de salud y medio ambiente. Se han tratado de eliminar de distintas maneras y este trabajo busca dar un contexto social sobre los diferentes contaminantes emergentes encontrados en cuerpos de agua alrededor del mundo e informar sobre estos intentos de saneamiento a lo largo de la investigación científica.

*Palabras clave: Tratamientos de agua, remoción de contaminantes, contaminantes emergentes.*

## Summary

Emerging contaminants are a problem affecting national water bodies and may be contributing to increased health and environmental problems. There have been attempts to eliminate them in different ways and this paper seeks to provide a social context on the different emerging contaminants found in water bodies around the world and to report on these attempts at cleanup through scientific research.

*Keywords: Water treatment, removal of contaminants, emerging contaminants.*

## ¿Estás tomando agua con antibióticos?

La población mexicana en los últimos 20 años ha crecido en 28.5 millones de habitantes [3], y con esto surgen problemas de salud pública como el consumo desmedido de antibióticos y una negligente disposición final dentro de las aguas residuales, que ya de antemano vienen cargadas con otros contaminantes emergentes (fármacos en general, hormonas, pesticidas, aditivos alimentarios y plastificantes, principalmente) (Figura 1).

Se estima que, globalmente, la mitad de los medicamentos se prescriben, se dispensan y se consumen de forma inadecuada. Por ejemplo, en México simplemente para el tratamiento de Infecciones Respiratorias Agudas y Enfermedades Diarreicas Agudas en 2008, se justificaba tan sólo en 10 a 15% de los casos, por lo que del 85% al 90% se hacía uso no recetado de antibióticos [1], lo que ha derivado en que en los últimos años se observara una mayor presencia de contaminantes antibióticos en distintos cuerpos de agua. Resuenan mucho los casos, en México, que reporta Hernández donde se destaca la presencia de diclofenaco e ibuprofeno en aguas de Jalisco, surfactantes



Figura 1. Consumo irracional de antibióticos, vertimiento y descarga de agua residual con antibióticos e impactos negativos que esto genera.

en agua de pozo en Baja California y plastificantes en agua de río en Nuevo León [15].

### **Normatividad en México en Materia de Aguas Residuales**

En nuestro país, aún no están bajo la lupa estos llamados contaminantes emergentes. Tanto la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) como la SEMARNAT (Secretaría del Medioambiente y Recursos Naturales), no han reflejado su preocupación por la detección y caracterización de los contaminantes emergentes en las medidas, criterios y/o límites máximos permisibles en las normas vigentes. En la actualización de la NOM-001-SEMARNAT-1996 a la NOM-001-SEMARNAT-2021, donde establecen límites permisibles de contaminación en las descargas de aguas residuales en cuerpos de agua propiedad de la nación, pasaron más de 20 años para dejar de utilizar la DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días), que es un parámetro para la estimación de la contaminación del agua con base en el consumo de oxígeno que las bacterias presentes en el agua utilizan para oxidar la materia orgánica presente en el agua residual, pues se produce un falso registro del nivel de contaminación, ya que la prueba no puede detectar contaminantes orgánicos no biodegradables ni tóxicos presentes en el agua (que son justamente donde están clasificados los contaminantes emergentes: orgánicos y tóxicos). La nueva norma marca un límite de carbón orgánico total (COT), que ha sido definido como un indicador de la materia orgánica presente en el agua; la diferencia del

carbono total menos el carbono inorgánico en una sola masa. Con este parámetro si bien se puede inferir la cantidad de carbono orgánico, esta determinación no nos muestra qué compuestos orgánicos están presentes, por ende, no se puede saber cuáles son los impactos ambientales, ni la forma en la que se puede remover del agua residual. En conclusión, no se expresa en ningún momento de manera directa a los “Contaminantes emergentes”, “Fármacos” o “Antibióticos” ni se mencionan en las tablas de límites permisibles [1, 2, 3, 4, 5].

### **Tecnologías para la eliminación de Contaminantes Emergentes en Agua Residual**

Sobre toda la superficie terrestre existen diferentes contaminantes del agua, algunos son ampliamente conocidos: metales pesados, patógenos, materia orgánica biodegradable y no biodegradable, grasas, aceites, tintas, sólidos suspendidos o solubles, es decir existen contaminantes físicos, químicos y biológicos (Figura 2).

Estos contaminantes han sido ampliamente estudiados, normados, caracterizados y tratados, pero en los últimos años los métodos analíticos han mejorado su alcance y es ahí donde técnicas como la Espectrometría de Masas nos conduce al descubrimiento de los llamados Contaminantes Emergentes que son una gran variedad de sustancias recalcitrantes, que vienen en cantidades muy pequeñas dentro de volúmenes muy grandes y que podrían presentar potenciales daños a la salud humana y en general a los ecosistemas.

En este tenor es vital desarrollar tecnologías para la eliminación de estos contaminantes de las aguas residuales. El avance en la investigación ha crecido de manera multidisciplinaria, trabajando colaborativamente las áreas de genética, biotecnología, ingeniería ambiental e ingeniería civil, por mencionar algunas. A continuación, te presentaremos seis de las técnicas más utilizadas en la investigación que han evaluado la remoción de contaminantes emergentes y dos casos puntuales donde se ha hecho una combinación de estas técnicas para

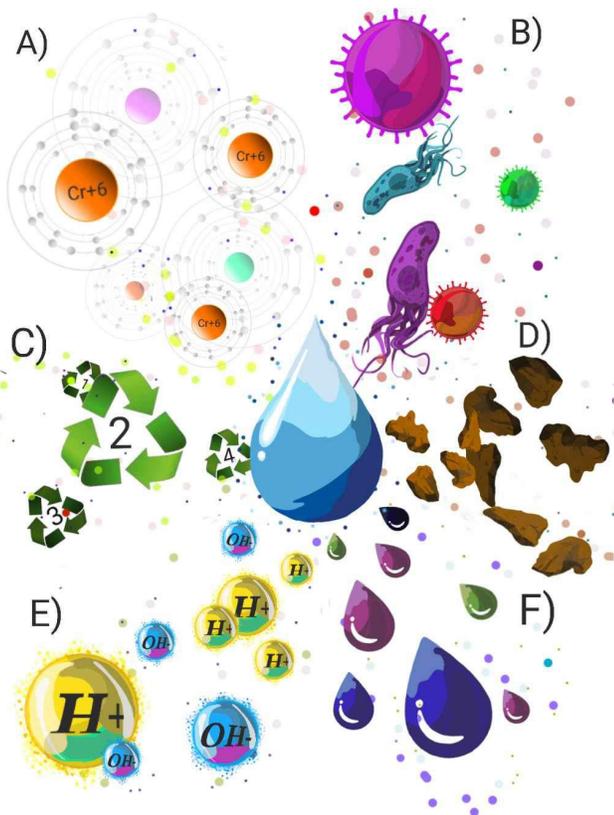


Figura 2. Contaminantes del agua; A) Metales pesado, B) Patógenos, C) Microplásticos, D) Sólidos y material particulado, E) pH, F) Tintas, aceites, grasas y otras sustancias.

aumentar su efectividad en la remoción de contaminantes emergentes (Figura 3).

### Filtración por membrana

Es un proceso en el cual una corriente de aguas residuales pasa a través de una membrana semipermeable, que permite selectivamente el paso de ciertos componentes mientras retiene otros contaminantes [6].

### Proceso de Fenton

En estos procesos se crean las condiciones dentro de un recipiente para llevar a cabo una reacción química entre el peróxido de hidrógeno y el hierro (II), esta reacción genera radicales hidroxilos capaces de descomponer diversos contaminantes orgánicos [6].

### Oxidación electroquímica

En este tratamiento los contaminantes orgánicos de las aguas residuales se degradan mediante reacciones electroquímicas en la superficie de materiales anódicos [7].

### Procesos de membrana Fotocatalítica

Consisten en hacer pasar los efluentes a través de una membrana integrada con fotocatalizadores, estos son materiales capaces de generar especies reactivas como huecos ( $h^+$ ), radicales superóxidos ( $-O_2$ ) y radicales hidroxilos ( $\bullet OH$ ) bajo la irradiación de luz que ayudan a descomponer los compuestos orgánicos más recalcitrantes [8].

### Ultrafiltración

Aquí se utiliza un sistema de ultrafiltración de acero inoxidable que utiliza una membrana compuesta de muchos microtúbulos que impiden el paso de macromoléculas [9].

### Humedales artificiales

Son sistemas que incorporan el uso de especies de plantas nativas como parte integral del proceso de tratamiento, promoviendo simultáneamente la restauración y conservación de los ecosistemas locales [11].

