

Revista de
divulgación
científica



Biotecnología a la vanguardia



El potencial de lo
diminuto

Revista de divulgación científica iBIO,
Año 8, No. 1, marzo 2026 - junio 2026,
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.sánchezvarg@gmail.com](mailto:jessica.sanchezvarg@gmail.com).
Editor responsable: Jessica Sánchez
Vargas. Certificado de Reserva de De-
rechos 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 actualiza-
ción de este número: Dra. Jessica
Sánchez Vargas. Fecha de última mo-
dificación: 18 de enero de 2026. Tama-
ño del archivo: 25.4 MB.

Los derechos de publicación y distri-
bución de los artículos pertenecen a la
Revista de divulgación científica iBIO.
Los artículos se publican bajo un li-
cenciamiento de tipo:
Reconocimiento - No Comercial - Sin
Obra Derivada (CC BY-NC-ND 4.0).

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

Las portadas utilizadas en este núme-
ro fueron generadas por la inteligencia
artificial del software InDesign.

Directorio

Editor en jefe
Jessica Sánchez Vargas

Editor subjefe
Isauro Guzman Cortez

Editores asociados
Viridiana W. Velázquez Vázquez
Briseida Flores Tufiño
Olga B. Benítez López
Francisco J. Valdés Parada
Jesús Torres Rizo
Claudia Sinahi Ortega Aguilar
Ana Isabel Cota Magaña
Alejandro Lara Meléndez

Galerado
Jessica Sánchez Vargas

Redes sociales
Bryan A. Polito Palma
Mariana Abigail Montante Arenas



revistaibio.com



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

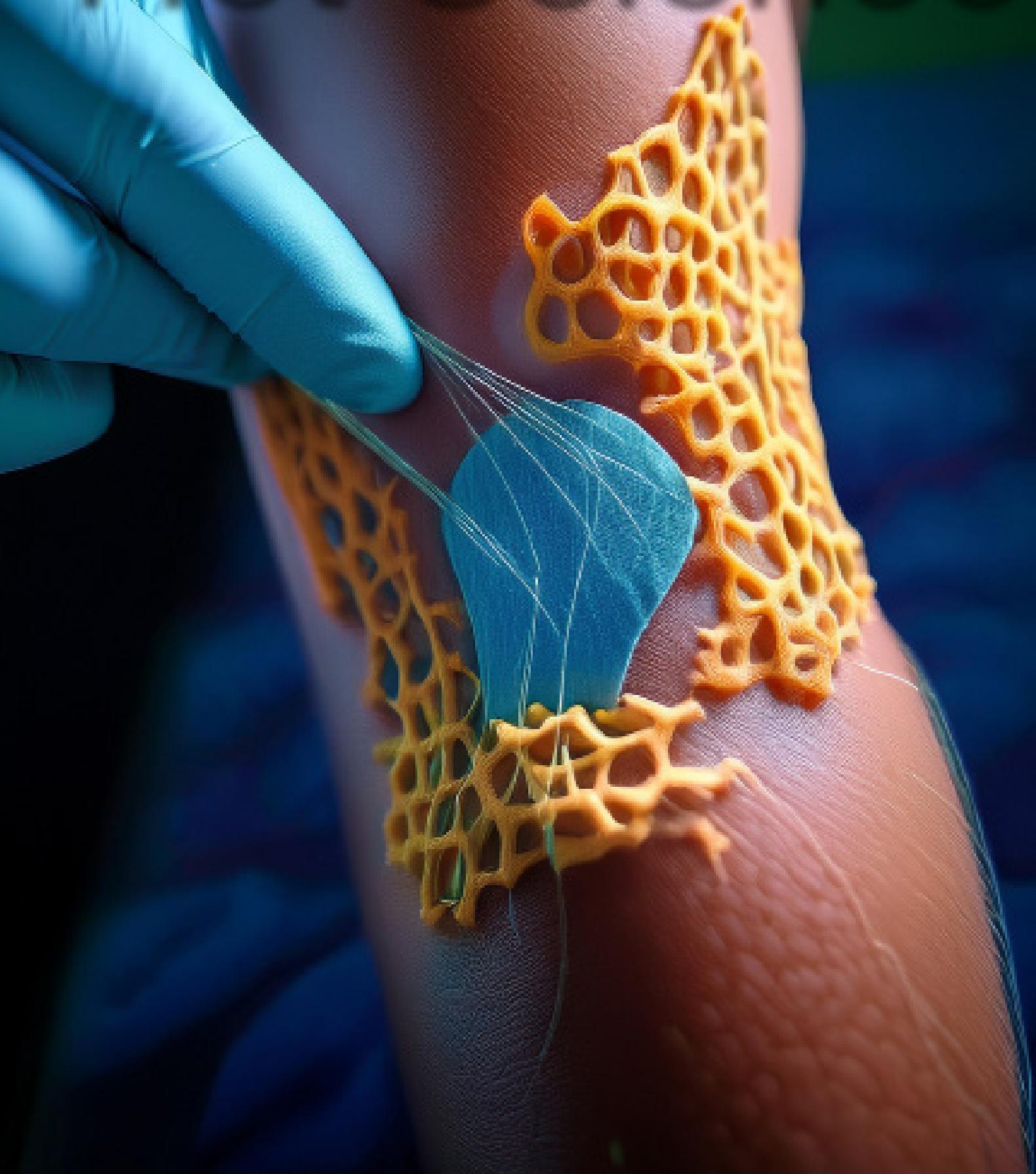


[ibio.revista](https://www.instagram.com/ibio.revista)

Contenido

Artículo	Pág.	Dificultad de la lectura
Hot Science		
Polímeros inteligentes: Las cadenas que saben cortar por lo sano <i>Esperanza Peralta-Cuevas, Nahomi Y. Degollado-Hernández, Francisca Villanueva-Flores</i>	4	
No era una pócima, era un remedio <i>José Nabor Haro-González; Hugo Espinosa-Andrews</i>	10	
Nanotecnología en alimentos: el caso de la curcumina como modelo de biodisponibilidad, seguridad y evidencia clínica <i>Esperanza Peralta-Cuevas, Nahomi Y. Degollado-Hernández, Iliana Chantal Martínez-Ortiz, Francisca Villanueva-Flores</i>	16	
Luces de Navidad y noches en vela: la ciencia del jet lag navideño <i>Juan A. Juárez-Antonio, Ashley J. Gutiérrez-Onofre, Francisca Villanueva Flores</i>	22	
¿Cómo funciona?		
Virus al servicio de la ciencia: silenciamiento y expresión génica en plantas <i>Mariana Sepúlveda Pérez, Julio Armando Massange Sánchez, Rafael Urrea López</i>	30	
Producción de biogás a partir de residuos orgánicos: Aprovechamiento sostenible para generación de energía limpia <i>Vanessa Rodríguez-Medina, Wenceslao Bonilla-Blancas</i>	37	
Bioquímica a través del tiempo y espacio: Perspectiva desde el modelado matemático <i>Bruno Alberto Ortiz García, María Isabel Neria-González, Ricardo Aguilar-López</i>	46	
Concientífica		
Enemigos invisibles: Contaminación y bacterias resistentes a antibióticos en cuerpos de agua <i>Santiago Reyes, Natalia Fernández, José A. Di-Conza</i>	52	
Ingeniería de biomateriales para mejorar la vida humana <i>Jorge Luis Hernández Morelos, Ana Karen Galvez Larios, Alfredo Brito Franco</i>	58	
Emisiones de óxido nitroso en plantas de tratamiento de aguas residuales <i>Alba C. Macedo-Sánchez, Paloma Barajas-Alvarez</i>	64	
Más allá del sabor: ¿Cómo elegir un snack funcional? <i>Jaqueline Romo-Tovar, Araceli Loredo Treviño, Mayela Govea Salas</i>	70	
Medicamentos para bajar de peso, ¿una alternativa saludable? <i>Julio César Alonso-Vázquez, Carolina Díaz-Canul, Rebeca Escutia-Gutiérrez</i>	79	
Microbichos		
El microbioma oral: El ecosistema invisible que impacta tu salud <i>Ana Sofía Alvarado Bautista, Julian Andres Largo Lopez</i>	87	
Leuconostoc mesenteroides: Un microorganismo clave en la fermentación y la biotecnología moderna <i>Elsa Díaz-Montes</i>	94	
Aliados invisibles: Bacterias al servicio de nuestros cultivos <i>Isaí Ismael Bahena-Contreras, Macdiel Acevedo-Quiroz, Patricia Álvarez-Fitz</i>	100	

Hot Science



Polímeros inteligentes: Las cadenas que saben cortar por lo sano

Smart polymers: Chains that know when to make the clean cut

Resumen

Los polímeros inteligentes son materiales capaces de responder a estímulos como la temperatura o el pH, modificando su estructura para liberar medicamentos de forma controlada. Funcionan como “guardianes moleculares” que solo actúan en el momento y lugar precisos, mejorando la eficacia y reduciendo los efectos secundarios. En el IPN se han aplicado estos principios para crear un apósito inteligente que trata heridas crónicas al liberar compuestos antimicrobianos y cicatrizantes al detectar una infección. Su bajo costo facilita la producción a gran escala y su acceso en comunidades vulnerables. Este enfoque promete aplicaciones futuras en oncología, medicina regenerativa e infecciones.

Palabras clave: Polímeros inteligentes, liberación controlada de fármacos, respuesta a estímulos.

Summary

Smart polymers are materials that respond to stimuli, such as temperature or pH, and alter their structure to release drugs in a controlled manner. They function as “molecular guardians” that act only at the precise moment and location, enhancing effectiveness and reducing side effects. At the National Polytechnic Institute (IPN), these principles have been applied to develop an intelligent dressing for chronic wounds, which releases antimicrobial and healing compounds upon detecting an infection. Its low cost facilitates large-scale production and access in vulnerable communities. This approach holds promise for future applications in oncology, regenerative medicine, and infection control.

Keywords: Smart polymers, controlled drug release, stimulus-responsive.

Esperanza Peralta-Cuevas¹

Nahomi Y. Degollado-Hernández^{1,2}

Francisca Villanueva-Flores¹

¹Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Instituto Politécnico Nacional, Boulevard de la Tecnología, 1036 Z-1, P 2/2, 62790 Atlacholoaya, Morelos, México.

²Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos, Av. Universidad Tecnológica 1, Palo Escrito, 62765, Emiliano Zapata, Morelos, México.

Autor para la correspondencia:
fvillanuevaf@ipn.mx

Introducción

Vivimos rodeados de tecnología “inteligente”. En ciencia de materiales, eso significa crear polímeros que sienten su entorno y responden. Nuestra piel ya lo hace: cuando algo roza o irrita, cambia y se repara. El nexo es claro: si la naturaleza ajusta sus tejidos según las señales, también podemos diseñar materiales que reaccionen para ayudar al cuerpo a sanar mejor y con menos dolor.

En medicina, esto se traduce en terapias autorreguladas: polímeros que, al detectar cambios de pH o de temperatura, ajustan su forma o sus poros para liberar el fármaco justo donde hace falta y en la cantidad necesaria. “Liberación controlada” significa que el medicamento no sale de golpe, sino a un ritmo y dosis previsibles, por ejemplo, más rápido en un tejido inflamado y más lento en los sanos,

lo que reduce dolor, riesgos y efectos secundarios. En términos simples, un polímero es una cadena de monómeros repetidos; los “inteligentes” añaden la capacidad de cambiar de estado de manera reversible en función de la señal que reciban y, con ello, dosificar su contenido de forma predecible (Figura 1) [1].

Y más allá de la salud, ya asoman aplicaciones cotidianas: en cosmética, cremas que liberan activos según el pH de la piel o protectores que refuerzan su filtro con la luz UV; en textiles, fibras que ventilan al sudar, aíslan con frío o se autorreparan tras un rasguño; en hogar e industria, pinturas que sellan microgrietas, envases que cambian de color si un alimento se estropea y adhesivos que se sueltan con calor o luz [2]. Misma lógica en todos los casos: materiales que escuchan al entorno y responden para hacernos la vida más segura, cómoda y eficiente.

Interruptores moleculares en acción

Para entenderlo, imagina una esponja inteligente. Si el ambiente se calienta o se vuelve más ácido, “se exprime” y libera el fármaco; cuando el entorno mejora, “se relaja” y deja de liberarlo. Detrás hay enlaces químicos que se unen y se separan en función del estímulo. Con esta base, pasemos a los usos reales.

Algunos polímeros responden a la temperatura: presentan una LCST (temperatura crítica de transición). Por encima de esa LCST, se contraen y expulsan agua (y parte del fármaco); por debajo, se hidratan y lo retienen. Un ejemplo clásico es el poli(N-isopropilacrilamida) (PNIPAM), que se colapsa alrededor de 32 °C [3]. Esta lógica ya se aplica en la práctica: lentes de contacto que dosifican fármacos para el glaucoma, apósitos como AQUACEL® Ag, que liberan plata cuando la herida está húmeda, y

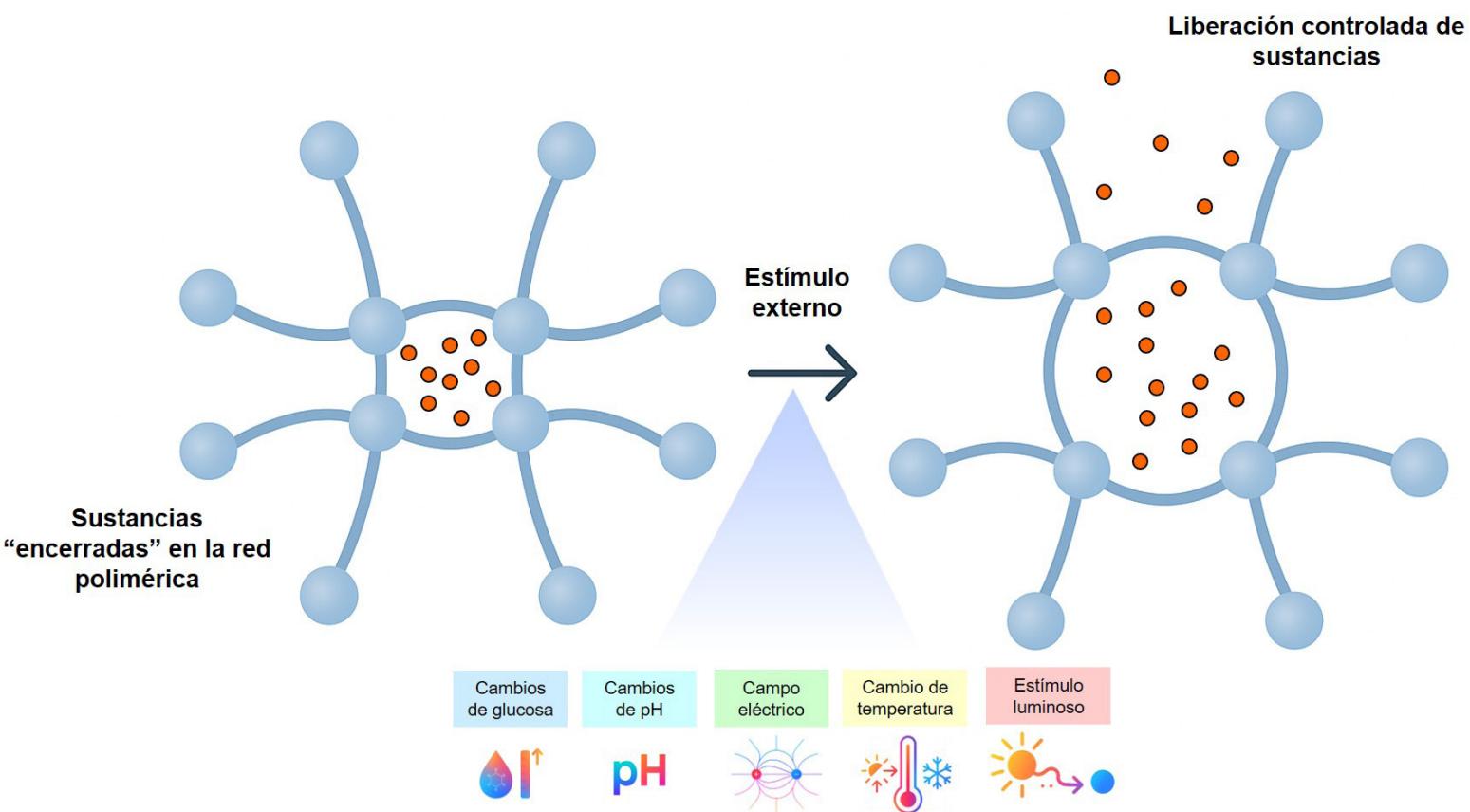


Figura 1. Funcionamiento de un polímero inteligente. La malla molecular atrapa pequeñas moléculas y, ante un estímulo (p. ej., cambio de pH, temperatura o humedad), se contrae o se expande y libera el fármaco de forma dosificada, entregándolo cuando y donde se necesita.

sistemas sensibles a la glucosa, hoy en evaluación clínica [4]. En suma, son materiales que “escuchan” el entorno y actúan únicamente cuando hace falta.

Hidrogeles que ‘escuchan’ la herida: liberación inteligente

¿Qué aportamos nosotros y por qué importa? En el Instituto Politécnico Nacional (CICATA Unidad Morelos) desarrollamos un apósito de una mezcla de biopolímeros naturales y accesibles que responde a pH ácido, a la humedad y a enzimas asociadas a la infección. El prototipo se aplica como un parche hidrogel flexible y recortable: se coloca sobre la herida limpia y se fija con una venda o con un film semipermeable; en superficies amplias puede colocarse en módulos contiguos. Si la herida se inflama y el pH disminuye, la matriz se abre y libera más fármaco (nanocurcumina y péptidos antimicrobianos); cuando la herida mejora, la liberación disminuye. Así conectamos la ciencia del material con una solución concreta, fabricada en agua y a baja temperatura, pensada para sistemas de salud con recursos limitados y validada a nivel de prototipo (Figura 2) [5].

Además del formato de parche, el mismo material puede prepararse como lámina fina o compresa absorbente para heridas superficiales e irregulares, manteniendo el mecanismo de liberación sensible al entorno. Su producción de bajo costo facilita la fabricación a gran escala y su disponibilidad en contextos con acceso limitado a tratamientos avanzados.

Este enfoque representa una ventaja frente a los tratamientos convencionales en heridas crónicas (como pie diabético, úlceras por presión y lesiones postquirúrgicas complejas). El control inteligente de la liberación puede acelerar la cicatrización, reducir complicaciones y disminuir las visitas a los centros de salud, con beneficios clínicos y económicos para pacientes y sistemas de salud.

La visión de futuro va más allá: no se trata solo de crear materiales que respondan a estímulos, sino de integrarlos con sensores y algo-

ritmos de IA que optimicen la respuesta según las condiciones de cada paciente, ajustando dosis y tiempos de liberación de forma personalizada.

En oncología, por ejemplo, podrían diseñarse para reconocer marcadores específicos de células tumorales y liberar fármacos directamente en el microambiente tumoral, minimizando los daños a los tejidos sanos. En medicina regenerativa, liberar factores de crecimiento justo cuando el tejido lo necesite. Y en el manejo de infecciones, actuar como centinelas químicos, liberando defensas únicamente cuando detecten señales de amenaza.

Lo fascinante es que, pese a su complejidad, la base conceptual es sencilla: cadenas moleculares que actúan como interruptores adaptativos, se encienden o se apagan según el entorno, guiadas por señales químicas o físicas, como cambios de pH, temperatura, luz o concentración de sales. En la escala nanoscópica, miles de veces menor que el grosor de un cabello, esas cadenas realizan giros conformacionales; sufren protonación (ganan o pierden protones), lo que modifica su comportamiento; y experimentan cambios de hidratación al atraer o liberar moléculas de agua, como una esponja. A escala humana, esto se traduce en menos dolor, menos riesgos y tratamientos más eficaces. En un futuro cercano, estos guardianes invisibles podrían trabajar dentro de nosotros de forma continua, ajustando la terapia en el lugar y en el momento precisos.

Limitaciones y desafíos

Siendo claros, el cuerpo no es uniforme. El pH, la humedad y las defensas varían de una zona a otra, y cualquier material debe funcionar de forma segura y predecible en esas condiciones reales. Además, debe producirse siempre de la misma manera y a un costo razonable. Por eso avanzamos paso a paso: probamos, medimos, ajustamos las fórmulas para que no irriten, y realizamos estudios controlados antes de usarlas en personas. En pocas palabras: el potencial es grande, pero seguiremos con evi-

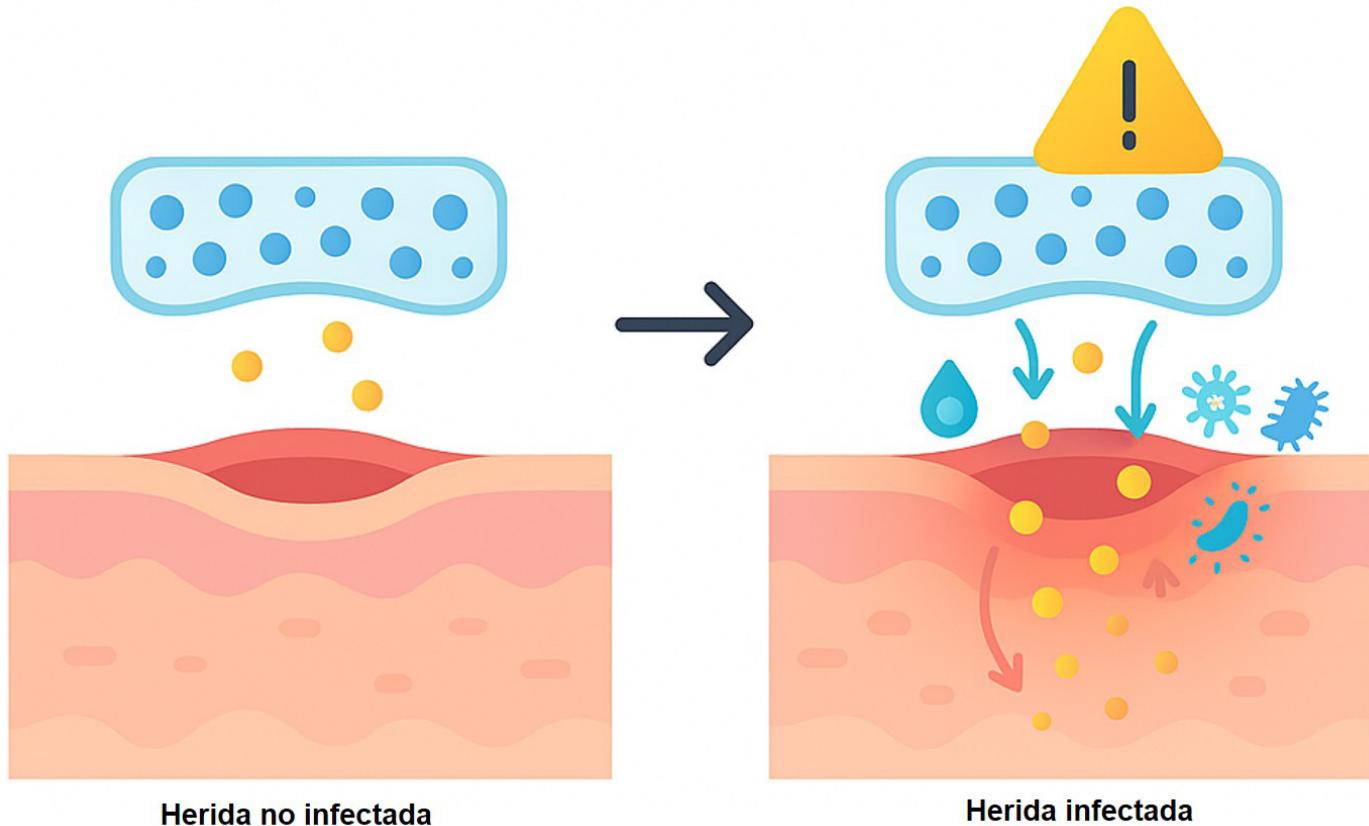


Figura 2. Parche inteligente para heridas. Se aplica como lámina de hidrogel recortable, colocada sobre la herida limpia y fijada con venda o película semipermeable. En condiciones estables, la liberación es lenta; ante señales de infección (más humedad, mayor acidez), el polímero libera más fármaco de forma focalizada, lo que ayuda a controlar los gérmenes y a acelerar la cicatrización.

dencia y prudencia para que estas soluciones lleguen a la práctica clínica de forma segura [6].

También es fundamental que estos sistemas sean biocompatibles y biodegradables, que se descompongan en sustancias seguras y que no se acumulen. Fabricarlos, además, exige un control milimétrico: cada lote debe salir idéntico, estable durante el almacenamiento y el transporte, y con un rendimiento predecible, lo que hoy implica procesos complejos y costosos. Finalmente, su uso médico requiere ensayos rigurosos y evaluaciones prolongadas para demostrar su seguridad y beneficios reales. En síntesis, el potencial es enorme, pero todavía hay camino por recorrer para que estos “guardianes moleculares” salten del laboratorio a la práctica cotidiana.

Conclusiones

Los polímeros inteligentes son materiales que detectan cambios en la herida (como una

mayor humedad o acidez) y liberan solo la cantidad necesaria de tratamiento, justo cuando se requiere. Ya existen ejemplos de apósticos para heridas crónicas y, combinados con sensores e inteligencia artificial, podrán avisar antes de que aparezcan complicaciones y ajustar la terapia en tiempo real.

Próximo paso: seguir comprobando que son seguros, efectivos y accesibles, explicar sus beneficios con un lenguaje sencillo y trabajar con el personal de salud y las autoridades para que estas soluciones lleguen a quienes más las necesitan. El objetivo final es claro: menos dolor, menos infecciones y una cicatrización más rápida y digna para las personas. **iBIO**

Agradecimientos

Se agradece el financiamiento otorgado por los proyectos SIP20242814, SIP20250306, SIP20251096 y SIP20254781 del Instituto Politécnico Nacional, así como el proyecto de CBF-2025-I-1532 de la Convocatoria de Ciencia Básica y de Frontera 2025 de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI). para la realización de este trabajo. Se declara que se utilizó la herramienta ChatGPT-4 únicamente como apoyo para la revisión ortográfica y la mejora de la claridad del estilo de redacción en algunas secciones del texto, sin comprometer la originalidad ni el rigor científico del manuscrito.

Referencias

- [1] Villanueva-Flores, F., Miranda-Hernández, M., Flores-Flores, J. O., Porras-Sanjuanico, A., Hu, H., Pérez-Martínez, L., Ramírez, O. T., & Palomares, L. A. (2019). Poly(vinyl alcohol co-vinyl acetate) as a novel scaffold for mammalian cell culture and controlled drug release. *Journal of Materials Science*, 54(10), 7867–7882. <https://doi.org/10.1007/s10853-019-03402-1>
- [2] Villanueva-Flores, F., & Palomares, L. A. (2022). Low-cost poly(vinyl formal) for heavy metal removal from water of a polluted river. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 12(1), 52–65. <https://doi.org/10.2166/wrd.2022.077>
- [3] Heskins, M., & Guillet, J. E. (1968). Solution Properties of Poly(N-isopropylacrylamide). *Journal of Macromolecular Science: Part A - Chemistry*, 2(8), 1441–1455. <https://doi.org/10.1080/10601326808051910>
- [4] Convatec. (2024). AquacelTM. <https://www.convatec.com/es-co/productos/cuidado-avanzado-de-heridas/marcas-comerciales/pc-wound-aquacel/>
- [5] Villalobos, C. (31 de mayo de 2024). Parche inteligente para tratar heridas crónicas. *Gaceta Politécnica*, Instituto Politécnico Nacional (IPN), 174, 13–15.
- [6] Balcerak-Woźniak, A., Dzwonkowska-Zarzycka, M., & Kabatc-Borcz, J. (2024). A Comprehensive Review of Stimuli-Responsive Smart Polymer Materials—Recent Advances and Future Perspectives. *Materials*, 17(17), 4255. <https://doi.org/10.3390/ma17174255>

Hot Science



No era una pócima, era un remedio

It wasn't a potion, it was a remedy

Resumen

No hay gripe que resista los remedios de doña Chole: ajo, cebolla y jengibre. Más allá del sabor y el olor desagradable, estos ingredientes poseen propiedades biológicas de interés para la salud humana científicamente respaldadas. Son broncodilatadores, antimicrobianos y antiinflamatorios naturales, capaces de aliviar síntomas respiratorios y fortalecer el sistema inmune. Cargados de compuestos bioactivos, su uso trasciende la tradición. Hoy, su potencial terapéutico despierta interés en la ciencia e investigación y abre camino a tratamientos complementarios frente a enfermedades respiratorias. Una pócima que científicamente parece magia.

Palabras clave: Bioactivos, salud respiratoria, medicina tradicional.

Summary

There is no flu that can resist Doña Chole's remedies: garlic, onion and ginger. Beyond the unpleasant taste and smell, these ingredients possess scientifically backed biological properties of interest to human health. They are natural bronchodilators, antimicrobials and anti-inflammatories, capable of relieving respiratory symptoms and strengthening the immune system. Loaded with bioactive compounds, their use transcends tradition. Today, its therapeutic potential arouses interest in science and research and opens the way to complementary treatments for respiratory diseases. A potion that scientifically looks like magic.

Keywords: Bioactives, respiratory health, traditional medicine.

José Nabor Haro-González*
Hugo Espinosa Andrews

Unidad de Tecnología de Alimentos, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), Jalisco, México.

*Autor para la correspondencia:
joharo_al@ciatej.edu.mx

En cinco días terminaban mis vacaciones, pero mi mamá enfermó de una gripe tremenda. Pensé: ¿cómo podría ayudarla a sentirse mejor para regresar tranquilo al trabajo, sabiendo que ella estaría bien? Entonces, apareció doña Chole, nuestra vecina, experta en remedios caseros, y me dijo con voz firme:

—¡Pon atención, que no lo voy a repetir! En una olla vas a poner media cebolla morada, tres dientes de ajo, un trozo de jengibre, medio limón y miel para endulzar. Al quinto día, ya le sabrá.

Desesperado por detener el sufrimiento de mí mamá, seguí el consejo de doña Chole. Tomé los ingredientes y preparé la curiosa mezcla, mientras luchaba contra las náuseas y me sentía como una bruja frente a su caldero (Figura 1). Agregué los ingredientes uno por uno, recordando que hace unos años, uno de mis más brillantes estudiantes de la Maestría en Ciencias, me habló apasionadamente sobre las propiedades y beneficios del ajo, mientras intentaba convencerme de que su tesis debía tratar sobre eso. Aunque sonó interesante, ja-

más imaginé que oler ajo durante tanto tiempo dejara de ser desagradable.

Estando lista, serví una taza, y le llevé la “pócima de doña Chole” confiando en que haría su magia. Aquel penetrante aroma era peor que el de un basurero público. Se la acerqué, y, para mi sorpresa, mi mamá se la tomó sin hacer un solo gesto de desagrado. Incluso exclamó que se sentía mejor.

Pasaron un par de días, y noté que procuraba más aquella pócima. Su semblante mejoraba, pero para mí, el intenso olor solo empeoraba. Al tercer día, de la nada, me dijó que el té se había echado a perder y que le preparara uno nuevo. Entre tan desagradable aroma, no lo dudé y le hice otro desde cero. Sin embargo, ocurrió algo curioso: a pesar de que estaba recién preparado, ella comentó que el sabor ya no era tan agradable. Al quinto y último día, lo escupió. Fue en ese momento que supe que la pócima había cumplido su misión, tal como doña Chole lo dijo (Figura 1).

Con mi madre ya de mejor salud, el lunes regresé al laboratorio. Decidí investigar por qué la “pócima” había resultado tan efectiva: revisé las notas de aquel alumno, hoy doctor en

ciencias, consulté artículos y analicé cada ingrediente. Entonces lo comprendí todo.

El ajo (*Allium sativum L.*) es una planta de la familia *Alliaceae*, originaria de Asia. Aparte de su aplicación en la gastronomía como condimento y especia, el ajo ha sido apreciado por miles de años por sus características medicinales [1, 2]. Su potencial medicinal se atribuye a los compuestos organosulfurados, como los dialil disulfuros (DADS) y los dialil trisulfuros (DATS), que son los responsables de su característico y distintivo olor; así como de sus propiedades biológicas (efectos sobre procesos celulares y fisiológicos, por ejemplo, actividad antioxidante, antiinflamatoria y antimicrobiana).

Los más de treinta componentes identificados del ajo han demostrado ser benéficos para la salud (moléculas con efectos fisiológicos favorables asociados a la prevención o coadyuvancia terapéutica), como flavonoides (kaempferol, quer cetina y miricetina), polisacáridos (fructanos), saponinas, ácidos grasos (láurico y linoleico), enzimas, vitaminas (A, B1 y C), minerales (calcio, cobre, hierro, potasio, magnesio, zinc y selenio) y aminoácidos [1, 2].