Existen también la combinación de diferentes tratamientos que buscan ya sea la economía del proceso, como también mejorar la capacidad de remoción de contaminante como son los siguientes escenarios:

### Sistema biológico-adsorción

Xiaoyun Dai et. al. (2023). mediante un acoplamiento biológico-adsorción para la remoción de antibióticos de agua residual contaminada con antibióticos de Sulfonamida, donde lograron disminuir los contaminantes en agua residual con los siguientes valores obtenidos DQO (demanda química de oxígeno) 95.68%, FT (fosforo total) 66%,  $N-NH_3$  (nitrógeno amoniacal) 97.8%, Sulfodiamina (antibiótico) 88.2%, sulfometaxazona (antibiótico) 96.7%. Así mismo identificaron las bacterias con mayor participación (mediante un método metagenómico) las cuales fueron *Plasticicumulans*, *Nakamurella* y *Pseudomonas*, dichas bacterias degradaron el fármaco por procesos metabólicos como la desnitrificación, nitrificación y nitrato reducción, principalmente, mien-

## Filtración por membrana

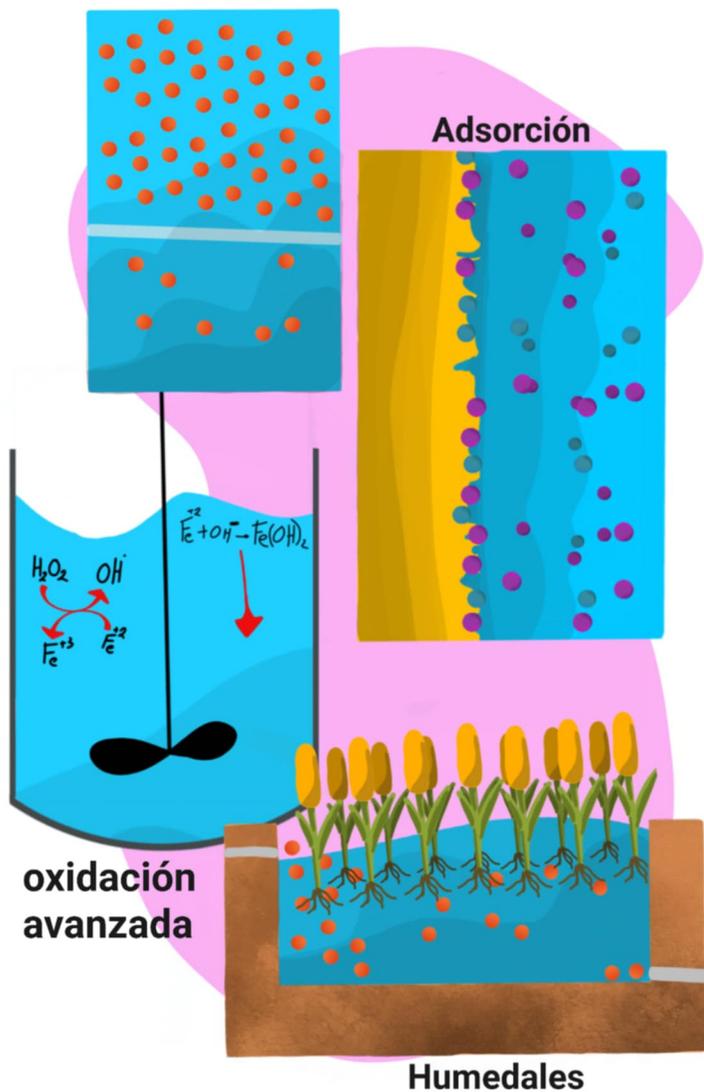


Figura 3. Tecnologías de remoción de contaminantes de aguas residuales.

tras que para el adsorbente se utilizó coque, el cual fungió como sostén de la biopelícula, así como el captador de los nutrientes para el crecimiento del consorcio microbiano [9]. Por lo que el sistema aprovecha las ventajas de un sistema biológico y las características del adsorbente (el coque es un material bituminoso que es muy poroso, con gran área superficial y gran capacidad de adsorción) para potenciar el poder de remoción y mineralización de contaminantes emergentes.

### Proceso biológico aerobio + Fenton

Por otro lado, tenemos la investigación realizada por Carolina Morim et. al. (2024) donde se acopló un proceso biológico aeróbico (lodo activado) seguido de Fenton con la fi-

nalidad de encontrar las condiciones óptimas para la eliminación de AOX (Haluros Orgánicos Adsorbibles) donde se utilizó Agua residual del blanqueo de pulpa en una fábrica de papel en Portugal, mientras que para el proceso Fenton se utilizaron peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), sulfato de hierro ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ), sulfito de sodio ( $Na_2SO_3$ ), hidróxido de sodio ( $NaOH$ ) y ácido nítrico ( $HNO_3$ ). El estudio logró una eliminación de AOX del 89.5% y una eliminación de DQO del 82.5%. aunque presenta la desventaja de ser costosa debido a la demanda de productos químicos, el acoplamiento de procesos de oxidación avanzada busca la formación de fuertes especies oxidativas como los radicales  $\bullet OH$ , como lo es el proceso Fenton, el cual se basa en la generación de estos radicales a partir del peróxido en presencia de un catalizador. Considerando las ventajas de ambos procesos se opta por investigar el funcionamiento mediante el acoplamiento de ambos (Fenton y proceso biológico aerobio) para así minimizar la generación de subproductos y los costos de operación, maximizar la remoción de la DQO y la remoción de AOX, por lo que se probaron las dos combinaciones posibles, tratamiento biológico aerobio seguido del proceso Fenton, y viceversa, concretando que las mayores remociones de DQO y AOX se lograron cuando se llevó a cabo el proceso biológico seguido por el Fenton. A pesar de que esta secuencia demostró un rendimiento superior, su costo operativo fue más del doble que el costo de la secuencia de tratamiento inversa [12].

### Conclusiones

Los contaminantes emergentes por su característica recalcitrante representan un riesgo a los ecosistemas y a la salud humana, por ejemplo, algunos estudios han indicado que los EC pueden bioacumularse en tejidos de organismos vivos, causando daño a los sistemas endócrinos (propiciando cáncer de próstata, testicular y de pecho, producción huevos frágiles en aves, reducción en cuenta de esperma) y sumado a esto, la contaminación de tejidos por EC también aumenta la propagación de la famosa resistencia antimicrobiana [14].

Es de preocupación la presencia de 160

compuestos orgánicos en 90 efluentes de aguas europeas pues los tratamientos convencionales de agua residuales actualmente no muestran eficiencia total en la remoción de este tipo de contaminantes y aquellos tratamientos avanzados, aunque requieren una alta inversión tampoco logran los resultados deseados [6].

Aún queda mucho camino que recorrer en la optimización y escalabilidad de estas tecnologías, pero este camino debe ser recorrido de la mano de la identificación, caracterización y legislación de los contaminantes emergentes. **iBIO**