Las investigaciones preclínicas (*in vitro* e *in vivo*) y clínicas controladas aleatorias han demostrado la eficacia del ajo y sus compuestos

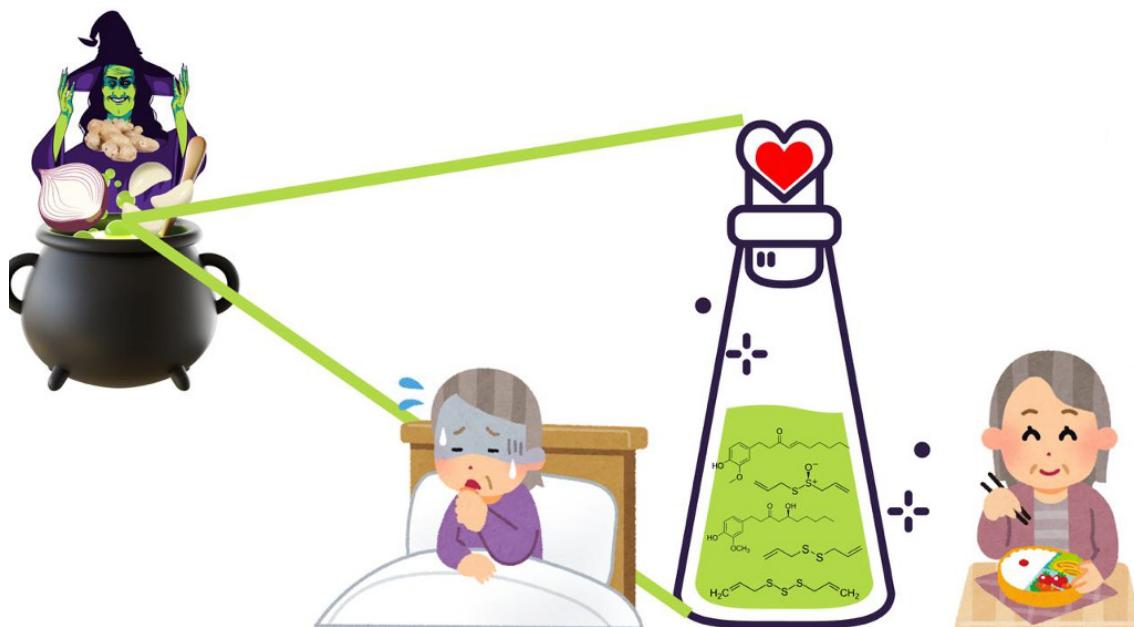


Figura 1. La pócima mágica de doña Chole.

organosulfurados frente a agentes patógenos responsables de infecciones respiratorias (influenza, parainfluenza, coronavirus, SARS-CoV, adenovirus y rinovirus), inmunosupresión (VIH y virus de la reticuloendoteliosis), infecciones de transmisión sexual (virus del herpes simple y citomegalovirus), enfermedades neurológicas (coxsackie B, echovirus y enterovirus) y trastornos gastrointestinales (rotavirus) y se ha reportado de su actividad contra al dengue o la hepatitis A. Los mecanismos detrás de estos efectos incluyen la inhibición de la entrada y fusión del virus en las células huésped, la interferencia en la replicación y la modulación de la respuesta inmune. Además, el consumo de ajo fortalece al sistema inmune mediante la inmunidad innata (activación de macrófagos y células NK) y potencia la adaptativa (células T y B, y citocinas de perfil antiinflamatorio) (Figura 2) [1–3].

La cebolla (*Allium cepa L.*) es un vegetal ampliamente cultivada en todo el mundo, especialmente en regiones de clima templado. Es uno de los ingredientes esenciales en la gastronomía y se valora desde tiempos antiguos por sus propiedades en la medicina tradicional. Existen diversas variedades, como la cebolla blanca, amarilla, morada, roja y verde, cada una con un sabor y usos específicos [4].

La cebolla posee una composición química rica en vitaminas (A, complejo B, C y E), minerales (potasio y manganeso) y aminoácidos azufrados como las S-alquil-L-cisteínas y sus sulfóxidos. Además de una gran variedad de metabolitos secundarios (compuestos no esenciales para el crecimiento inmediato de la planta, pero clave para su defensa, comunicación y adaptación), con importantes propiedades biológicas, como los flavonoides, particularmente flavonoles y antocianinas, fitoesteroles, saponinas y ácidos fenólicos, con importantes propiedades biológicas.

Este vegetal es fuente de compuestos azufrados, como la alicina, y otras fitomoléculas con efectos antioxidantes y antiinflamatorios, como los tiosulfinatos o glucósidos. Gracias a

esta composición, se le han atribuido efectos antidiabéticos, antihiperglucémicos, antiparasitarios, antifúngicos, antimicrobianos y antiplquetarios, además de contribuir a la prevención de enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas, reducir el riesgo de formación de cataratas y mejorar la función renal. También se ha estudiado su actividad antitumoral, dado que algunos de sus compuestos podrían disminuir el riesgo de carcinoma gástrico e inhibir la proliferación de células leucémicas [3, 4].

La cebolla ha demostrado ser un broncodilatador natural con efectos positivos en la salud respiratoria. Su capacidad para relajar la tráquea y reducir la inflamación pulmonar podría beneficiar a personas con asma, con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) y otras afecciones respiratorias. Además, su uso tradicional en el tratamiento de tos, resfriado y bronquitis está respaldado por estudios recientes que sugieren que su acción está relacionada con la inhibición de ciertas enzimas y la regulación de la respuesta inmunológica [3, 4]. Posee propiedades antimicrobianas y antivirales, debido a que sus extractos han demostrado actividad contra bacterias y hongos patógenos. La quercetina, uno de sus principales compuestos, ha demostrado interferir con la replicación de virus como el de la influenza, el COVID-19, también se demostró su efecto sobre la tuberculosis pulmonar; lo que ha despertado interés en su posible uso terapéutico (Figura 2) [3, 4].

Mientras que el jengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) pertenece a la familia Zingiberaceae, se utiliza desde hace siglos en la gastronomía y en la medicina tradicional. Es un ingrediente clave en la elaboración de bebidas, como la cerveza de jengibre, así como en dulces, panes y galletas. En la gastronomía asiática, especialmente en las cocinas japonesa, coreana y china, es un condimento indispensable. Su uso culinario ha sido empleado como remedio herbal para tratar diversas afecciones comunes, incluyendo dolores de cabeza, resfriados, náuseas y vómitos [5, 6].

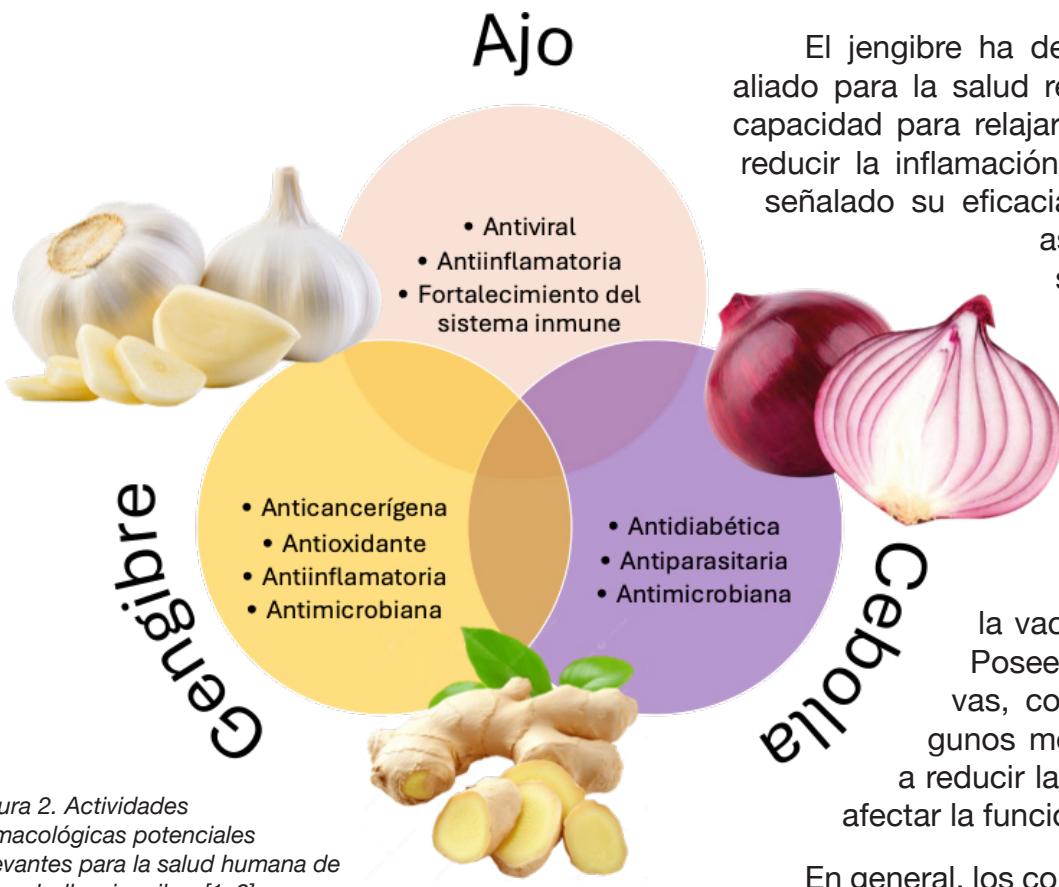


Figura 2. Actividades farmacológicas potenciales relevantes para la salud humana de ajo, cebolla y jengibre [1-6].

Su relevancia medicinal se debe a la presencia de compuestos bioactivos (sustancias que, más allá de su valor nutritivo, modulan procesos biológicos y producen efectos medibles en el organismo), entre los que destacan los gingeroles, los shogaoles y los paradoles. Estos componentes están relacionados con muchas propiedades terapéuticas, incluyendo actividad antioxidante, antiinflamatoria, antimicrobiana y anticancerígena. Así como varios estudios señalaron su potencial en la prevención y tratamiento de enfermedades neurodegenerativas, cardiovasculares, obesidad, diabetes mellitus, náuseas inducidas por quimioterapia y trastornos respiratorios.

El valor del jengibre ha sido reconocido en la Farmacopea China 2020, donde se incluyen tres formas de presentación: Shengjiang (jengibre fresco), Ganjiang (jengibre seco) y Paojiang (jengibre frito), lo que reafirma su importancia tanto en la nutrición como en la medicina tradicional [5, 6].

El jengibre ha demostrado ser un buen aliado para la salud respiratoria gracias a su capacidad para relajar las vías respiratorias y reducir la inflamación. Algunos estudios han señalado su eficacia en el tratamiento del asma, porque algunos de sus compuestos ayudan a mejorar la respuesta broncodilatadora y a controlar la inflamación alérgica. Además, fortalece la respuesta inmune, contribuyendo a potenciar el efecto de la vacuna contra la influenza. Posee propiedades antitusivas, comparables a las de algunos medicamentos, ayudando a reducir la frecuencia de la tos sin afectar la función respiratoria.

En general, los compuestos bioactivos del jengibre muestran un gran potencial en el tratamiento de diversas afecciones pulmonares, desde el asma hasta infecciones respiratorias. Su acción broncodilatadora, antiinflamatoria e inmunomoduladora lo convierte en un complemento natural para la salud pulmonar. Incluso, en casos más graves, como el síndrome de dificultad respiratoria aguda, su consumo ha demostrado ser benéfico, al mejorar el intercambio de gases y reducir la necesidad de ventilación mecánica (Figura 2) [5, 6].

El ajo, la cebolla y el jengibre, con sus propiedades broncodilatadoras, antiinflamatorias y antimicrobianas, pueden ser complementos naturales para el cuidado de la salud respiratoria, especialmente en el tratamiento de afecciones como la tos, la gripe, el asma y la bronquitis. A pesar de la amplia evidencia sobre sus beneficios para la salud humana, aún se requieren más estudios clínicos para validar sus efectos en enfermedades respiratorias obstructivas como el asma, la EPOC, la bronquitis, y enfermedades virales como la influenza o el COVID-19. Aunque la evidencia científica respalda su efectividad en el tratamiento de afec-

ciones respiratorias, su uso no debe reemplazar los tratamientos médicos convencionales.

Ahora, después de investigar los beneficios de los ingredientes de la pócima de doña Chole, podemos decir que el té de ajo, cebolla y jengibre es de interés tanto para la medicina tradicional como para la moderna. Sus compuestos naturales ayudan a combatir microbios y virus, reducen la inflamación, facilitan la respiración y dan un empujón a las defensas, por lo que pueden ayudar a prevenir y aliviar la gripe y otros malestares respiratorios, siempre como complemento médico. Sin embargo, es importante que cualquier consumo con fines terapéuticos de este u otros remedios sea valorado y autorizado por un profesional de la salud, debido al riesgo de interacciones con medicamentos y contraindicaciones.

Ahora me duele la muela, y sin decirle, Doña Chole le dijo a mi mamá que donde me dolía me pusiera un clavo de olor... ¡¿continuará?! **iBIO**

Cepa and Its Constituents on Respiratory and Allergic Disorders: A Comprehensive Review of Experimental and Clinical Evidence. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 2021, 5554259. <https://doi.org/10.1155/2021/5554259>

[5] Mao, Q.-Q., Xu, X.-Y., Cao, S.-Y., Gan, R.-Y., Corke, H., Beta, T., & Li, H.-B. (2019). Bioactive Compounds and Bioactivities of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Foods* 8(6), 185. <https://doi.org/10.3390/FOODS8060185>

[6] Hu, W., Yu, A., Wang, S., Bai, Q., Tang, H., Yang, B., Wang, M., & Kuang, H. (2023). Extraction, Purification, Structural Characteristics, Biological Activities, and Applications of the Polysaccharides from *Zingiber officinale* Roscoe. (Ginger): A Review. *Molecules*, 28(9), 3855. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES28093855>

Referencias

- [1] Rouf, R., Uddin, S.J., Sarker, D.K., Islam, M.T., Ali, E.S., Shilpi, J.A., Nahar, L., Tiralongo, E., Sarker, S.D. (2020). Antiviral Potential of Garlic (*Allium Sativum*) and Its Organosulfur Compounds: A Systematic Update of Pre-Clinical and Clinical Data. *Trends Food Sci Technol*, 104, 219–234. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2020.08.006>
- [2] Huang, L., Liu, Z., Wang, J., Fu, J., Jia, Y., Ji, L., Wang, T. (2023). Bioactivity and Health Effects of Garlic Essential Oil: A Review. *Food Sci Nutr*, 11, 2450–2470. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3253>
- [3] García-García, J., Gracián, C., Baños, A., Guillamón, E., Gálvez, J., Rodriguez-Nogales, A., Fonollá, J. (2023). Beneficial Effects of Daily Consumption of Garlic and Onion Extract Concentrate on Infectious Respiratory Diseases in Elderly Resident Volunteers. *Nutrients*, Vol. 15, Page 2308, 15, 2308. <https://doi.org/10.3390/NU15102308>
- [4] Beigoli, S., Behrouz, S., Memarzia, A., Ghasemi, S.Z., Boskabady, M., Marefati, N., Kianian, F., Khazdair, M.R., El-Seedi, H., Boskabady, M.H. (2021). Effects of Allium

Hot Science



Nanotecnología en alimentos: el caso de la curcumina como modelo de biodisponibilidad, seguridad y evidencia clínica

Food nanotechnology: Curcumin as a model for bioavailability, safety, and human evidence

Resumen

Con la curcumina como ejemplo, este artículo muestra cómo la nanotecnología alimentaria actúa como un sistema nanotransportador que protege y entrega moléculas frágiles. Resume sus acciones antiinflamatorias y antibacterianas, y explica por qué micelas, nanoemulsiones o liposomas mejoran la absorción y la biodisponibilidad. También fija límites: no toda “nano” es la misma; los excipientes importan y la evidencia en humanos es decisiva. Se ofrecen pautas para leer las etiquetas y elegir con criterio. No es magia; es ciencia aplicada a comer mejor, con evidencia, seguridad y acceso.

Palabras clave: Nanotecnología alimentaria, curcumina, nanoemulsiones, biodisponibilidad.

Summary

Using curcumin as an example, this article shows how food nanotechnology acts as a nanocarrier system that protects and delivers fragile molecules. It summarizes its anti-inflammatory and antibacterial actions and explains why micelles, nanoemulsions, or liposomes enhance absorption and bioavailability. It also sets boundaries: not all “nano” is the same, excipients matter, and human evidence is decisive. We provide label-reading guidelines to help you make informed choices. It's not magic; it's science applied to better eating, grounded in evidence, safety, and access.

Keywords: Food nanotechnology, curcumin, nanoemulsions, bioavailability.

Esperanza Peralta-Cuevas¹

Nahomi Y. Degollado-Hernández^{1,2}

Illiana Chantal Martínez-Ortiz¹

Francisca Villanueva-Flores¹

¹Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Instituto Politécnico Nacional, Boulevard de la Tecnología, 1036 Z-1, P 2/2, 62790 Atlacholoaya, Morelos, México.

²Universidad Tecnológica Emilio Zapata del Estado de Morelos, Av. Universidad Tecnológica 1, Palo Escrito, 62765, Emiliano Zapata, Morelos, México.

Autor para la correspondencia:
fvillanuevaf@ipn.mx

Introducción

LSi abres la alacena de cualquier casa en la India o el Sudeste Asiático, lo más probable es que encuentres un frasco de polvo amarillo brillante: la cúrcuma. Para millones de personas, no es solo una especia; es parte de su historia, su medicina y hasta de sus rituales.

La cúrcuma (*Curcuma longa*) se ha cultivado desde hace más de 4000 años en el sur de Asia. Al principio se usaba como tinte natural para telas y pieles, gracias a ese amarillo intenso que aún hoy pinta curris y arroces. Los antiguos la consideraban como “oro en polvo” no solo por su color, sino porque parecía curar de todo: heridas, problemas digestivos,

resfriados o inflamaciones. Desde hace siglos, en India y China la cúrcuma se usa como “básico de botiquín”: se le atribuye ayudar a bajar la inflamación y a recuperarse más rápidamente [1] (Figura 1).

¿Cómo modula la curcumina la inflamación?

La curcumina actúa como un regulador que disminuye las señales de alarma cuando la respuesta inflamatoria se desborda. En términos sencillos, reduce la producción de sustancias que causan dolor e hinchazón, refuerza las defensas antioxidantes y favorece que la inflamación se resuelva antes y mejor. En lo biológico, atenúa NF-κB (un “interruptor” que encien-

de genes proinflamatorios), disminuye COX-2 y 5-LOX (enzimas que generan prostaglandinas y leucotrienos, responsables del dolor y la hinchazón) y activa Nrf2 (un programa celular que potencia las defensas antioxidantes). Resultado: menor enrojecimiento, menor hinchazón y menor dolor, con una recuperación más ordenada (Figura 2).

Además de su efecto antiinflamatorio, la curcumina también puede actuar frente a ciertas bacterias. En términos sencillos, desactiva funciones vitales: debilita su barrera externa, dificulta su multiplicación y reduce su capacidad de coordinarse y formar capas protectoras, lo que facilita la acción de otros antibió-



Figura 1. Cúrcuma en raíz y en polvo, junto a utensilios de cocina (recipiente para especias, mortero e infusión). El escudo simboliza su posible acción antiinflamatoria: modula la “alarma” inflamatoria, reduce mediadores del dolor y actúa como antioxidante. Ilustración creada con ChatGPT-4.

ticos. En usos locales, puede complementar terapias que emplean luz para aumentar el daño bacteriano. No sustituye a los antibióticos cuando están indicados, pero ayuda a explicar por qué, en estudios de laboratorio y en aplicaciones puntuales (por ejemplo, dentales), muestra efecto antibacteriano o potencia otros tratamientos.

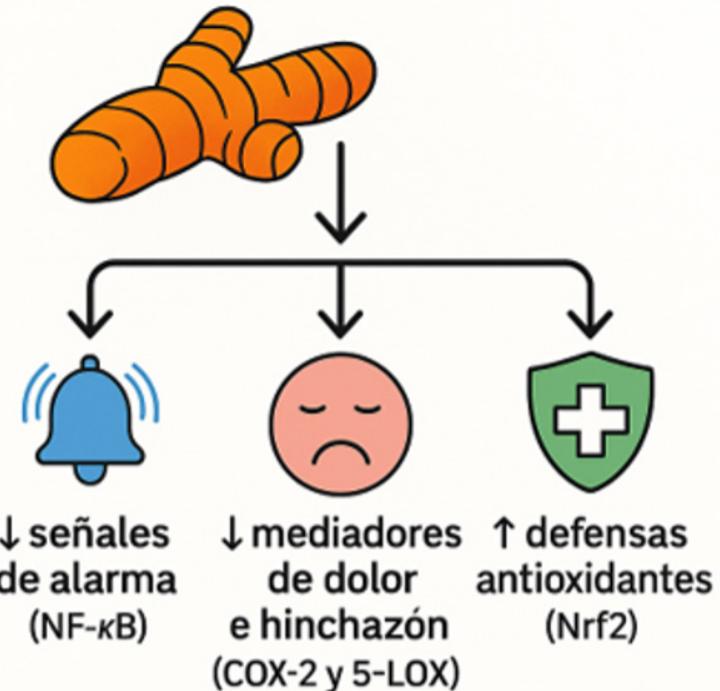
Del plato al laboratorio

Lo que empezó como intuición cultural (“esto hace bien”) hoy tiene respaldo: la cúrcuma contiene curcumina, una molécula con efectos antiinflamatorios y antioxidantes. El problema práctico es claro: la curcumina se disuelve mal en agua, se absorbe poco en el intestino y el hígado la elimina rápido, por lo que llega poca cantidad activa a la sangre. Este patrón también se observa en otros compuestos bioactivos [2].

Para superar ese cuello de botella, hoy se “encapsula” la curcumina en nanopartículas, es decir, cápsulas *diminutas comestibles*. Estas formulaciones la protegen durante el tránsito digestivo, mejoran su dispersión en medios acuosos y favorecen su paso a través de la pared intestinal, lo que aumenta su biodisponibilidad. No es un adorno retórico: es una estrategia tecnológica evaluable.

En curcumina se han utilizado principalmente nanoemulsiones (gotas de aceite de tamaño nanométrico estabilizadas para uso alimentario), liposomas (vesículas de fosfolípidos semejantes a membranas) y micelas (estructuras formadas por proteínas o polisacáridos comestibles, como caseína, suero, pectinas o quitosano), todas ellas capaces de transportar la molécula. La naturaleza ofrece un antecedente: las micelas lácteas funcionan como sistemas de transporte en el propio alimento.

Cuando se compara la curcumina “normal” con versiones nano, se observan aumentos medibles en la exposición sistémica según el diseño de la formulación. Principios metodológicos similares han sido descritos en revisiones sobre sistemas nano. No todas las



Resultado: menos enrojecimiento, menos hinchazón y menos dolor; recuperación más ordenada.

Figura 2. Cómo funciona la curcumina. La curcumina disminuye las señales de alarma de la inflamación, frena las sustancias que provocan dolor e hinchazón y activa las defensas antioxidantes. Resultado: menos enrojecimiento, menos hinchazón y menos dolor, con una recuperación más ordenada. Ilustración creada con ChatGPT-4.

nanoformulaciones son equivalentes ni todo el mérito es del tamaño. En algunas fórmulas, los “excipientes” (ingredientes acompañantes, p. ej., TPGS [derivado de vitamina E] o tensioactivos) también mejoran la absorción; por tanto, parte del incremento puede deberse a la composición total y no solo a la escala nanométrica. Asimismo, importa el “portador” (p. ej., liposoma, nanoemulsión o micela), la ruta de consumo (bebida, lácteo, cápsula) y el “tejido diana” (lugar del cuerpo al que se busca llegar), además de la variabilidad entre personas [3].

¿Y qué significa esto en la mesa de todos los días? La nanoformulación puede ayudar, pero no convierte por sí sola un producto en solución garantizada. Que un envase diga “nano” o “biodisponible” no asegura mejor efecto: verifica cuánta curcumina aporta (no

solo “cúrcuma”), en qué forma viene (nanoemulsión, micelas, liposomas) y frente a qué se comparan los “x veces más”. Si no aclara dosis equivalentes, la matriz (yogur, bebida, cápsula) ni cita estudios en personas, conviene dudar. Además, a veces el salto de absorción se debe a los ingredientes acompañantes y no tanto al tamaño [4].

En la práctica, empieza por lo básico: comer de forma variada y real. Si luego eliges un producto “mejorado”, busca transparencia (fabricante, lote, sellos de calidad), dosis razonables y advertencias de seguridad. Mas no siempre es mejor; las megadosis pueden causar molestias o interactuar con fármacos (por ejemplo, anticoagulantes). Si estás en tratamiento, embarazada o con problemas de vesícula, consulta antes de usar concentrados. En síntesis: la formulación adecuada puede aumentar la absorción de curcumina, pero el efecto final también depende de tu organismo, tus hábitos y tu constancia.

¿Qué sabemos y qué falta para su aplicación en humanos?

Lo importante al pasar del laboratorio a las personas no es solo subir la concentración en sangre, sino mejorar la vida del paciente: menos dolor, menos hinchazón, mayor movilidad y sin efectos molestos. Los estudios clínicos de calidad evalúan de forma integrada: síntomas

reportados por el paciente, biomarcadores en sangre que confirmen el cambio, seguridad a corto y mediano plazo y, sobre todo, el impacto en la calidad de vida. Además, cuidan el diseño del ensayo: se compara con placebo (sustancia sin efecto) o con un tratamiento estándar, tiene una duración suficiente y se realiza enmascarado (doble ciego: ni quien toma el producto ni quien lo administra conoce la asignación) para reducir sesgos.

Ahora bien, una mayor biodisponibilidad no garantiza una mayor eficacia clínica. Micelas, nanoemulsiones y liposomas son sistemas distintos y no se pueden comparar “a ojo”; además, los excipientes (ingredientes acompañantes de la formulación) pueden contribuir al efecto, no solo el tamaño de partícula. Por eso, cifras como “10 veces más” solo tienen sentido si se especifican claramente el comparador, la dosis y el tiempo de evaluación [5].

La mayoría de las personas tolera bien estas estrategias, pero “natural” no equivale a “inocuo”: deben vigilarse posibles interacciones (por ejemplo, con anticoagulantes) y extremar precauciones en el embarazo, ante problemas de vesículas o hígado y en edades extremas.

Criterios para valorar una nanoformulación (Figura 3): (1) diseño de la formulación → (2) aumento de la biodisponibilidad → (3) cam-

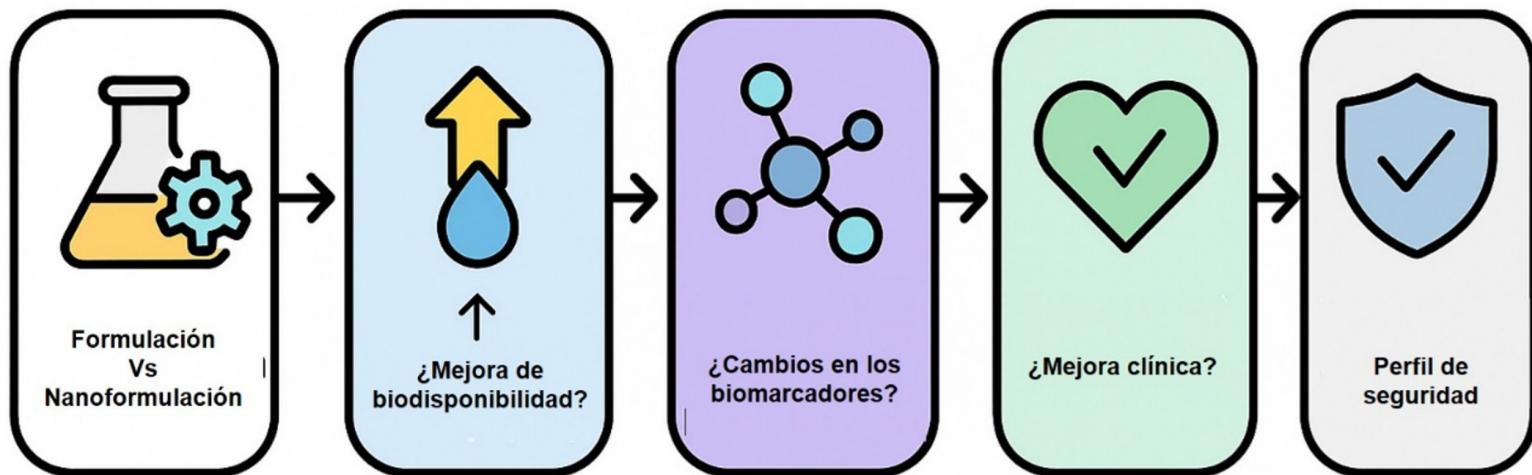


Figura 3. Cómo funciona la curcumina. La curcumina disminuye las señales de alarma de la inflamación, frena las sustancias que provocan dolor e hinchazón y activa las defensas antioxidantes. Resultado: menos enrojecimiento, menos hinchazón y menos dolor, con una recuperación más ordenada. Ilustración creada con ChatGPT-4.

bios en los biomarcadores → (4) mejoras clínicas, con seguridad evaluada en paralelo. Las nanoformulaciones son útiles cuando cumplen con esta secuencia, con información transparente sobre dosis, comparadores y seguridad, lo que permite pasar de la hipótesis al beneficio comprobable en la práctica clínica.

Conclusiones

La nanotecnología aplicada a alimentos no es un atajo universal, es ingeniería para quitar cuellos de botella cuando una molécula se degrada, se disuelve mal o no alcanza su diana. Puede aportar beneficios concretos —por ejemplo, que más curcumina llegue al organismo y se mantenga estable— allí donde existe un problema técnico claro y la mejora se demuestra en personas; fuera de ese marco añade complejidad sin retorno.

Para decidir con rigor, el listón debe estar alto: comparaciones directas entre formulaciones bajo el mismo protocolo (“A vs. B” con las mismas dosis y tiempos), desenlaces que importen a las personas (síntomas, función, calidad de vida) y un perfil de seguridad bien descrito. Las etiquetas deben indicar cuánto aporta la molécula, qué tipo de sistema de entrega se utiliza (p. ej., nanoemulsión, liposoma o micela) y frente a qué se comparan los “x veces más”; sin ese contexto, la cifra no es interpretable.

El enfoque correcto es integrar la innovación donde suma y retirarla donde no cambia el resultado. Prioridad: formatos y sistemas de entrega que mejoren la estabilidad y la llegada, sin afectar el sabor, la textura ni el costo, y que convivan con hábitos saludables de base.

A corto plazo, se necesitan ensayos independientes y transparentes que confirmen el beneficio y la seguridad mediante métodos comparables.

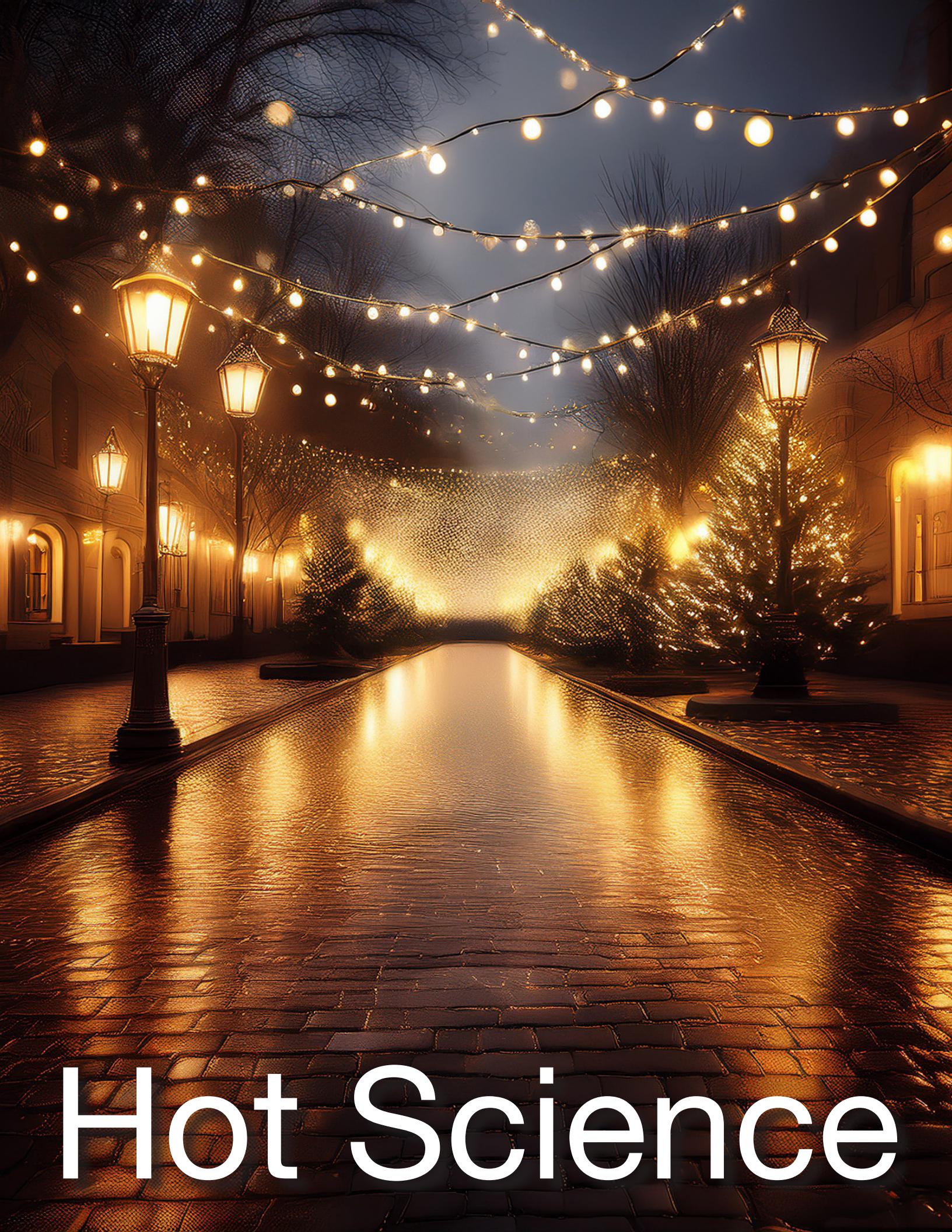
En síntesis, menos adjetivos y más datos verificables: cuando la formulación adecuada convierte un mecanismo prometedor en un beneficio medible y seguro, la tecnología deja de ser una promesa y se vuelve salud en el plato. **iBIO**

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Instituto Politécnico Nacional mediante los proyectos SIP20242814, SIP20250306, SIP20251096 y SIP20254781. Adicionalmente, se recibió apoyo de la SEICHTI a través del fondo CBF-2025-I-1532 mediante la Convocatoria de Ciencia Básica y de Frontera de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación. ChatGPT-4 se utilizó exclusivamente para la edición del lenguaje, la corrección gramatical y la mejora de la claridad durante la preparación de este manuscrito sin comprometer su originalidad.