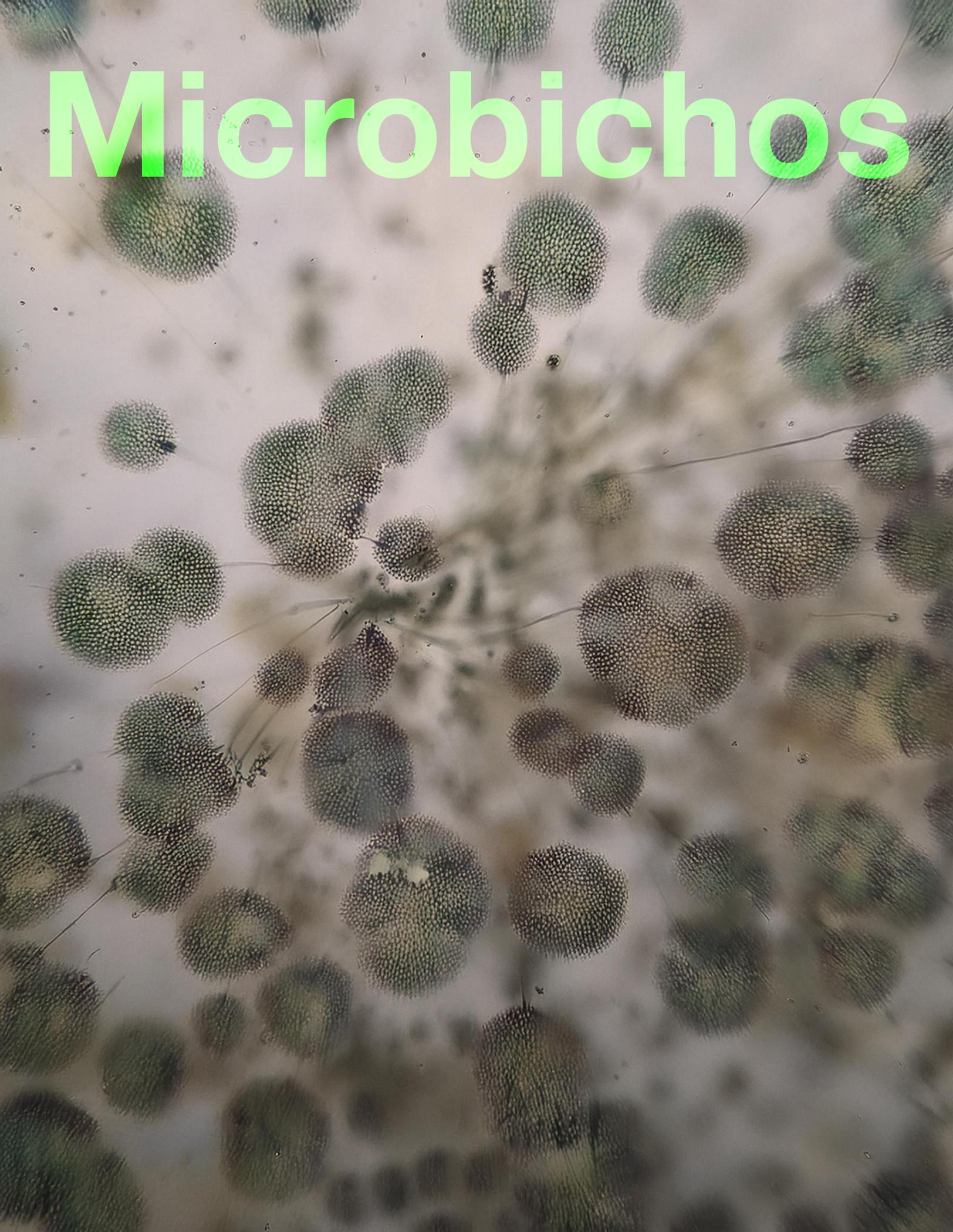
## Referencias

- [1] Dreser A, Wirtz VJ, Corbett KK, Echániz G. Uso de antibióticos en México: revisión de problemas y políticas. *Salud Publica Mex* 2008;50 supl 4:S480-S487.
- [2] Rodríguez-Ganen O, Asbun-Bojalil J. Vigilancia del consumo de antimicrobianos en hospitales de México: situación actual y guía práctica para su implementación. *Rev Panam Salud Publica*. 2012;32(5):381-6.
- [3] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Estructura del gobierno. <https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/>
- [4] Diario Oficial de la Federación. (2022, 11 de marzo). NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0)
- [5] Lidia Favier, Andrei-Ionuț Simion, et. Al. (2024). Intensification of the photodegradation efficiency of an emergent water pollutant: A study on advanced oxidation processes. *Journal of Environmental Science*, 45(3), 250-265. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2024.01.015>
- [6] Morim, C., Liu, S., Torres, E., Oliveira, A., & Kim, C. (2023). Two-stage treatment of pulp bleaching wastewater by Fenton and biological processes to remove recalcitrant pollutants. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109787>
- [7] Vergara Solis, D. A., & Hernández Martínez, C. N. (2024). Más allá de lo visible: el creciente desafío de los contaminantes emergentes en el agua que usamos. *Revista De divulgación científica iBIO*, 6(3), 186. <https://revistaibio.com/ojs33/index.php/main/article/view/186>
- [8] Ang, W. J., et al. (2024). Innovative ceramic membrane plate filtration system for sustainable semiconductor industry wastewater treatment: A pilot scale study. *Chemical Engineering Journal*, 496, 153767.

*Chemical Engineering Journal*, 496, 153767.

- [9] Xiaoyun Dai, Chengyuan Su, Ruxin Nong, Xinjie Huang, Yaqi Xie, Bocai Liang, Shu Gao, Menglin Chen, Performance, microbial community, and metabolism pathway in adsorption-biological coupling reactor treating sulfonamide antibiotics wastewater: Effect of influent frequency and aeration rate. *Journal of Water Process Engineering*, 53, 2023, 103732, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103732>.
- [10] Jamil, T. (2024). Role of advanced oxidation processes (AOPs) in textile wastewater treatment: A critical review. *Desalination and Water Treatment*, 318, 100387. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100387>
- [11] Matovelle, C., Quinteros, M., & Ochoa-García, S. A. (2014). Performance of *Equisetum* spp and *Zantedeschia aethiopica* on the evaluation of artificial wetlands as an alternative for wastewater treatment in rural areas of the Ecuadorian Andes. *Current Research in Environmental Sustainability*, 7, 100243. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2024.100243>
- [12] Peng, Y., Yan, Y., Ma, X., Jiang, B., Chen, R., Feng, H., & Xia, Y. (2024). Efficient electrochemical oxidation of antibiotic wastewater using a graphene-loaded PbO<sub>2</sub> membrane anode: Mechanisms and applications. *Environmental Research*, 259, 119517. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119517>
- [13] Santos, R. F., Pires, E. C., & Oliveira, M. A. (2014). A novel bioprocess combining anaerobic co-digestion followed by ultra-filtration and microalgae culture for optimal olive mill wastewater treatment. *Journal of Environmental Management*, 145, 167-175. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.06.017>
- [14] Ahmed, S. F., Mofijur, M., & Samiha, N. (2021). Recent developments in physical, biological, chemical, and hybrid treatment techniques for removing emerging contaminants from wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 125912 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125912>
- [15] Hernández E.M. (2022). Contaminantes emergentes: incidencia en cuerpos de agua y percepción de riesgo en la población. *Química e ingeniería verde para la sostenibilidad*, 454-455:109-118

# Microbichos



# Trichoderma: hongos microscópicos aliados de los cultivos agrícolas

*Trichoderma: microscopic fungi allies of agricultural crops*

Sandy E. Celis-Perera\*  
Marcela Gamboa-Angulo

Centro de Investigación Científica de Yucatán, Yucatán,  
México.

\*Autor para la correspondencia:  
scelis1190@gmail.com

## Resumen

Los fertilizantes nitrogenados son la principal fuente de nutrición y los fungicidas sintéticos el principal método de control de plagas y enfermedades que se utilizan en la agricultura en México; sin embargo, el cambio en la conciencia sobre el consumo de productos provenientes de la agricultura orgánica va en aumento y con ello la búsqueda de alternativas ecoamigables aplicables en la agricultura. Los hongos del género *Trichoderma* son una excelente opción, gracias a sus diferentes mecanismos de acción estimulan el crecimiento en las plantas y compiten contra un amplio número de hongos fitopatógenos ayudando a las plantas a tolerar enfermedades.

**Palabras clave:** biocontrol, biofertilizantes, microorganismos.

## Summary

Nitrogen fertilizers are the main source of nutrition and synthetic fungicides are the main method of pest and disease control used in agriculture in Mexico. However, the change in awareness regarding the consumption of products from organic agriculture is increasing and with it the search for eco-friendly alternatives applicable in agriculture. Fungi of the genus *Trichoderma* are an excellent option, thanks to their different mechanisms of action they stimulate growth in plants and compete against many phytopathogenic fungi, helping plants tolerate diseases.

**Keywords:** biocontrol, biofertilizers, microorganisms.

La agricultura en México emplea fertilizantes a base de sales de nitrógeno, fósforo y potasio para la nutrición de cultivos y productos agroquímicos sintéticos como primer método de control de enfermedades causadas por hongos patógenos; por ejemplo, los fungicidas sistémicos del grupo de los benzimidazoles, aunque estos ejercen un efecto rápido de control, el uso inadecuado genera contaminación en suelos y en algunos casos la resistencia por parte de los patógenos fúngicos [1].

En los últimos años, la tendencia hacia el consumo de alimentos que sean libres de productos tóxicos para no afectar la salud de productores y consumidores va en incremento. Para esto, los agricultores requieren en el mercado disponibilidad de productos alternativos no tóxicos que sean amigables con el ambiente para fertilizar y controlar las enfermedades en las plantas [1].