Referencias

- [1] Rajanala, S., & Vashi, N. A. (2018). Haldi Ceremony—Historical Use of Turmeric. *JAMA Dermatology*, 154(5), 543. <https://doi.org/10.1001/jamadermatol.2018.0363>
- [2] Hewlings, S., & Kalman, D. (2017). Curcumin: A Review of Its Effects on Human Health. *Foods*, 6(10), 92. <https://doi.org/10.3390/foods6100092>
- [3] Villanueva-Flores, F., Castro-Lugo, A., Ramírez, O. T., & Palomares, L. A. (2020). Understanding cellular interactions with nanomaterials: Towards a rational design of medical nanodevices. *Nanotechnology*, 31(13), 132002. <https://doi.org/10.1088/1361-6528/ab5bc8>
- [4] Grafeneder, J., Derhaschnig, U., Eskandary, F., Buchtele, N., Sus, N., Frank, J., Jilma, B., & Schoergenhofer, C. (2022). Micellar Curcumin: Pharmacokinetics and Effects on Inflammation Markers and PCSK-9 Concentrations in Healthy Subjects in a Double-Blind, Randomized, Active-Controlled, Crossover Trial. *Molecular Nutrition & Food Research*, 66(22), 2200139. <https://doi.org/10.1002/mnfr.202200139>
- [5] Shoba, G., Joy, D., Joseph, T., Majeed, M., Rajendran, R., & Srinivas, P. (1998). Influence of Piperine on the Pharmacokinetics of Curcumin in Animals and Human Volunteers. *Planta Medica*, 64(04), 353–356. <https://doi.org/10.1055/s-2006-957450>



Hot Science

Luces de Navidad y noches en vela: la ciencia del jet lag navideño

Christmas lights and sleepless nights: The science of holiday jet lag

Juan A. Juárez-Antonio

Ashley J. Gutiérrez-Onofre

Francisca Villanueva-Flores*

Resumen

En diciembre, las luces LED, las pantallas y las guirnaldas convierten la noche en “día” y pueden desajustar el reloj circadiano. Este artículo explica, con base en la neurobiología de la melanopsina y la melatonina, cómo la luz azul nocturna retrasa el sueño y favorece el “jet lag navideño”: más cansancio, antojos y mal humor. Se proponen estrategias sencillas de higiene luminosa (color, intensidad y horarios) y dos herramientas prácticas: un minitest y una bitácora casera de luz y sueño para que cada lector experimente en casa.

Palabras clave: Ritmos circadianos, luz azul, melatonina, iluminación LED, sueño nocturno.

Summary

In December, LED lights, screens, and garlands turn night into “day,” disrupting the circadian clock. This article explains, based on the neurobiology of melanopsin and melatonin, how blue light at night delays sleep and promotes “holiday jet lag”: more fatigue, cravings, and bad mood. It proposes simple “light hygiene” strategies (color, intensity, and timing) and two practical tools: a mini test and a home diary of light and sleep so that each reader can experiment at home.

Keywords: Circadian rhythms, blue light, melatonin, LED lighting, night-time sleep.

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Instituto Politécnico Nacional, Boulevard de la Tecnología, 1036 Z-1, P 2/2, 62790, Xochitepec, Morelos, México.

*Autor para la correspondencia:
fvillanuevaf@ipn.mx

Introducción

Suenan a villancicos en las posadas, a cohetes lejanos, a platos y risas en las cenas; huele a ponche, tamales y buñuelos. Las calles, las plazas y los mercados se llenan de focos LED, estrellas brillantes y cortinas de luz que dejan la noche casi blanca. En los fraccionamientos, cada casa compite con la de al lado: renos inflables, Santa en la azotea, el nacimiento iluminado. Adentro, el árbol parpadea, la sala se queda encendida hasta tarde, el celular sigue brillando en la mano y en la tele hay un maratón de películas navideñas. Todo parece fiesta... salvo para un pequeño director de orquesta que vive en nuestro cerebro y detesta los bises a deshora: el reloj circadiano, nuestro reloj interno. Ese reloj no mide minutos, mide ritmos, e intenta coordinar a trillones de células para que el cuerpo funcione en conjunto y no como una reunión desorganizada. Su batuta principal es la luz.

El problema es que la luz navideña no siempre habla el idioma de la noche. Dicho sin

tecnismos: la melatonina, una hormona que el cuerpo produce sobre todo cuando oscurece, es nuestra “señal de oscuridad” y ayuda a sincronizar el reloj biológico, facilitando el inicio del sueño y participando en la regulación de ritmos diarios (además de influir en otros procesos como el metabolismo y funciones inmunes). Cuando, ya es de noche y el escenario está lleno de focos de luz fría (azulada), esta iluminación provoca que la señal de oscuridad se retrase o disminuya. Las guirnaldas frías, los focos de blanco día, las pantallas y los escaparates luminosos le dicen al cerebro lo mismo que un amanecer: “aún no es hora de dormir”. En ese sentido, este tipo de ambientes pueden presentar una forma de “contaminación lumíni-

ca” a escala doméstica (intrusión de luz artificial durante la noche), porque añade iluminación intensa o azulada justo cuando el cuerpo espera oscuridad. Después de millones de años leyendo el cielo, nuestro cuerpo se guía por ese código de colores, y la ciencia lo ha medido con detalle: la luz más azulada (típica de muchas pantallas y LEDs fríos) es especialmente eficaz para mantener despierto a nuestro reloj interno [1].

Este texto es una invitación a mirar esas luces con otros ojos. No para apagar la Navidad, sino para entender cómo diciembre puede fabricarnos un pequeño “jet lag” navideño y qué ajustes sencillos podemos hacer para disfrutar de las posadas, las cenas y los foquitos sin destrozar el descanso. Jet lag (en español, “desfase horario”) es el conjunto de síntomas que aparece cuando el reloj biológico queda desajustado respecto al horario real (por ejemplo, tras cruzar husos horarios): cuesta dormir a la hora deseada, hay somnolencia diurna y sensación de estar “a destiempo”. Aquí la idea es similar, pero provocada por luz nocturna intensa o azulada, no por un avión.

Veremos qué tipo de luz engaña más a nuestro reloj biológico, cómo organizar una higiene luminosa navideña que respete la magia y, de paso, jugaremos a detectives: medir la luz con el celular, anotar a qué hora aparece el sueño y observar qué se modifica cuando ajustamos el color y la intensidad de nuestras luces decembrinas.



Figura 1. Caricatura de una noche navideña con casas iluminadas por luces LED y pantallas encendidas, mientras el reloj circadiano, dibujado como un pequeño cerebro-director de orquesta, intenta mantener en armonía los ritmos del cuerpo pese al exceso de luz. Imagen elaborada por ChatGTP 5.1.

El color del día, el idioma de la noche

Nuestro reloj central vive en una diminuta estructura del cerebro llamada núcleo supraquiasmático, una especie de “central horaria” situada en lo profundo del hipotálamo. No tiene ventanas, así que delega en un grupo especial de células de la retina, las que contienen melanopsina, un pigmento especialmente sensible a la luz azul-verdosa (la de “azul frío”, típica de LEDs fríos y del cielo diurno), la tarea de observar el mundo y reportar la hora. Esas células no leen imágenes ni distinguen caras; solo traducen el brillo ambiental y, sobre todo, cuánta luz en el rango azul-verdoso hay, como la del cielo despejado. Cuando reciben luz rica en ese azul frío (más intenso y “afilado” hacia el azul-verdoso), envían un mensaje claro: “todavía es de día”. En cambio, las luces “cálidas” (amarillas/anaranjadas, con mucho menos componente azul) tienden a dar una señal más compatible con la noche, porque estimulan menos a la me-

lanopsina. El núcleo responde retrasando el inicio del programa nocturno y, con ello, la secreción de melatonina. Cuando la luz desaparece, el telón cae y las escenas de la noche arrancan: baja la temperatura corporal, el metabolismo cambia de marcha, el cerebro prepara la memoria y el tejido se repara (Figura 2) [2].

En diciembre la cosa se complica porque los días son más cortos y fríos, por lo que pasamos más horas bajo luces artificiales. Muchas de esas luces son LED de espectro frío: lámparas muy eficientes para ahorrar energía, pero con un componente azul abundante, demasiado parecidas al amanecer para nuestro reloj. No es casualidad que una habitación iluminada con LEDs blancos fríos a última hora de la tarde pueda suprimir la melatonina o retrasar su ascenso, mientras que una luz cálida, a igual brillo, resulta mucho menos problemática. El color importa tanto como la intensidad [3].

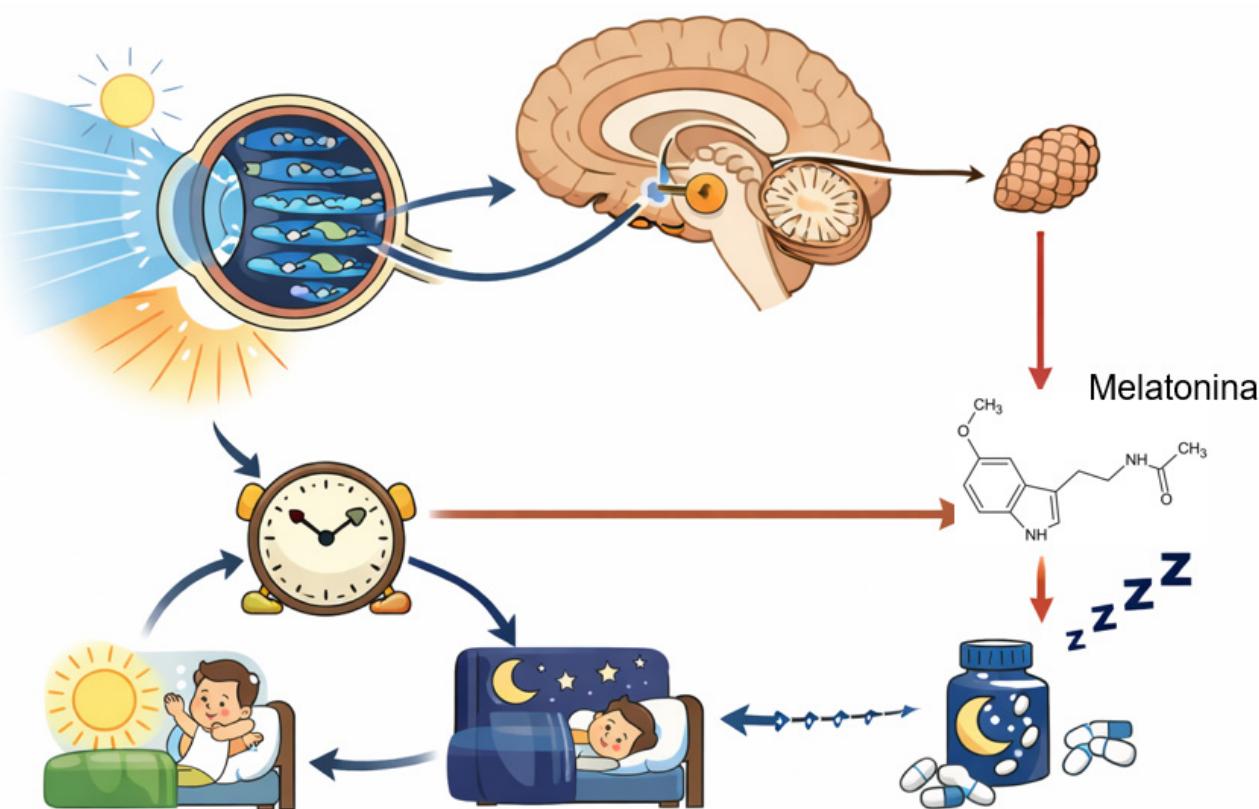


Figura 2. Esquema del eje luz-melanopsina-reloj circadiano-melatonina. La luz azul/fría activa células retinianas intrínsecamente fotosensibles con melanopsina, que transmiten la señal hacia el reloj central (núcleo supraquiasmático) y mantienen el estado diurno, inhibiendo o retrasando la señal nocturna hacia la glándula pineal y, por tanto, la liberación de melatonina. En oscuridad (o con luz cálida con baja componente azul), la activación por melanopsina disminuye, se favorece la señalización nocturna y aumenta la melatonina, facilitando el inicio del sueño y la sincronización del ciclo vigilia-sueño (~24 h). Imagen elaborada por ChatGTP 5.2.

Tabla 1. Minitest: ¿Qué tan desvelona es tu Navidad?

Puntos	Resultado
0-1	Tu luz navideña casi no molesta a tu sueño. Tu reloj interno recibe, más o menos, el mensaje correcto.
2-3	Tienes un leve jet lag navideño. Algunos focos y pantallas están empujando tu hora de dormir sin que te des cuenta.
4-5	Tu casa se parece a un aeropuerto de madrugada. Tu reloj interno vive confundido entre los villancicos y la luz de día; unos cuantos cambios pequeños en el color y el horario pueden marcar una gran diferencia.

En términos simples: la luz azul por la noche es como música muy alta que mantiene al cerebro despierto; la luz cálida es más bien una canción de cuna que ayuda a bajar el ritmo.

Diciembre: luces bonitas, jet lag navideño

En diciembre se nos junta todo: horarios cambiados, cenas eternas y, encima, un exceso de luz (guirnaldas, árbol, pantallas, focos blancos) que actúa como “salida de emergencia” en el teatro del sueño y frena la subida de melatonina, la hormona que nos hace dormir. El resultado es un jet lag navideño: nos acostamos tarde pero madrugamos igual, el reloj interno se retrasa y aparece sueño ligero, más somnolencia diurna, antojos de azúcar, peor control de la glucosa y, en algunos, ánimo más frágil. Para tomar conciencia de cuánto está afectando tu Navidad a tu sueño, basta un pequeño autoexamen: no es un diagnóstico, solo un termómetro luminoso de fin de año.

Minitest: ¿Qué tan desvelona es tu Navidad?

Responde “sí” o “no” y suma 1 punto por cada “sí”.

1. ¿Tu sala sigue con la luz de techo blanca encendida después de las 10 de la noche durante las vacaciones?
2. ¿Tu árbol de Navidad tiene, sobre todo, luces blancas frías o azuladas y lo dejas encendido hasta justo antes de dormirte?
3. ¿Ves el celular en la cama durante más de 20 minutos antes de intentar dormir?

4. ¿En las posadas o en las cenas en casa se dejan encendidas las luces fuertes “hasta que se va el último”?
5. ¿En diciembre te cuesta más trabajo levantarte descansado que el resto del año?

Ahora mira tu marcador en la Tabla 1.

La buena noticia es que la solución es sencilla y no pasa por apagar la Navidad, sino por hablarle en el idioma correcto. La clave está en jugar con dos mandos: el color y el horario. Luz rica en azul por la mañana y al mediodía, para despertar; luz cálida y suave a partir del atardecer, para que caiga el telón del sueño. Tu casa puede convertirse en una pequeña estación del tiempo luminosa: amanecer artificial por la mañana, atardecer programado por la tarde.

Higiene luminosa navideña: cómo encender sin desvelar

Piensa en tu casa como un pequeño teatro. Hay focos protagonistas y luces de fondo.

Por la mañana, les toca salir a escena a las protagonistas: cortinas abiertas, un ratito de paseo a la luz del día, lámparas claras si amaneció nublado. La luz natural es el mejor director que tenemos: diez minutos fuera a primera hora ponen en ritmo tu reloj interno mejor que una hora entera bajo una lámpara cualquiera.

Por la tarde empieza la magia: conviene que el salón se parezca más a un atardecer que a una oficina. Ayuda usar bombillas cálidas, de esas que dicen 2700 kelvin o “luz ámbar”, colocadas a media altura, en lámparas de pie o

de mesa, para que iluminen el espacio sin pegarte el fagonazo en los ojos. Si tienes guirnaldas, elige tonos cálidos y baja su intensidad en la última hora del día; si te encantan las luces azules, mejor en ventanas o exteriores que justo frente a la vista. Y si tienes un dimmer (dispositivo regulador de intensidad luminosa), es como tener el control del volumen de la noche:

puedes ir bajando poco a poco la intensidad sin “cortar la música” de golpe [4].

Las pantallas merecen mención especial. Ver una película juntos puede ser un momento precioso; lo que suele arruinarlo es el brillo blanco azulado en la cara y el dedo que no deja de revisar las notificaciones. Activa el modo

Tabla 2. Registro de la luz en mi casa por la noche (5 días).

Instrucciones: Rellena esta tabla cada noche, justo antes de irte a dormir.
Marca con una “X” la opción que mejor describa la luz y las pantallas que usaste.