Entre estas alternativas está el control biológico que consiste en la aplicación de microorganismos vivos o sus derivados, tales como los hongos del género *Trichoderma* con más de 545 especies reportadas, quienes a través de diferentes mecanismos estimulan el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas, además pueden controlar a hongos causantes

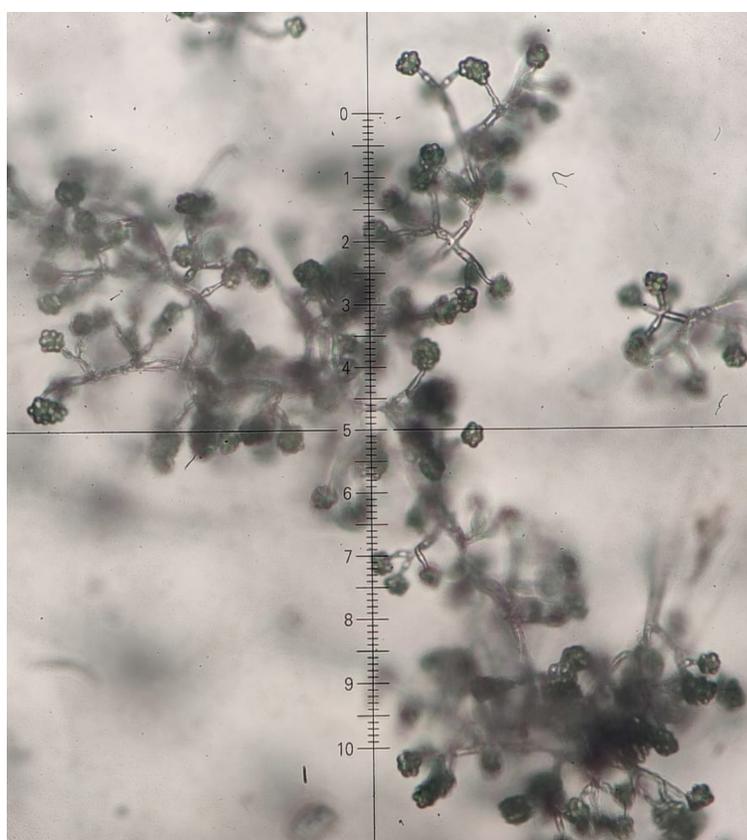


Figura 1. Conidióforos de *Trichoderma asperellum* observados en microscopio óptico 40x.

de enfermedades en los cultivos agrícolas [2].

La especie más estudiada es *Trichoderma harzianum*, la mayoría de los productos que ya están disponibles en el mercado son hechos a base de esta especie y de *Trichoderma virens*, en las zonas tropicales una de las especies más abundantes es *Trichoderma asperellum* [3]. El uso de *Trichoderma* en la agricultura ha generado mucho interés y representa una alternativa amigable en el manejo de enfermedades que afectan a los cultivos agrícolas de consumo humano. En este artículo conoceremos sobre el género *Trichoderma* y los principales mecanismos de acción que utiliza en su asociación con las plantas para favorecer su crecimiento y su tolerancia contra hongos causantes de enfermedades.

### ¿Quién es *Trichoderma*?

El género *Trichoderma* se describió por primera vez en 1794 por C. H. Pearson pero su uso e importancia en el control biológico se implementó en la década de los años setenta. *Trichoderma* son hongos microscópicos cuyo micelio crece rápido en comparación con otros hongos, se reproducen de manera asexual me-

diante una abundante producción de esporas que funcionan como semillas microscópicas y que en su hábitat natural son dispersadas por el viento, su rápido crecimiento en diferentes medios sintéticos facilita su aislamiento y producción con fines de control biológico. Se ha identificado la fase sexual de algunas especies de este género, se encuentran clasificadas en el orden Hypocreales, género *Hypocrea* [3].

Las esporas o también llamadas conidios suelen ser de forma redonda o semiredonda, de color verde intenso a amarillo y se producen en estructuras llamadas conidióforos a los que podemos imaginar como pequeños árboles con ramas (Figura 1). Producen estructuras de resistencia conocidas como clamidosporas, estas pueden permanecer en entornos adversos por varios años y desarrollarse cuando las condiciones del ambiente sean favorables para su crecimiento. Son hongos saprófitos, lo que significa que se encuentran principalmente en suelos ricos en materia orgánica en descomposición, es de ahí donde obtienen su alimento. Algunas especies de este género tienen un comportamiento endófito es decir, que pueden habitar en el interior de los tejidos de las plantas sin causarle daños y ambos organismos obtienen beneficios de esta relación, *Trichoderma* aprovecha azúcares secretados por las plantas mientras que las plantas utilizan fitohormonas y metabolitos secundarios producidos por *Trichoderma* [3].

### ¿Cómo participa *Trichoderma* en la estimulación del crecimiento vegetal?

*Trichoderma* produce un enorme conjunto de proteínas y más de 1000 metabolitos secundarios de bajo peso molecular que pueden ser volátiles y no volátiles en el ambiente. Estos compuestos son liberados en el suelo cerca de las raíces y utilizados por las plantas para sus funciones fisiológicas y de supervivencia. Ciertos metabolitos como el 6-pentil- $\alpha$ -pirona estimulan el crecimiento en las plantas, algunos ayudan a equilibrar el pH del suelo y otros, como la ferricrocina tienen la capacidad de solubilizar fósforo. Las especies de *Trichoderma* también pueden solubilizar diferentes ele-

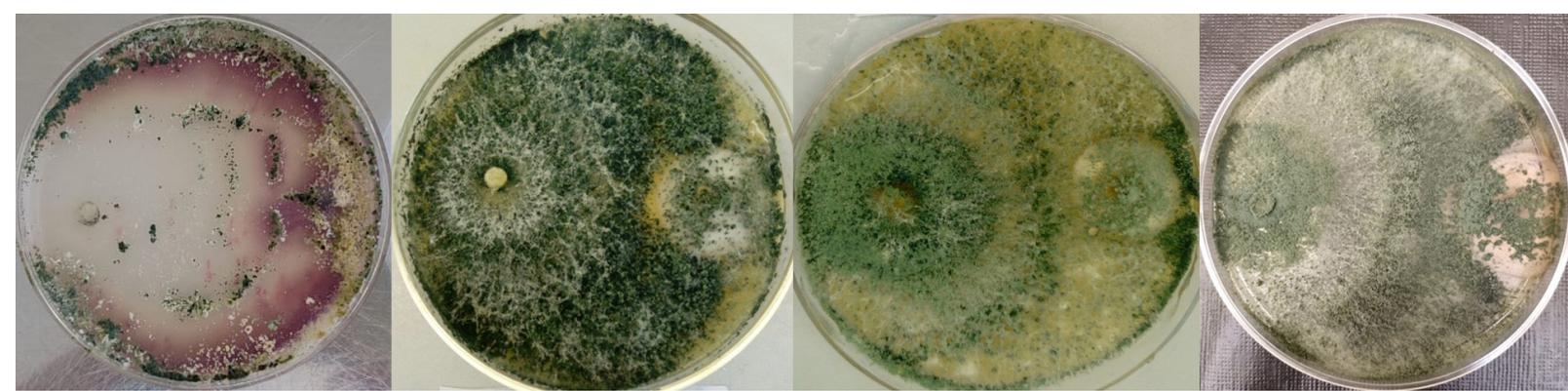


Figura 2. Competencia por espacio de *Trichoderma asperellum* Ta13-17 (lado izquierdo de la caja) contra *Fusarium oxysporum*, *Fusarium chlamydosporum*, *Fusarium equiseti* y *Alternaria alternata* respectivamente (lado derecho de la caja).

mentos como el cobre, zinc, hierro, magnesio y manganeso, esta actividad mejora la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas, producen fitohormonas como el ácido indolacético que actúa en los brotes jóvenes de las plantas para estimular su crecimiento, el ácido abscísico que participa en la apertura y cierre de los estomas, ayuda a mantener el equilibrio fisiológico en las plantas y resistir en condiciones de estrés biótico y abiótico [4].

Existen reportes de éxito de cultivos asociados con *Trichoderma*. Ruiz-Cisneros et al. informaron que las plantas de tomate inoculadas con *T. longibrachiatum* T1 presentaron 13 % mayor altura y 14 % más rendimiento comparadas con plantas no inoculadas [5]. Por otra parte Mulu et al. obtuvieron un aumento en la actividad fotosintética, la eficiencia en el uso de agua y en la producción de biomasa de raíces en plantas de trigo inoculadas con cepas nativas identificadas mediante técnicas moleculares como *T. yunnanense* y *T. afroharzianum* [6]. Martínez-Salgado et al. evaluaron a *T. koningiopsis* T-K11 en plantas de cacahuate, reportaron inhibición en un 71 % el crecimiento *in vitro* de *Macrophomina phaseolina* y aumento en el rendimiento del cultivo en campo [7].

### ¿Cómo controla *Trichoderma* a sus adversarios?

*Trichoderma* es catalogado como un excelente competidor. Debido a su rápido crecimiento, aprovecha los recursos disponibles en el medio donde se encuentra, principalmente nutrientes y espacio por lo que el crecimiento de los fitopatógenos se ve limitado (Figura 2). Tiene la capacidad de controlar diferentes

hongos fitopatógenos como *Alternaria*, *Colletotrichum*, *Corynespora* y *Fusarium*. Uno de sus mecanismos más importante es el micoparasitismo en donde *Trichoderma* detecta la presencia de su presa y crece en dirección a este impulsado por la detección de sustancias de naturaleza proteica que son producidas por los hongos patógenos, por lo que *Trichoderma* orienta su crecimiento para captar estos recursos. A este crecimiento dirigido se le conoce como quimiotropismo, una vez que existe el contacto entre el micelio de *Trichoderma* y del patógeno, el primero comienza a secretar enzimas como quitinasas y glucanasas que tienen la función de degradar la pared celular del patógeno que está compuesta principalmente por quitina y glucanos, al desintegrar estas enzimas se facilita el enrollamiento y la penetración de las hifas por parte de *Trichoderma* de manera que pueda alimentarse del patógeno [8].

Otro mecanismo que utiliza *Trichoderma* para el control de fitopatógenos es la antibiosis; es la producción de sustancias entre las que se encuentran los metabolitos secundarios que pueden ser tóxicos para otros microorganismos, algunos metabolitos pueden tener un efecto para detener el crecimiento de los patógenos o causar la desintegración o ruptura de las células y provocarles la muerte. Los metabolitos secundarios producidos por *Trichoderma* forman parte de diferentes grupos, como péptidos no ribosómicos, con gran variedad de compuestos que han demostrado tener efecto de control y causantes de cambios en la morfología de los conidios de patógenos como *Fusarium* spp., *Botrytis cinerea* y *Alternaria alternata*, policétidos, terpenos y pironas, sin embargo,

se sabe que la producción de los metabolitos secundarios varía entre especies incluso entre cepas y en muchos casos es la respuesta a algún estímulo causado por otro organismo o por condiciones ambientales [9, 10].

Por último, naturalmente las plantas producen proteínas que inducen la activación de genes involucrados en su defensa ante el ataque de plagas o de patógenos causantes de enfermedades; a esto se le conoce como resistencia, existe evidencia de que algunas especies de *Trichoderma* participan en la activación de grupos de genes que ayudan a resistir la infección causada por patógenos, a este mecanismo de acción se le conoce como resistencia inducida, existen dos tipos: la resistencia sistémica adquirida y la resistencia sistémica inducida donde participa *Trichoderma* y que básicamente consiste en activar el sistema inmune de las plantas enviando señales químicas cuando detecta la presencia de algún patógeno para que la planta se prepare para resistir el ataque. Entre las primeras respuestas que generan las plantas están el aumento en la producción de ligninas para reforzar las paredes celulares, la producción de fitoalexinas que son moléculas antimicrobianas y la muerte localizada de los tejidos cercanos a la zona de infección, estas estrategias evitan que la enfermedad se propague a otras partes de la planta [11].

## Conclusiones

A través de diferentes procesos *Trichoderma* ayuda a las plantas para mejorar su crecimiento y desarrollo, debido a sus variados mecanismos de acción también controlan un amplio número de patógenos que causan enfermedades en los cultivos agrícolas.

Las diferentes capacidades con las que cuenta *Trichoderma* hacen que sea una alternativa sustentable para que en un futuro cercano sea más utilizado en la agricultura, ayudando a reducir el uso de fertilizantes a base de nitrógeno, fósforo y potasio y de fungicidas sintéticos para el control de enfermedades, que a la larga causan la contaminación del ambiente y daños a otros organismos.

Todavía hay mucho por descubrir en cuanto a la relación *Trichoderma-planta-patógenos* así como en la producción de metabolitos secundarios con actividad biofertilizante o bifungicida que sean útiles para la agricultura.

Es recomendable aislar e identificar especies nativas de *Trichoderma* que estén adaptadas a las condiciones climáticas de las diferentes zonas de México. El conocer los mecanismos de acción de las cepas nativas facilita el aprovechamiento de estos microorganismos, de manera que puedan aportar sus numerosos beneficios en la asociación con cultivos agrícolas del país. **iBIO**

## Referencias

- [1] Manzar, N., Kashyap, A. S., Goutam, R. S., Rajawat, M. V. S., Sharma, P. K., Sharma, S. K., Singh, H. V. (2022). *Trichoderma*: Advent of Versatile Biocontrol Agent, Its Secrets and Insights into Mechanism of Biocontrol Potential. *Sustainability* 14,12786. <https://doi.org/10.3390/su141912786>
- [2] Vargas-Hoyos, H. A. y Gilchrist-Ramelli, E. (2015). Producción de enzimas hidrolíticas y actividad antagónica de *Trichoderma asperellum* sobre dos cepas de *Fusarium* aisladas de cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum*). *Revista Mexicana de Micología*, 42, 9-16.
- [3] Martínez, B., Infante, D. y Peteira, B. (2015). Taxonomía polifásica y variabilidad en el género *Trichoderma*. *Revista de Protección Vegetal* 30, 11-22.
- [4] Cortés-Hernández, F. C., Alvarado-Castillo, G., Sánchez-Viveros, G. (2023). *Trichoderma* spp., una alternativa para la agricultura sostenible: una revisión. *Revista Colombiana de Biotecnología* 25(2), 73-87. DOI: [10.15446/rev.colomb.biote.v25n2.111384](https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v25n2.111384)
- [5] Ruiz-Cisneros, M. F., Ornelas-Paz, J. J., Olivas-Orozco, et al. (2018). Efecto de *Trichoderma* spp. y hongos fitopatógenos sobre el crecimiento vegetal y calidad del fruto de jitomate. *Revista mexicana de fitopatología* 36 (3), 444-456. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1804-5>
- [6] Mulu, A. O., Hussain, T., Waghmode, T. R., Zhao, H., Sun, H., Liu, X., Wang, X., Liu, B. (2020). *Trichoderma* Enhances Net Photosynthesis, Water Use Efficiency, and Growth of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Salt Stress. *Microorganisms* 8, 1565. doi:[10.3390/microorganisms8101565](https://doi.org/10.3390/microorganisms8101565)
- [7] Martínez-Salgado, S. J., Andrade-Hoyos, P., Parraquirre-Lezama, C., Rivera-Tapia, A., Luna-Cruz, A., Ro-

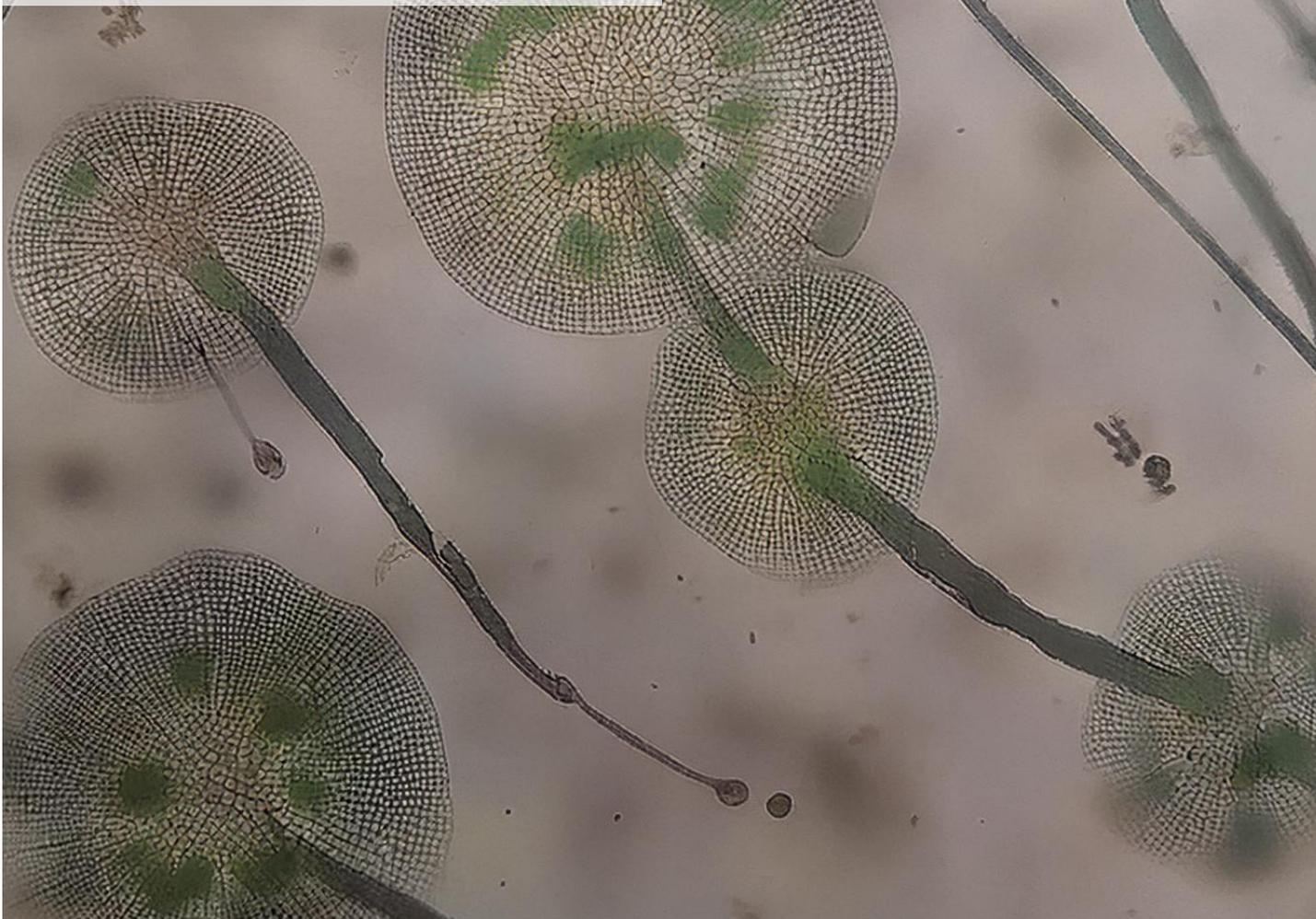
mero-Arenas, O. (2021). Biological Control of Charcoal Rot in Peanut Crop through Strains of *Trichoderma* spp., in Puebla, Mexico. *Plants*10, 2630. <https://doi.org/10.3390/plants10122630>