Día	Hora en que encendí la luz de la sala	¿La luz estaba...?	¿Qué color era la luz?	¿Usé pantallas en la última hora?	Algo especial hoy (árbol, visitas, posada...)
1		<input type="checkbox"/> muy fuerte <input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> bajita	<input type="checkbox"/> blanca <input type="checkbox"/> amarilla	<input type="checkbox"/> celular <input type="checkbox"/> tablet <input type="checkbox"/> compu <input type="checkbox"/> TV <input type="checkbox"/> no	
2		<input type="checkbox"/> muy fuerte <input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> bajita	<input type="checkbox"/> blanca <input type="checkbox"/> amarilla	<input type="checkbox"/> celular <input type="checkbox"/> tablet <input type="checkbox"/> compu <input type="checkbox"/> TV <input type="checkbox"/> no	
3		<input type="checkbox"/> muy fuerte <input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> bajita	<input type="checkbox"/> blanca <input type="checkbox"/> amarilla	<input type="checkbox"/> celular <input type="checkbox"/> tablet <input type="checkbox"/> compu <input type="checkbox"/> TV <input type="checkbox"/> no	
4		<input type="checkbox"/> muy fuerte <input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> bajita	<input type="checkbox"/> blanca <input type="checkbox"/> amarilla	<input type="checkbox"/> celular <input type="checkbox"/> tablet <input type="checkbox"/> compu <input type="checkbox"/> TV <input type="checkbox"/> no	
5		<input type="checkbox"/> muy fuerte <input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> bajita	<input type="checkbox"/> blanca <input type="checkbox"/> amarilla	<input type="checkbox"/> celular <input type="checkbox"/> tablet <input type="checkbox"/> compu <input type="checkbox"/> TV <input type="checkbox"/> no	

Valores de referencia orientativos medidos a la altura de los ojos con el celular (mirando hacia la habitación): Ideal en las 3 horas previas a dormir ≤ 10 lux; zona intermedia 11–50 lux (puede retrasar el sueño en personas sensibles, sobre todo si la luz es blanca/fría); evitar >50 lux en ese periodo. Durante el sueño, procurar oscuridad ≈ 1 lux. Nota: el celular da una aproximación y mide “cantidad” de luz, no su composición; a igual lux, la luz blanca/fría suele ser más activadora que la cálida.

nocturno, baja el brillo a la mitad (o menos) y, si se puede, que la pantalla no esté pegada a los ojos. Para leer, suele ser mejor sentar un libro en papel o usar un lector de tinta electrónica que seguir haciendo scroll en el móvil. Los estudios han mostrado que un par de horas de pantalla muy luminosa por la tarde retrasan el reloj biológico y dificultan levantarse descansado al día siguiente [5]. No se trata de prohibir nada, sino de pactar horarios: la última media hora antes de dormir es un buen momento para luces suaves, conversaciones tranquilas y rutinas que el cerebro reconozca como: “ah, vale, esto ya lo hemos hecho... ahora toca descansar”.

Si hay niños en casa, los colores se vuelven aliados. Un pequeño punto de luz ámbar, como una “estrella nocturna”, calma sin confundir al reloj interno. Con las personas mayores la idea es la misma, pero con más mimo: sus relojes son más delicados y agradecen mañanas muy luminosas y tardes con luz cálida y tranquila. Y si alguien trabaja a turnos, la coreografía cambia, pero el principio no: al cuerpo le va mejor cuando el color de la luz acompaña la historia que queremos contar con nuestros horarios.

Tu casa, tu laboratorio: mide tu luz y observa tu sueño

Tabla 3. ¿Cómo dormí? (5 días)

Instrucciones: Rellena esta tabla cada mañana, después de levantarte.

No pasa nada si no recuerdas la hora exacta, puedes poner una hora aproximada y marcar cómo sentiste tu sueño.

Día	Hora en que empecé a tener sueño	Hora en que me acosté	¿Qué tan rápido me dormí?	¿Cómo dormí?	¿Cómo me sentí al despertar?	Algo que pasó (pesadillas, desvelo, me desperté, etc.)
1			<input type="checkbox"/> muy rápido <input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> tardé mucho	<input type="checkbox"/> bien <input type="checkbox"/> más o menos <input type="checkbox"/> mal	<input type="checkbox"/> con energía <input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> con sueño <input type="checkbox"/> muy cansado	
2			<input type="checkbox"/> muy rápido <input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> tardé mucho	<input type="checkbox"/> bien <input type="checkbox"/> más o menos <input type="checkbox"/> mal	<input type="checkbox"/> con energía <input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> con sueño <input type="checkbox"/> muy cansado	
3			<input type="checkbox"/> muy rápido <input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> tardé mucho	<input type="checkbox"/> bien <input type="checkbox"/> más o menos <input type="checkbox"/> mal	<input type="checkbox"/> con energía <input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> con sueño <input type="checkbox"/> muy cansado	
4			<input type="checkbox"/> muy rápido <input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> tardé mucho	<input type="checkbox"/> bien <input type="checkbox"/> más o menos <input type="checkbox"/> mal	<input type="checkbox"/> con energía <input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> con sueño <input type="checkbox"/> muy cansado	
5			<input type="checkbox"/> muy rápido <input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> tardé mucho	<input type="checkbox"/> bien <input type="checkbox"/> más o menos <input type="checkbox"/> mal	<input type="checkbox"/> con energía <input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> con sueño <input type="checkbox"/> muy cansado	

Valores de referencia orientativos: una latencia de sueño (tiempo para dormirse) suele considerarse típica ~10–20 min; >30 min de forma frecuente sugiere dificultad para conciliar (especialmente si coincide con noches de mayor luz/pantallas). Interpretación práctica: busca patrones dentro de tu propia semana (comparación antes/después), más que “perfección” en los números.

Tu casa puede ser tu pequeño experimento de sueño. No necesitas un laboratorio: con tu celular y algo de curiosidad basta. Descarga una app que mida la luz, coloca el móvil a la altura de tus ojos, mirando hacia la habitación, y toma un par de medidas cada noche.

Para este experimento, usa las Tablas 2 y 3 durante 5 días seguidos:

Cada noche, anota en la Tabla 2 cómo estaba la luz de tu casa.

Cada mañana, anota en la Tabla 3 cómo dormiste y cómo te sentiste al despertar.

Después de esos 5 días, puedes repetir el experimento cambiando solo una cosa: por ejemplo, usar una bombilla más cálida en la sala, apagar antes las luces muy brillantes o azules, activar el modo noche en el celular o salir cada mañana a caminar con luz del día.

La idea no es hacer un experimento perfecto, sino ver si notas un patrón: menos luz agresiva por la noche, un ambiente más de atardecer que de oficina, quizás un sueño que llega antes y mañanas menos pesadas. Lo importante no son los números exactos, sino comprobar si tu cuerpo responde a cómo iluminas la casa.

Para comparar mejor, puedes intentar hacer los dos bloques de 5 días en semanas paralelas (sin posadas muy locas) y cambiar solo una cosa en la segunda semana: la bombilla, las pantallas o la hora de apagarlas. Procura también levantarte, más o menos, a la misma hora todos los días.

Conclusiones

Diciembre llega lleno de luz, y eso es parte de su magia, pero tanta iluminación blanca y azul por la noche engaña al cerebro: le hace creer que sigue siendo de día, retrasa la secreción de melatonina y empeora el sueño. La clave no es renunciar a la Navidad, sino usar la luz a nuestro favor: días bien iluminados, noches con bombillas cálidas y menos pantallas, observando cómo responde el cuerpo. Dormir mejor también es un regalo: que las luces cele-

bren y tu reloj interno baile con ellas, no contra ellas. **iBIO**

Agradecimiento

Se agradece el financiamiento de los fondos SIP20250306, SIP20251096 y SIP20254781, otorgado por el Instituto Politécnico Nacional, así como el proyecto Ciencia Básica y de Frontera CBF-2025-I-1532, otorgado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI). Se empleó inteligencia artificial (ChatGPT-5.2, OpenAI) exclusivamente como apoyo en la revisión gramatical y sintáctica del manuscrito; el contenido, la originalidad y el rigor científico son responsabilidad exclusiva de las personas autoras.

Referencias

- [1] Brainard, G. C., Hanifin, J. P., Greeson, J. M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E., & Rollag, M. D. (2001). Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel circadian photoreceptor. *The Journal of Neuroscience*, 21(16), 6405–6412. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.21-16-06405.2001>
- [2] Do, M. T. H. (2019). Melanopsin and the intrinsically photosensitive retinal ganglion cells: Biophysics to behavior. *Neuron*, 104(2), 205–226. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.07.016>
- [3] Lee, S., Matsumori, K., Nishimura, K., Nishimura, Y., Ikeda, Y., Eto, T., & Higuchi, S. (2018). Melatonin suppression and sleepiness in children exposed to blue-enriched white LED lighting at night. *Physiological reports*, 6(24), e13942. <https://doi.org/10.1481/phy2.13942>
- [4] Höhn, C., Hahn, M. A., Gruber, G., Cajochen, C., & Hoedlmoser, K. (2024). Effects of evening smartphone use on sleep and declarative memory consolidation in adolescents and young adults [Abstract]. *Sleep Medicine*, 115(Suppl 1), S53–S54. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2023.11.183>
- [5] AlShareef, S. M. (2022). The impact of bedtime technology use on sleep quality and excessive daytime sleepiness in adults. *Sleep Science*, 15(Special Issue 2), 318–327. <https://doi.org/10.5935/1984-0063.20200128>

¿Cómo funciona?



Virus al servicio de la ciencia: silenciamiento y expresión génica en plantas

Viruses at the service of science: gene silencing and expression in plants

Resumen

Durante siglos solo observamos las plantas desde afuera, basándonos en sus características físicas y rendimiento. Actualmente, la biotecnología abre una ventana al interior utilizando un aliado inesperado: los virus vegetales domesticados, llamados “vectores virales”. Gracias a su capacidad de replicarse masivamente, estos vectores permiten producir proteínas en abundancia o silenciar genes de manera temporal. Así, los científicos investigan la función de los genes, o sintetizan proteínas de interés como vacunas y medicamentos dentro de las plantas. Además, avances recientes permiten usar los vectores virales para la edición génica de precisión.

Palabras clave: Virus, VOX, VIGS.

Summary

For centuries, we observed plants from the outside only, based on their physical properties, and fruit yield. Today, biotechnology opens an inner window with the help of an unexpected ally: domesticated plant viruses, so-called “viral vectors”. Due to their ability to reproduce massively these vectors allow scientists to produce huge amounts of protein, or the temporal silencing of specific genes. With this, scientist can learn what genes do, or make a lot of protein for vaccines and medicine. Recent discoveries have also allowed these viral vectors to do precision gene editing.

Keywords: Virus, VOX, VIGS.

Mariana Sepúlveda Pérez
Julio Armando Massange Sánchez
Rafael Urrea López*

Unidad de Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), SECIHTI, Zapopan, Jalisco, 45019, México.

*Autor para la correspondencia:
rurrea@ciatej.mx

Introducción

Las plantas cumplen muchos roles vitales, no solo nos proveen alimento, sino que también producen oxígeno, ayudan a mitigar el cambio climático, son fuente de combustibles y nos brindan materiales esenciales. A pesar de su importancia, aún se desconocen muchos de los mecanismos moleculares de su biología. Es por esto que, diversas estrategias y herramientas se han desarrollado para profundizar en su estudio y aprovechamiento. Entre estas herramientas vamos a destacar una, que utiliza un aliado inesperado, **los virus de plantas**. Estos han sido estudiados por cerca de 100 años, lo que ha permitido entender cómo funcionan, cómo interaccionan con sus hospederos, e incluso las estrategias que tienen las plantas para defenderse de ellos, convirtiendo a algunos virus vegetales en una valiosa herramienta biotecnológica [1]. En este documento presentamos el uso de vectores virales para la sobreexpresión de genes y tam-

bién para su silenciamiento. Para mayor información acerca de los aspectos fundamentales se recomienda consultar Rössner y colaboradores, 2022 [2].

¿Virus para estudiar genes?

¿Virus? ¿Esos que causan enfermedades? Sí, los mismos. Los virus son segmentos de ácidos nucleicos (ADN o ARN) encapsulados en una cubierta proteica (cápside). Estos agentes infecciosos no se pueden replicar por sí mismos, pero infectan células y aprovechan su maquinaria para multiplicarse [3]. Precisamente por esa capacidad hoy se utilizan en investigación como un “Caballo de Troya”. Tal como en la leyenda griega, donde un objeto aparentemente inofensivo ocultaba soldados en su interior, los virus pueden convertirse en transportadores de material genético dentro de las células vegetales.

Para lograrlo, los científicos toman virus que infectan naturalmente a las plantas y los modifican en el laboratorio, eliminan las regiones no esenciales y conservan solo lo necesario para su funcionamiento: su cápside para proteger el material genético, proteínas de movimiento para desplazarse dentro de la planta, y en algunos casos, proteínas que apoyan su replicación. Ese espacio “liberado” se aprovecha para insertar secuencias de interés, transformando al virus en un **vector viral** (como se muestra en la Figura 1).

Así, un organismo que normalmente causa enfermedad se convierte en una herramienta biotecnológica versátil, útil tanto para estudiar la función de los genes como para producir proteínas de interés, como por ejemplo compuestos antimicrobianos, vacunas o moléculas terapéuticas. Estos avances han sido posibles gracias a décadas de investigación en virología vegetal y al desarrollo de la biología molecular y la ingeniería genética, que hoy permiten rediseñar genomas virales incorporando o eliminando genes para otorgar nuevas funciones o suprimir las existentes.

Aunque existen múltiples usos de los vec-

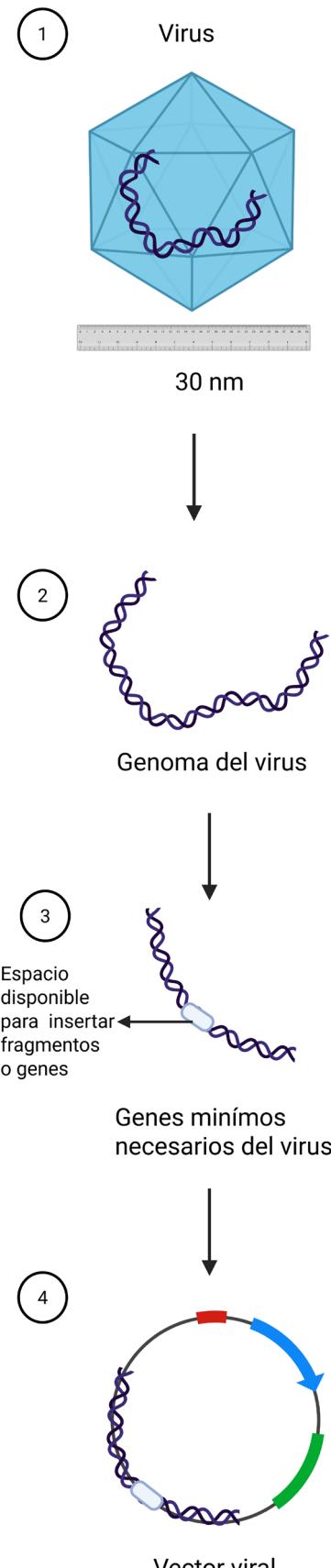


Figura 1. Representación de la construcción de un vector viral.
Primero del virus (1) se obtiene el genoma viral (2); luego se eliminan las partes no esenciales liberando un espacio (gris) donde se insertan nuevas secuencias (3); después se agregan diferentes segmentos que le confieren otras propiedades al vector, y que no provienen del virus (líneas roja, azul y verde), todo ello organizado en una molécula circular de ADN llamada vector viral (4), que luego se inoculan en las células vegetales. Figura creada con BioRender.com

tores virales, los más extendidos actualmente son dos: La sobreexpresión de genes mediada por virus conocida como **VOX**, por sus siglas en inglés (Virus-mediated Overexpression), la cual permite transformar a la planta en una fábrica de proteínas. La segunda es el silenciamiento de genes inducido por virus, o **VIGS**, por sus siglas en inglés (Virus-Induced Gene Silencing), por medio de la cual es posible estudiar la función de los genes cuando se interrumpe la transcripción de las proteínas para las cuales transcriben dichos genes [2].

Plantas como fábricas de proteínas, mediante VOX

La sobreexpresión mediada por virus convierte a las plantas en verdaderas biofábricas de proteínas. Para ello los vectores virales apro-

vechan la capacidad natural de los virus para replicarse de manera eficiente poniendo a su servicio la maquinaria celular de la planta. Para que esto sea posible es necesario sortear varios pasos críticos, entre ellos insertar el vector viral en las células vegetales. Una vez dentro el vector viral inicia la transcripción y traducción, generando múltiples copias del virus modificado el cual será capaz de propagarse hacia otras células donde se repetirá el proceso de transcripción y traducción. Durante este proceso repetitivo se sintetizan al mismo tiempo proteínas virales y la proteína de interés. En pocos días, gran parte del tejido vegetal expresa la proteína de interés en niveles elevados, lo que convierte a la planta en una auténtica biofábrica [2]. En la Figura 2 se ejemplifica VOX con una proteína fluorescente como marcador visual.