[8] Guzmán-Guzmán, P., Kumar, A., de los Santos-Villalobos, S., Parra-Cota, F. I., Orozco-Mosqueda, M. d. C., Fadji, A. E., Hyder, S., Babalola, O. O., Santoyo, G. (2023). *Trichoderma* Species: Our Best Fungal Allies in the Biocontrol of Plant Diseases - A Review. *Plants* 12, 432. <https://doi.org/10.3390/plants12030432>

[9] Alfaro-Vargas, P., Bastos-Salas, A., Muñoz-Arrieta, R., Pereira-Reyes, R., Redondo-Solano, M., Fernández, J., Mora-Villalobos, A., López-Gómez, J. P. (2022). Peptaibol Production and Characterization from *Trichoderma asperellum* and Their Action as Biofungicide. *Journal Fungi* 8, 1037. <https://doi.org/10.3390/jof8101037>

[10] Zeilinger, S., Gruber, S., Bansal, R., Mukherjee, P. K. (2016). Secondary metabolism in *Trichoderma* - Chemistry meets genomics. *Fungal biology reviews* 30, 74-90. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbr.2016.05.001>

[11] Delgado-Oramas, B. P. (2020). La resistencia inducida como alternativa para el manejo de plagas en las plantas de cultivo. *Revista de Protección Vegetal* 35(1). <https://eqrcode.co/a/4lo53i>



Cápsulas del



tiempo

# Un recorrido histórico sobre los genes homeóticos

## A historical journey on homeotic genes

### Resumen

Los genes homeóticos son los primeros activadores de la cascada de genes que intervienen en la formación y distribución embrionaria y anatómica de los seres vivos. Su descubrimiento en 1894, ha conllevado a innumerables avances en: el estudio de la organogénesis, el análisis evolutivo e investigaciones biomédicas. Con la cantidad de hitos y aportes históricos que se han descrito desde el hallazgo de estos genes reguladores, el presente artículo sintetizó y diseñó una línea de tiempo tanto conceptual como gráfica sobre la historia de estos genes; citando los acontecimientos más relevantes entre 1894-1995 y los autores que lo hicieron posible.

**Palabras clave:** Genes homeóticos, *Drosophila melanogaster*, mutación.

### Summary

Homeotic genes are the first activators of the gene cascade that intervenes in the formation and embryonic and anatomical distribution of living beings. Their discovery in 1894 has led to innumerable advances in: the study of organogenesis, evolutionary analysis and biomedical research. With the number of milestones and historical contributions that have been described since the discovery of these regulatory genes, this article synthesized and designed a conceptual and graphic timeline on the history of these genes; citing the most relevant events between 1894 and 1995 and the authors who made it possible.

**Keywords:** Homeotic genes, *Drosophila melanogaster*, mutation.

Ana María Buitrago-Robayo\*  
Edwin Albeiro Aristizabal-Franco

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá,  
Colombia.

\*Autor para la correspondencia:  
anambuitragor@gmail.com

El estudio de lo desconocido ha conllevado a inigualables experimentos para demostrar la verdad detrás de ellos, la formación de los seres vivos o la biología del desarrollo es uno de los campos más complejos y diversos que tiene la ciencia. El hecho de comprender como funcionan y se desarrollan los organismos, nos permite descifrar un poco más los enigmas de la vida, saber cómo las células pluripotentes o células madre del embrión se diferencian y organizan para formar órganos, sistemas e individuos, nos brinda el conocimiento necesario para entender los sistemas vivos y como poder de alguna forma, diagnosticar, prevenir y tratar enfermedades o patologías relacionadas al desarrollo de los organismo, y en mayor medida el estudio del ser humano.

Hoy en día, el conocimiento que se tiene sobre la embriología y la organogénesis permite a múltiples científicos e investigadores avanzar en el tratamiento y diagnóstico de malformaciones congénitas y cánceres relacionados con rutas de señalización que regulan el desarrollo de los órganos. Entender que genes intervienen en la formación de los órganos ha sido clave para diseñar estrategias en medicina regene-

rativa, terapia celular y avances en bioingeniería.

Una buena aproximación para la organogénesis es comprender la historia de los genes homeóticos, ya que estos son considerados como los genes maestros de la biología del desarrollo. El hallazgo de estos genes revolucionó la ciencia de su época, demostrando que un solo gen puede controlar la identidad de segmentos corporales en los individuos. En este artículo, se narrarán de forma cronológica los hitos históricos más importantes que permitieron el avance conceptual de estos genes y su relevancia en la formación de organismos complejos por ejemplo en la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster* (Figura 1). Al final de este manuscrito se encuentra una línea del tiempo tanto conceptual como gráfica sobre los hechos históricos más relevantes (Figura 2).

En el año 1894, William Bateson un zoólogo británico, publicó un catálogo relacionado con las malformaciones en diferentes animales y plantas, en el que abordó los segmentos que conforman el cuerpo de los insectos, catalogando las porciones semejantes entre sí, por ejemplo, los insectos