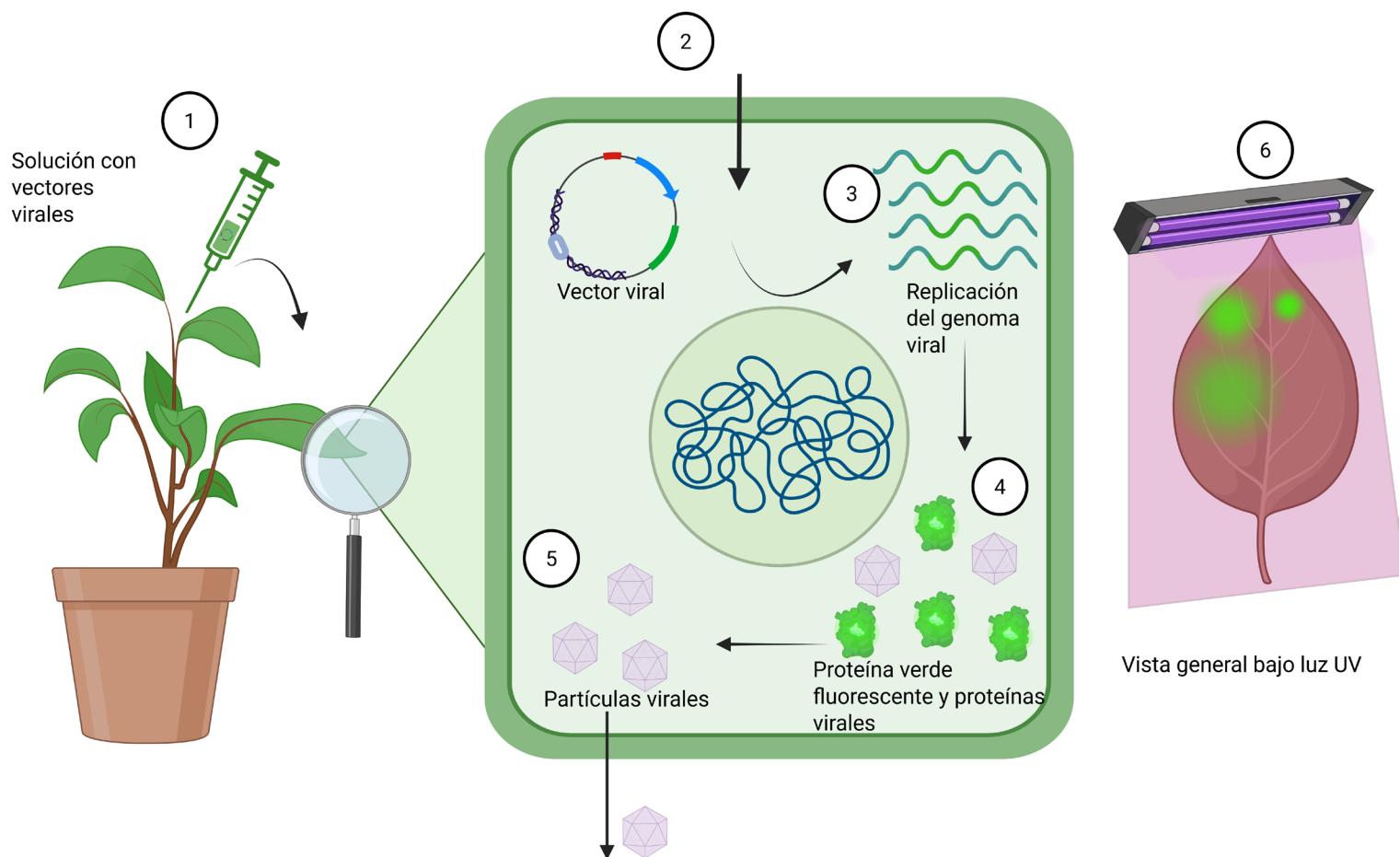


Figura 2. Representación de VOX con la proteína verde fluorescente. Primero el vector viral se inocula en la planta. (2) El vector viral ingresa en la célula vegetal. (3) El genoma viral modificado, que contiene las instrucciones de la proteína verde fluorescente, se replica masivamente utilizando la maquinaria de la célula. Posteriormente (4), estas múltiples copias serán traducidas en proteínas, tanto de los componentes virales como de la proteína verde fluorescente. Despues (5), las partículas virales se ensamblan (material genético + cápside) para infectar otras células. Pasados varios días, la acumulación de proteína fluorescente será evidente al exponer la hoja inoculada a luz UV (6). Figura creada con BioRender.com

La sobreexpresión de proteínas mediante vectores virales no se limita a proteínas fluorescentes. En su lugar se insertan genes de interés científico o económico, como proteínas farmacéuticas. En la actualidad se producen vacunas en plantas porque es una alternativa más económica que en bacterias o células animales, y además ofrece ventajas de bioseguridad [2]. Un caso destacado es la síntesis del interferón gamma humano (IFN γ), una proteína clave del sistema inmunológico utilizada en pacientes con enfermedad granulomatosa crónica. Mediante el uso de la planta *Nicotiana benthamiana* como hospedera y un vector derivado del virus del mosaico del bambú, investigadores han observado un incremento significativo tanto en el rendimiento como en la actividad biológica de esta proteína [4].

Silenciando genes

Los vectores virales también se pueden utilizar para disminuir temporalmente la expresión de un gen, es decir, para evitar que la información del gen se traduzca en una proteína. Pero ¿cómo es posible que un vector viral que se usa para VOX, también se pueda usar para VIGS? La clave de esta estrategia es que, además de aprovechar la capacidad del virus para replicarse en las células, se utiliza el propio sistema de defensa de la planta contra la infección.

Así como nosotros tenemos nuestro sistema inmunológico que nos ayuda a defendernos de virus, bacterias y enfermedades en general, las plantas también tienen un sistema de defensa. Tanto en VOX como en VIGS el mecanismo de defensa de la planta responde una vez que detecta al virus, activando el sistema de silenciamiento transcripcional y postranscripcional. Para lo cual primero la planta reconoce como extraños los segmentos de ácidos nucleicos (ADN o ARN) del virus, después activa los mecanismos de silenciamiento transcripcional y postranscripcional para evitar su transcripción a ARN y su traducción a proteínas. Por ello, en VIGS se inserta en el vector viral un fragmento

de uno de los genes de la propia planta, con lo cual se logra dirigir el mecanismo de defensa vegetal contra el ARN mensajero de uno de sus propios genes. Este enfoque permite estudiar la función de genes específicos al observar los cambios en la planta cuando disminuye la expresión y/o traducción de dicho gen [2]. Esto se exemplifica en la Figura 3, donde se silencia un gen que participa en la síntesis de carotenoides, *PDS* (*fitoeno desaturasa*), el cual afecta los pigmentos de la planta y causa un fenotipo albino.

Además de ser útiles para entender el funcionamiento de los genes en la planta, VIGS tiene aplicaciones de interés agronómico. Como por ejemplo retrasar la maduración de los frutos para que tengan un mayor tiempo de vida de anaquel. En tomate, se observó que al silenciar el gen *S/EIN2* de forma localizada y transitoria en el fruto, la pulpa se mantenía verde. Gracias a este estudio se encontró una relación entre el gen y la cadena de síntesis de otros genes necesarios para la síntesis de etileno, los cuales afectan la maduración del fruto [5].

Otro caso innovador mediante VIGS es el control de patógenos responsables de enfermedades devastadoras en la industria citrícola, como el psílido asiático de los cítricos (*Diaphorina citri*), insecto transmisor de la enfermedad conocida como “greening” o HLB [6]. Estos ejemplos demuestran que VIGS es una herramienta rápida y versátil para la caracterización funcional de genes y, cada vez más, como un recurso prometedor para enfrentar retos en la agricultura moderna.

Desafíos y oportunidades

Aunque los vectores virales ofrecen una vía rápida y versátil para el silenciamiento y sobreexpresión de genes, su uso presenta limitaciones. La compatibilidad del virus con ciertas plantas restringe las especies en las que se pueden utilizar. Los síntomas producidos por el virus pueden enmascarar los resultados, principalmente en VIGS, lo que puede interferir en la interpretación de resultados. Otro factor

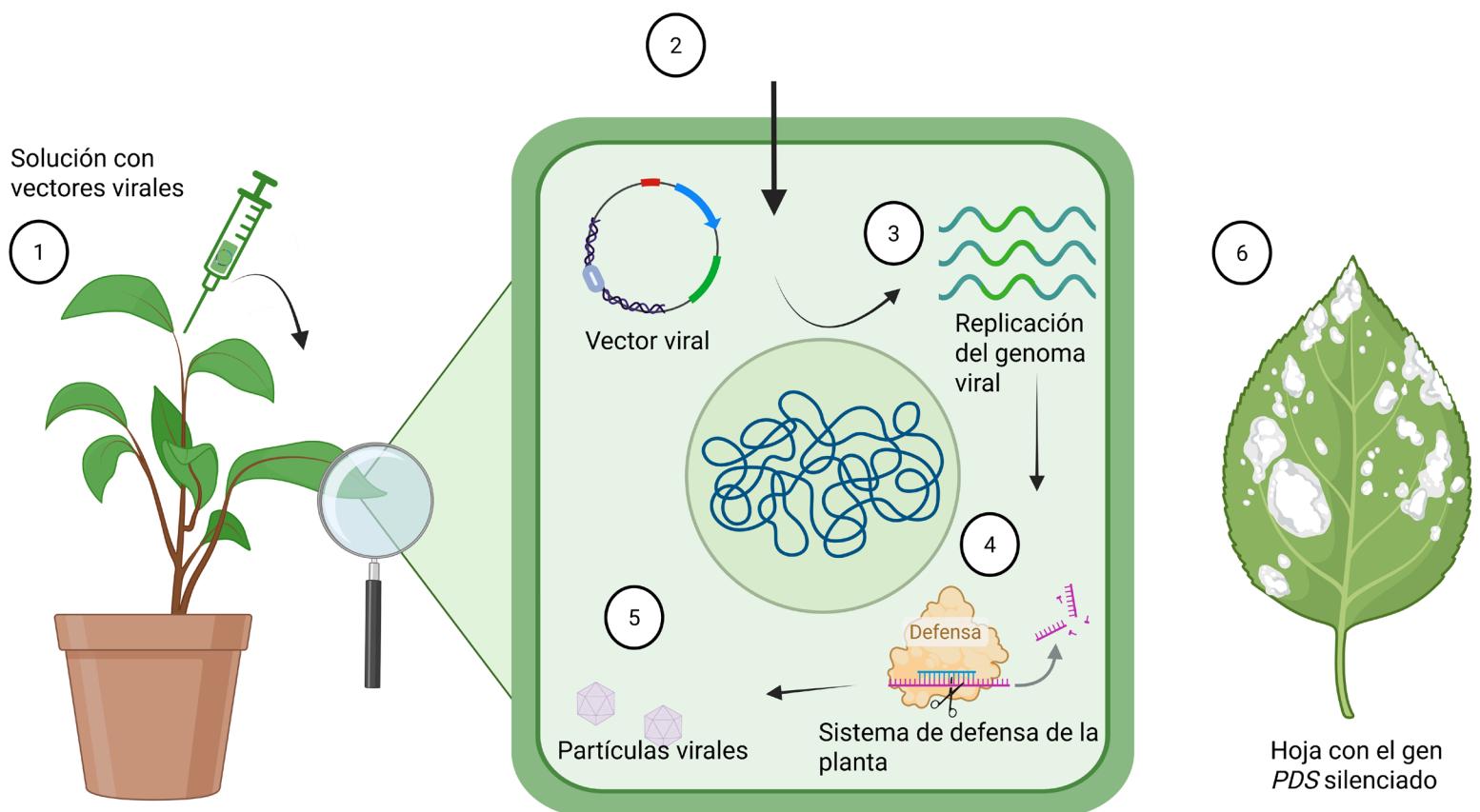


Figura 3. Representación de VIGS con el gen PDS. Primero el vector viral se inocula en la planta. Luego (2) el vector viral ingresa al interior de la célula vegetal. A continuación (3), el genoma viral modificado, que contiene las instrucciones de un segmento del gen PDS, se replica masivamente utilizando la maquinaria de la célula. Después (4), estas múltiples copias son detectadas como extrañas por el sistema de defensa de las plantas, el cual actuará para degradarlas. Dado, que el genoma viral contiene un fragmento del gen PDS, el ARN mensajero de este gen será reconocido como un agente extraño y será degradado. Sin embargo (5), algunas partículas virales logran ensamblarse y continúan infectando nuevas células. Logrando que en las hojas nuevas se observen manchas blancas causadas por una disminución en la traducción de PDS (6). Figura creada con BioRender.com

limitante es la capacidad de carga del vector. Estas condiciones hacen necesario un diseño experimental cuidadoso [1, 2].

A pesar de estas restricciones, las diferentes aplicaciones de virus vegetales en VOX y VIGS han demostrado su utilidad como herramientas biotecnológicas. VOX facilita la biosíntesis rápida y abundante de proteínas de interés, desde reporteros fluorescentes hasta compuestos farmacéuticos de alto valor. VIGS, por su parte, se ha consolidado como una estrategia versátil para silenciar genes para comprender su función, además de ofrecer potenciales aplicaciones en la agricultura, como la mejora de la vida postcosecha de los frutos o el control sostenible de plagas y enfermedades. En conjunto, ambos sistemas muestran la capacidad de los vectores virales para transformar a las plantas en plataformas biotecnológicas flexibles y eficientes.

Además, el potencial de los vectores virales no se limita a las aplicaciones actuales. Algunos virus, como el virus del moteado del tomate (Tomato Spotted Wilt Virus, TSWV) pueden transportar dentro de las células vegetales grandes cargas, como por ejemplo la secuencia de la proteína Cas9, indispensable para la edición de genes, por lo que en el futuro es posible que presenciamos el uso de vectores virales en la generación de plantas con genomas editados, pero libres de transgenes [7]. En síntesis, los vectores virales representan una herramienta poderosa para la biología molecular vegetal: son rápidos, económicos, versátiles y cada vez más relevantes en la investigación básica y aplicada. Aunque aún no han dado origen a cultivos comerciales [8], tienen una gran capacidad para impulsar innovaciones en áreas como la producción de proteínas, la mejora agronómica y la edición génica. **iBIO**

Referencias

- [1] Wang, Z., Cao, S., Xu, X., He, Y., Shou, W., Munaiz, E. D., Yu, C., & Shen, J. (2023). Application and expansion of virus-Induced Gene Silencing for functional studies in vegetables. *Horticulturae*, 9(8), 934. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9080934>
- [2] Rössner, C., Lotz, D., & Becker, A. (2022). VIGS goes viral: How VIGS transforms our understanding of plant science. *Annual Review of Plant Biology*, 73(1), 703–728. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-102820020542>
- [3] Segre, J. (2025). Virus. In *Talking Glossary of Genomic and Genetic Terms*, Genome.gov. <https://www.genome.gov/genetics-glossary/Virus> Consultado: 09 de septiembre, 2025.
- [4] Jiang, M.-C., Hu, C.-C., Lin, N.-S., & Hsu, Y.-H. (2019). Production of human IFNy protein in Nicotiana benthamiana plant through an enhanced expression system based on Bamboo mosaic virus. *Viruses*, 11(6), 509. <https://doi.org/10.3390/v11060509>
- [5] Tang, Q., Wei, S., Chen, Z., Zheng, X., Tu, P., & Tao, F. (2024). The reverse genetic as a potential of virus-induced gene silencing in tomato biology. *Food Frontiers*, 5(6), 2498–2514. <https://doi.org/10.1002/fft2.455>
- [6] Killiny, N., Nehela, Y., Hajeri, S., Gowda, S., & Stelinski, L. L. (2025). Virus-induced gene silencing simultaneously exploits “attract and kill” traits in plants and insects to manage huanglongbing. *Horticulture Research*, 12(2), uhae311. <https://doi.org/10.1093/hr/uhae311>
- [7] Awan, M. J. A., Akram, A., Amin, I., & Mansoor, S. (2023). Viral vectors as carriers of genome-editing reagents. *Trends in Plant Science*, 28(9), 981–983. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2023.05.010>
- [8] AgbioInvestor. (2025). *GM Approvals Database*. Agbioinvestor.com. <https://gm.agbioinvestor.com/approvals-database> Consultado: 09 de septiembre, 2025.

¿Cómo funciona?



Producción de biogás a partir de residuos orgánicos: Aprovechamiento sostenible para generación de energía limpia

Biogas production from organic waste: Sustainable use for clean energy generation

Resumen

¿Sabías que los residuos de comida, de la ganadería e incluso las aguas residuales pueden generar energía? El biogás es una fuente de energía renovable producto de la descomposición de residuos orgánicos a través de un proceso llamado digestión anaerobia. El propósito de esta tecnología es la conversión de residuos orgánicos para generar gas combustible, calor o electricidad. En este artículo se explicará cómo funciona este proceso, qué microorganismos participan, qué residuos pueden utilizarse y cómo la basura puede ser parte del cambio para construir un futuro más limpio y autosuficiente a partir de lo que desecharmos diariamente.

Palabras clave: Biogás, residuos orgánicos, digestión anaerobia.

Summary

Did you know that food waste, livestock waste, and even wastewater can generate energy? Biogas is a renewable energy source produced by the decomposition of organic waste through a process called anaerobic digestion. The purpose of this technology is to convert organic waste to generate fuel gas, heat, or electricity. This article will explain how this process works, the microorganisms involved, what waste can be used, and how trash can be part of the change to build a cleaner, more self-sufficient future from what we discard daily.

Keywords: Biogas, organic waste, anaerobic digestion.

Vanessa Rodríguez-Medina
Wenceslao Bonilla-Blancas*

Tecnológico Nacional de México/ TES de Ecatepec,
Laboratorio de Energías Alternativas Renovables,
Posgrado en Eficiencia Energética y Energías
Renovables, Av. Tecnológico S/N, Ecatepec de
Morelos, C.P. 55210, México.