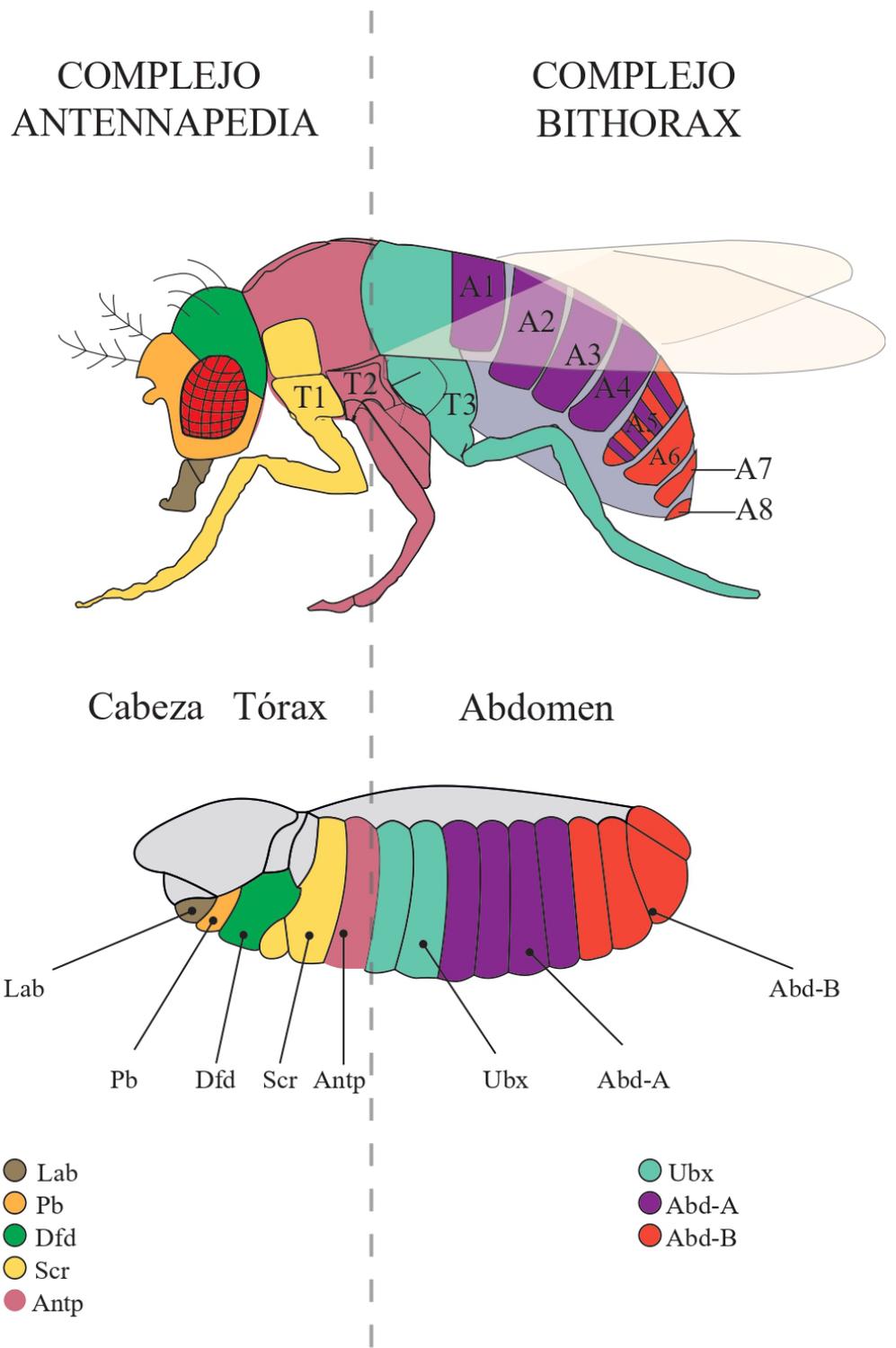


Figura 1. Complejos reguladores durante el desarrollo embrionario de la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster*, y la forma en que se expresa cada uno en la mosca adulta. La mosca se divide en tres regiones: Cabeza, Torax (con tres regiones T1, T2 y t3) y Abdomen (dividido en 8 segmentos abdominales A1 - A8). El complejo Antennapedia, presenta los genes que forman la región anterior de la mosca (cabeza y primeros segmentos): Labial (Lab), Proboscipedia (Pb), y Deformado (Dfd). El complejo Bithorax, presenta los genes que forman la región posterior de la mosca (siguientes segmentos y Abdomen): Peines sexuales reducidos (Scr), y Antennapedia (Antp), Ultrabithorax (Ubx), Abdominal A (Abd-A), y Abdominal B (Abd-B).

mostraban variaciones morfológicas de sus segmentos torácicos que tomaron características estructurales de segmentos abdominales, nombrando este fenómeno como «transformaciones homeóticas» [1].

Tiempo después (1901) se introdujo en el campo de la biología un nuevo término «mutación», gracias a Hugo de Vries, un botánico neerlandés, quien en su libro «teoría de la mutación» propone que las transformaciones de especies en otras ocurren por grandes saltos denominados mutaciones y que no es el mendelismo quien justifica estas transformaciones [2].

W. Johannsen, genetista danés, implementó por primera vez la palabra «gene» en 1902 y propuso usar este término para nombrar los elementos que determinan las características de los organismos y que se encuentran presentes en los gametos, es decir en células sexuales [2].

En 1905, Cuénot realizó uno de los primeros aportes sobre «genes letales» término utilizado hasta la actualidad para definir genes que causan la muerte de un organismo antes de que pueda reproducirse; al cruzar ratones amarillo x amarillo, observó que le fue imposible obtener ratones amarillos homocigotos dominantes (AA) y recesivos (aa), es decir que sus dos alelos fueran iguales, pues, aunque se obtuvieron algunos ejemplares, estos siempre eran heterocigotos (Aa), es decir individuos que presentan dos alelos diferentes. [3]. Cinco años después, Castle y Little, indicaron una proporción de 2:1, al obtener 800 ratones amarillos y 345 no amarillos, sumados a los datos de Cuénot, comprobaron que se formaban homocigotos amarillos, pero morían antes de nacer. Es decir, el gen para color amarillo era dominante para el color del pelo, pero también tenía un efecto letal recesivo, dando como explicación que los ratones amarillos son siempre heterocigotos porque los homocigotos mueren en fase

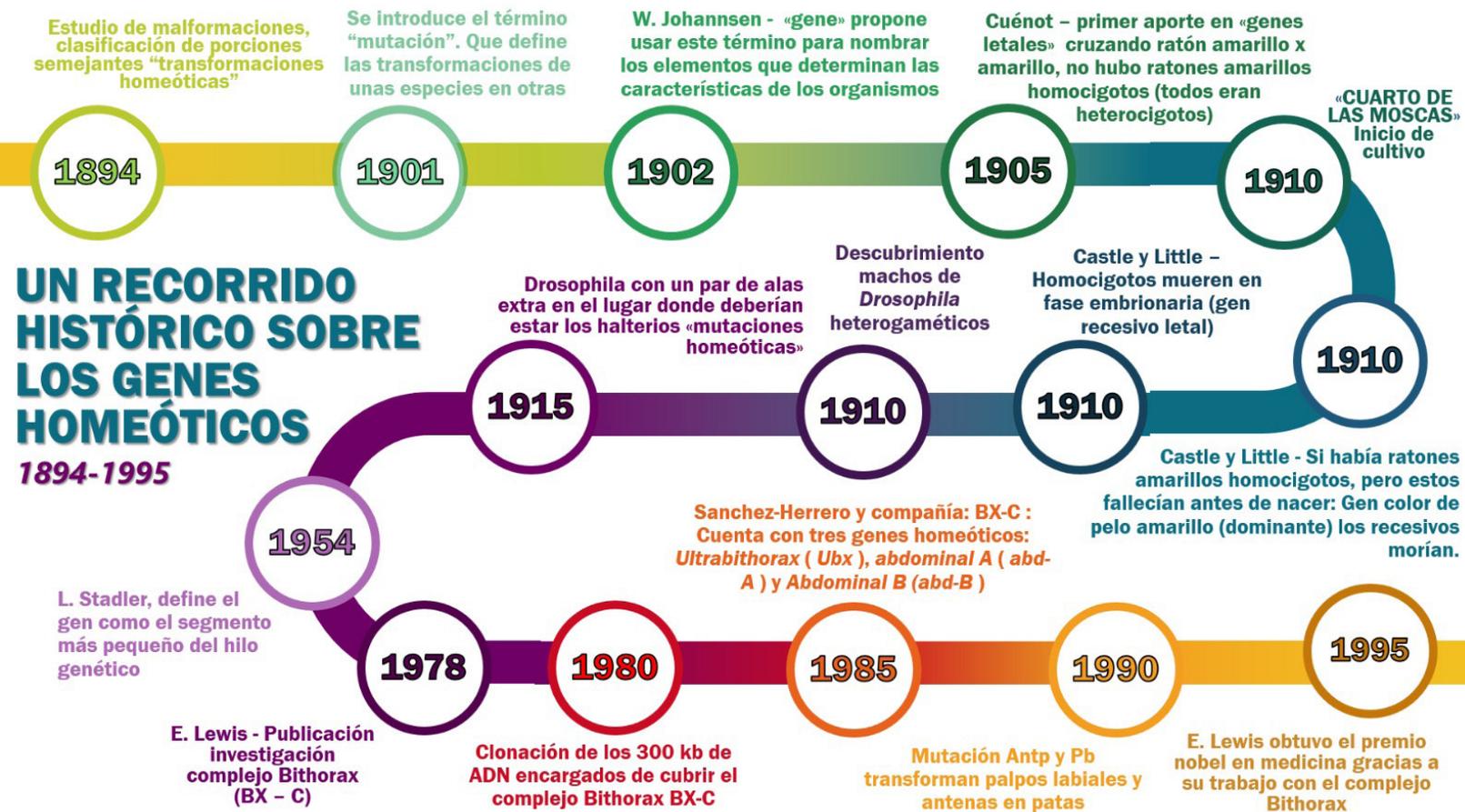


Figura 2. Esquema de los complejos de la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster*.

embrionaria. Por tanto, el alelo que produce color amarillo es dominante respecto al color y recesivo con relación al efecto letal [3].

En el mismo año, se inició el cultivo de la mosca de fruta *Drosophila Melanogaster* en la universidad de Columbia, el cual duró alrededor de 17 años. En lo que se denominó como «el cuarto de las moscas», se observó que los machos generaban gametos que contienen distintos tipos de cromosomas sexuales, confiriéndoles una propiedad de organismos heterogaméticos [3].

En 1915, se encontró una mosca con un par de alas extra en el lugar donde deberían estar los halterios (estructuras que brindan estabilidad en el vuelo), mutación que sustituye el patrón de una parte del genoma y su expresión fenotípica [4]. Al ser tan utilizada la mosca de la fruta en experimentos mutagénicos, genéticos y descriptivos, Morgan nombró a *Drosophila melanogaster* como el modelo animal en genética, debido a diversas mutaciones, las cuales recibieron el nombre de «mutaciones homeóticas» [1].

En 1954, Lewis Stadler, define el gen como el segmento más pequeño del hilo genético [2], posteriormente en 1978, Edward Lewis publica un trabajo sobre su investigación en el complejo Bithorax (BX-C) analizando un conjunto de mutaciones de *D. melanogaster* las cuales afectan la identidad de regiones como: el tercer segmento torácico y ocho segmentos abdominales [5].

En la década de los 80's se da por primera vez la replicación de los 300 kb de ADN encargados de cubrir el BX-C [5], para el año 1985 Sanchez-Herrero y colaboradores, presentaron el primer análisis del BX-C, indicando que se subdivide en tres genes homeóticos principales: Ultrabithorax (Ubx), Abdominal A (abd-A) y Abdominal B (abd-B), los cuales juegan un papel vital en el desarrollo anatómico del tórax posterior, el abdomen y los genitales del individuo [6].

El complejo Antennapedia (ANT-C), es el

otro complejo de genes homeóticos que tiene *Drosophila melanogaster* y es el encargado de controlar y dirigir el desarrollo de los segmentos que forman la cabeza y el tórax anterior [7]. Además, estos genes desencadenan la activación de otros genes en cascada, lo que regula específicamente cada segmento del individuo, como el correcto desarrollo de las antenas y su ubicación espacial en la cabeza del organismo [4].

En 1990, se demuestra que en el complejo Antennapedia (ANT-C) mutaciones en: a) El gen Antennapedia (Antp), transforma las antenas de las moscas en las segundas patas torácicas. b) El gen Proboscipedia (Pb) transforma los palpos labiales en las primeras patas torácicas, esclareciendo que los segmentos afectados durante la formación del embrión reflejarán la mutación en la mosca adulta.

Las investigaciones en función de los genes maestros relacionados con *D. melanogaster* se agrupan en dos grandes complejos: el ANT-C y el BX-C, quienes se encargan de activar los genes homeóticos encargados de dirigir la formación del individuo. El embrión presenta segmentos que a su vez se subdividen en varias regiones, en estas, se activan genes específicos que permiten el desarrollo y ubicación correcta de las estructuras y órganos a formarse, por ejemplo, la correcta ejecución del gen Ubx que permite la formación y localización del tercer par de patas (Fig. 1) [7].

Cabe destacar que Edward Lewis obtuvo el premio nobel en medicina gracias a su trabajo con el BX-C en el año 1995 [4].

Como se pudo observar a lo largo de este artículo, el conocimiento sobre los genes homeóticos ha experimentado un avance continuo, la acumulación de estudios, experimentos, hipótesis y teorías han permitido llegar a lo que hoy sabemos sobre estos genes reguladores. El descubrimiento de estos representó un hito fundamental en la biología moderna, ya que revolucionó nuestra comprensión sobre cómo se organiza y desarrolla el cuerpo de los seres vivos. Demostrando que un solo conjunto

de genes altamente conservados y específicos pueden controlar la identidad y organización de los segmentos corporales, dirigiendo el desarrollo anatómico, tanto en insectos como en vertebrados. Agregando, que la información que se tiene sobre estos genes maestros presenta un impacto directo en la medicina, ayudando a descifrar malformaciones congénitas y promoviendo avances en campos como la biología evolutiva del desarrollo y la medicina regenerativa. **iBIO**

## Referencias

- [1] Curtis, H., Barnes, S., Massarini, A., & Schnek, A. (2008). *Curtis Biología* (7.a ed.). Panamericana. <http://www.curtisbiologia.com/d1894>
- [2] Barahona, A. R. (1994). Gene y mutación: una revisión histórica. *Llull: Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 17(32). <https://dialnet.unirioja.es/revista/1511/A/1994>
- [3] Sturtevant, A. H. (1965). *A history of genetics*. (1.a ed.). Cold Spring Harbor Laboratory Press. [https://www.unioviado.es/esr/pp/una\\_historia\\_de\\_la\\_genetica.pdf](https://www.unioviado.es/esr/pp/una_historia_de_la_genetica.pdf)
- [4] Zurita, M. (2002). Los genes homeóticos y el desarrollo de la mosca de la fruta. *Ciencias*, 65(1). <https://www.revistacienciasunam.com/en/88-revistas/revista-ciencias-65/777-los-genes-homeoticos-y-el-desarrollo-de-la-mosca-de-la-fruta.html>
- [5] Maeda, R. K., & Karch, F. (2006). The ABC of the BX-C: the bithorax complex explained. *Development*, 133(8). <https://doi.org/10.1242/dev.02323>
- [6] Sánchez-Herrero, E., Vernós, I., Marco, R., & Morata, G. (1985). Genetic organization of *Drosophila* bithorax complex. *Nature*, 313. <https://doi.org/10.1038/313108a0>
- [7] Kaufman, T. C., Seeger, M. A., & Olsen, G. (1990). Molecular and Genetic Organization of The Antennapedia Gene Complex of *Drosophila melanogaster*, 27(1). [https://doi.org/10.1016/S0065-2660\(08\)60029-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2660(08)60029-2)

# Publica con nosotros

## ¿Qué artículos se reciben?

Se aceptarán trabajos escritos en español o inglés cuyo tema central sean la biotecnología o los bioprocesos. Se publican únicamente artículos originales y de revisión, siempre y cuando su objetivo sea la divulgación. Los trabajos deberán estar escritos con lenguaje sencillo, siendo el público objetivo estudiantes de bachillerato, licenciatura y posgrado.

## ¿Quién puede escribir?

Se reciben colaboraciones de técnicos, investigadores, administrativos, alumnos, representantes de empresas de base científica, divulgadores y periodistas científicos de cualquier institución nacional o internacional.

## ¿Qué debe contener tu manuscrito?

1. **Carta de presentación**
  - i. **Título del artículo en español e inglés** (Máximo 12 palabras).
  - ii. **Autor(es)**: Nombres y apellidos de cada autor acompañados de su afiliación institucional. Máximo se aceptan 3 autores para secciones largas, y dos para secciones cortas. Incluir el correo electrónico del autor de correspondencia.
  - iii. **Resumen en español e inglés**: Máximo 100 palabras cada uno.
  - iv. **Palabras clave en español e inglés** (3 palabras clave que describan el contenido del manuscrito).
2. **Carta de originalidad**
3. **Artículo en formato Word**
  - i. **Título del artículo en español e inglés** (Máximo 12 palabras).
  - ii. **Resumen en español e inglés**: Máximo 100 palabras cada uno.
  - iii. **Palabras clave en español e inglés** (3 palabras clave que describan el contenido del manuscrito).
  - iv. **Texto**: Mínimo 9,000 y máximo 10,000 caracteres totales para secciones largas. Mínimo 4,500 y máximo 5,000 caracteres totales para secciones cortas. El conteo de caracteres totales incluye espacios. La extensión del texto no incluye las referencias, los títulos, los datos de los autores, las palabras clave, el resumen ni los pies de figura.
  - v. **Por lo menos 2 imágenes citadas en el texto**: propias, sin derechos de autor o referenciadas, que apoyen al entendimiento de su manuscrito. Deben estar en formato PNG, JPG o JPEG, mínimo de 300 ppi y requieren estar acompañadas de su correspondiente pie de figura.
  - vi. **Referencias**: En formato APA, incluyendo identificador DOI, citas dentro del texto entre corchetes y en negritas. Mínimo 2 y máximo 6 referencias.

## ¿Cómo envío mi manuscrito?

Revisa información complementaria y envía tu manuscrito a través de nuestra plataforma:

<https://revistaibio.com/ojs33/index.php/main/about/submissions>