*Autor para la correspondencia:
wcbonilla@tese.edu.mx

Introducción

Qué pasaría si te dijéramos que encender una estufa o producir electricidad es posible con esa cáscara de plátano que tiraste ayer o incluso con estiércol vacuno? Aunque suene raro, es una realidad que está sucediendo en algunos lugares del mundo y que, en lugar de ver la basura orgánica que desecharmos a diario como un problema, podemos verla como una solución energética, que permite generar biogás. En un mundo saturado de contaminación y una cantidad abismal de residuos, una alternativa aplicable se encuentra en estos procesos, donde a partir de la basura que producimos día con día podemos verla desde un ángulo estratégico promoviendo un estilo de vida más responsable en cuanto a los desechos orgánicos.

La digestión anaerobia es un proceso que ocurre en ausencia de oxígeno y es realizado por microorganismos especializados que se alimentan de materia orgánica. Durante el pro-

ceso, los microorganismos son capaces de descomponer la materia orgánica, la cual libera una mezcla de gases que se componen principalmente del 50-70% de metano y del 30-50% de dióxido de carbono, porcentajes que resultan óptimos para poderlo quemar y generar calor o electricidad [1]. Por ello es importante la clasificación de los residuos que comúnmente son utilizados para la producción eficiente de biogás, tomando en consideración que dependiendo del residuo se hace la relación entre kilogramos de residuo y volumen de biogás producido, que se debe a que la cantidad de gas producido directamente está ligada al contenido de materia orgánica degradable en el residuo, la eficiencia del proceso de digestión anaerobia, el contenido de humedad y la cantidad diaria producida.

1. Estiércol animal (Figura 1)

Origen: vacas, cerdos, aves, ovejas y caballos. El estiércol bovino es uno de los desechos más abundantes en zonas rurales y comunitarias, siendo un desecho disponible y fácil de manejar. Este tipo de residuo contiene una gran cantidad de microorganismos que favorecen el proceso de la digestión anaerobia [5]. Para establecer la relación en cuanto a la producción de estiércol diario se considera como ejemplo 25 kg de estiércol fresco que contienen aproximadamente 80% de agua, es decir, quedan 5 kg de sólidos, de esos sólidos, el ~75% son materia orgánica volátil y 3.75 kg útiles, así que por cada kg de sólidos volátiles produce entre 0.35 y 0.45 m³ de biogás que es equivalente a $3.75 \times 0.4 \approx 1.5 \text{ m}^3$, y así con las demás cantidades. Con un porcentaje de generación de metano del 55-75%.

2. Residuos alimentarios (Figura 2)

Origen: cáscaras, frutas en descomposición, sobras de comida, pan duro, verduras en proceso de putrefacción, entre otros. Este tipo de residuos corresponden a la materia orgánica de origen doméstico o comercial, aplicables para biodigestores de pequeña y mediana escala, para zonas urbanas como rurales. Para establecer la relación entre residuo fresco y

la producción equivalente de biogás se toma como ejemplo 120 litros de residuo, con un 80% de agua de esta forma, se consiguen 24 kg de sólido seco por lo que para obtener los sólidos volátiles (SV) se tiene $\approx 75\%$ de sólidos secos que corresponde a 18 kg SV. Con un rendimiento de 0.0067 m³/kg SV es equivalente a $18 \times 0.0067 \approx 0.12 \text{ m}^3$, y así con las demás



Figura 1. Equivalente de biogás por cantidad de estiércol generado.



Figura 2. Equivalente de biogás por residuo fresco.

cantidades. Con un porcentaje de generación de metano del 50-70%.

3. Residuos agrícolas (Figura 3)

Origen: restos de cosechas, bagazo de caña, paja de maíz, tallos, cáscaras de café, etc. La materia orgánica disponible que se puede aprovechar a partir de este tipo de residuos es elevada debido a que son procedentes de las actividades agroindustrial y agrícola. Este tipo de residuos está compuesto de celulosa, hemicelulosa y lignina, tanto la celulosa como la hemicelulosa son componentes de fácil degradación y con ayuda de los microorganismos es más sencillo y rápido el proceso [7].

4. Lodos de plantas de tratamiento (Figura 4)

Origen: sedimentos orgánicos de aguas residuales domésticas o industriales. Este tipo de residuos se generan principalmente en el tratamiento de aguas residuales, en el cual los sólidos y la materia orgánica son separados del agua. Se establece que, a mayor contenido de materia orgánica degradable y mejor digestibilidad, se obtiene un mayor porcentaje de metano reflejando la variabilidad del sustrato y la condición de digestión presente.

5. Residuos de la industria alimentaria (Figura 5)

Origen: desechos de mataderos, restos de pescado, suero de leche, residuos de panaderías, cervecerías, etc. Este tipo de residuos provienen de industrias alimentarias y agroindustriales, siendo residuos con alto contenido de materia orgánica que es fácil de degradar [6]. Los residuos con mayor potencial de biogás por kilogramo son el estiércol vacuno y los residuos de pescado, este tipo de residuos tienen una capacidad alta de producción por lo que se consideran como energéticamente aprovechables.

El utilizar este tipo de residuos nos permite generar energía renovable siendo una estrategia eficaz y sostenible en cuanto a el manejo de los desechos orgánicos, es decir, el aprovechamiento de estos residuos a través de los biodigestores nos da la pauta para que sea un



Figura 3. Equivalente de metano por kg de materia seca con una humedad de 20-60%.



Figura 4. Equivalente de metano por tonelada de lodo seco según su tipo.



Figura 5. Equivalente de metano por kg de residuos frescos no comestibles.

proceso con una reducción significativa en relación al volumen que generamos día con día y que contribuirá a generar una segunda oportunidad de los residuos evitando malas prácticas o hasta la quema de dichos desechos. Además, estos procesos nos facilitan la gestión de estiércol, restos de alimentos, residuos agrícolas, lodos de plantas de tratamiento y residuos industriales como los lodos de la industria papelera, residuos de fibras vegetales, entre otros.

¿Cómo lo producimos y en dónde?

En los rellenos sanitarios de cielo abierto, los residuos orgánicos se descomponen de manera natural, liberando metano a la atmósfera sin ningún tipo de control, el cual es un gas con un potencial de calentamiento global mayor que el dióxido de carbono. Una alternativa para controlar la generación de metano es mediante dispositivos llamados biodigestores. Un biodigestor (Figura 6) es un contenedor o depósito, que puede ser de plástico, concreto y acero, o cualquier recipiente grande y resistente que permita generar un ambiente sin oxígeno y una descomposición anaeróbica más rápida, verificada y eficiente, el cual funciona como un sistema cerrado donde se almacenarán todos los residuos orgánicos que generamos a lo largo del día, esto quiere decir que habrá microorganismos anaerobios que descompondrán los residuos y liberarán los gases de nuestro interés. Estos sistemas están hechos para facilitar y acelerar la descomposición de la materia contenida. Podría decirse que es una fábrica viviente de energía, silenciosa y sin humo [2].

Dicho lo anterior, se debe de tomar en cuenta que el funcionamiento del biodigestor es el mismo, no importa si el biodigestor es a pequeña, mediana o grande escala. Los biodigestores se componen de áreas para realizar funciones específicas, lo cual ayuda a que la transformación de los residuos orgánicos sea la correcta y se genere correctamente biogás (Figura 7).

Área 1: Receptor

Es el lugar en donde se recibirá la fracción orgánica de los residuos como son los desechos de origen vegetal, animal, agrícola, etc., también conocida como sustrato. En esta etapa, los residuos se preparan para ser introducidos en el proceso, es importante puntualizar que se debe realizar una correcta selección y separación de materia orgánica (no debe contener plásticos o metales), porque si no la hay, puede afectar el proceso dentro del biodigestor [4].

Área 2: Mezclador

Garantiza una mezcla homogénea del residuo orgánico con el agua antes de entrar a la siguiente área, previene la formación de costras o que se compacte la materia, esto podría dificultar el proceso dentro del biodigestor. Es por ello que se tiene que asegurar que la mezcla contenida tenga una correcta distribución en cuanto a la materia orgánica y los microorganismos que van contenidos en dicha materia, de ello dependerá la descomposición óptima

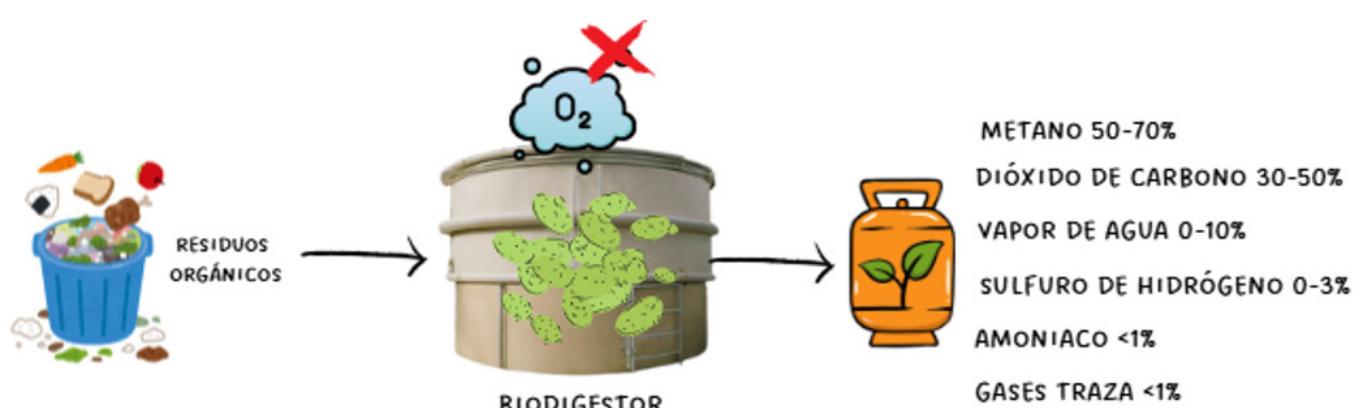


Figura 6. Etapa básica de un biodigestor.

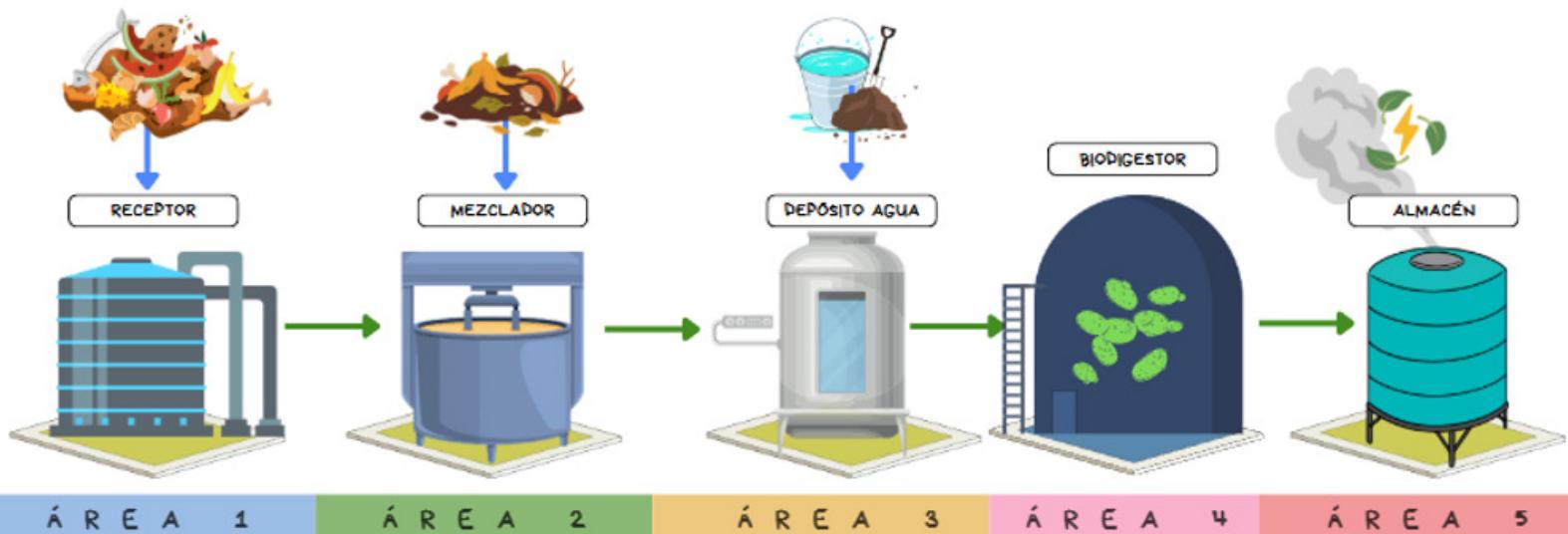


Figura 7. Áreas de proceso de generación de biogás.

de los residuos y la generación de un biogás rico en metano [3].

Área 3: Depósito de agua

Ahora bien, en esta área el agua es un factor esencial que nos ayudará a mantener la consistencia del sustrato en condiciones óptimas que nos faciliten su uso dentro del sistema. Se establece que la cantidad de agua que ingresa al mezclador es en porciones de 1:1 o 1:2 (agua: sustrato), esto dependerá del tipo de residuo y de la escala del biodigestor. El contenido de humedad es importante debido a que favorecerá el proceso de digestión anaerobia, es decir, ayudará a que las arqueas metanogénicas, que son microorganismos unicelulares que viven en ambientes sin oxígeno y producen gas metano como producto de su metabolismo, trabajen de mejor forma y que mantengan un ambiente idóneo para el sistema [3].

Área 4: Biodigestor

Es un equipo hermético que funciona como un proceso digestivo, en este sistema, la materia orgánica tiene contacto con los microorganismos tanto propios como los que se generarán en ausencia de oxígeno. Algunos de los sistemas pueden contar con mezcladores internos que ayudan a mantener en constante movimiento y de forma uniforme toda la materia orgánica contenida. Lo que durante el proceso

se empieza a liberar principalmente metano y dióxido de carbono.

Área 5: Almacén

El biogás que se produjo se puede almacenar en gasómetros, o bien, en la cúpula del biodigestor en la parte superior de este, esto dependerá del diseño del sistema. Desde ahí, el gas será almacenado de forma temporal para ser canalizado para el tipo de uso al que será destinado, es decir, en la cocina, calefacción o electricidad.

Por lo que a partir de estas áreas de trabajo se generará un gas combustible útil, es decir, un recurso energético renovable que proviene de la transformación de residuos de materia orgánica cuya utilidad abarca usos simples como la preparación de alimentos o que puede ser transportado e inyectado a la red para transformarla en energía eléctrica. La generación de biogás en un biodigestor no es inmediata, es decir, la generación comienza a partir del día 7 al 21, que son los días posteriores a la primera carga de la materia orgánica, periodo en el cual los microrganismos empezarán a descomponer la materia orgánica. Posterior a la descomposición activa de la materia, se produce de forma estable para mantener continua la generación.

¿Qué microorganismos trabajan silenciosamente para hacerlo posible?

Dentro del proceso de generación del biogás hay microorganismos invisibles al ojo humano, que son fundamentales para la generación de este recurso energético renovable [4]. Estos microorganismos anaerobios son comunidades especializadas que trabajan conjuntamente para descomponer la materia orgánica contenida en el biodigestor en ausencia de oxígeno, siendo un proceso de forma natural en condiciones controladas dentro del sistema (Figura 8).

El proceso se lleva a cabo a partir de etapas de descomposición de la materia, estas etapas son procesos metabólicos independientes, pero a la vez dependientes uno del otro, donde diferentes tipos de microorganismos trabajan de forma secuencial y conjunta para descomponer los residuos orgánicos de la forma compleja a la más simple, para poder producir el biogás. Es más sencillo entender cada etapa si se tiene un conocimiento previo acerca de las bacterias que trabajan en cada una de ellas (Figura 9).

1. Bacterias Hidrolíticas

Son un conjunto de bacterias cuya finalidad es romper los enlaces complejos de compuestos orgánicos presentes en la materia orgánica, tales como proteínas, celulosa, lignina y lípidos, convirtiéndolos en moléculas más simples y solubles, es decir, moléculas como

aminoácidos, glucosa, ácidos grasos y glicerol, los cuales pasan al siguiente grupo de bacterias. Este proceso se llama hidrólisis y es la etapa fundamental en el proceso anaerobio, así la materia orgánica es preparada para que las bacterias de la etapa siguiente puedan realizar su funcionamiento y aprovecharla de forma eficiente. En este proceso participan principalmente las bacterias *Clostridium* y *Bacteroides* (ver Figura 8, a). Sin esta etapa, las moléculas serían demasiado grandes para que las otras bacterias puedan aprovecharlas.

2. Bacterias Acidogénicas

Son un conjunto de bacterias que se encargan de convertir azúcares, aminoácidos y lípidos en ácidos orgánicos, alcoholes y cetonas, acetato, CO_2 y H_2 , siendo *Lactobacillus* (ver Figura 8, b) el microorganismo que se encuentra principalmente dentro del funcionamiento del proceso, aunque *Escherichia coli*, también lo hace. Estas bacterias fermentan los nutrientes y generan las materias primas que las siguientes bacterias usarán para producir metano. Este proceso se llama acidogénesis, es la etapa en donde los monómeros simples generados en la hidrólisis se transforman en ácidos grasos mediante una reacción biológica, siendo un paso fundamental para la obtención de compuestos útiles como ácido acético, propiónico y butírico.

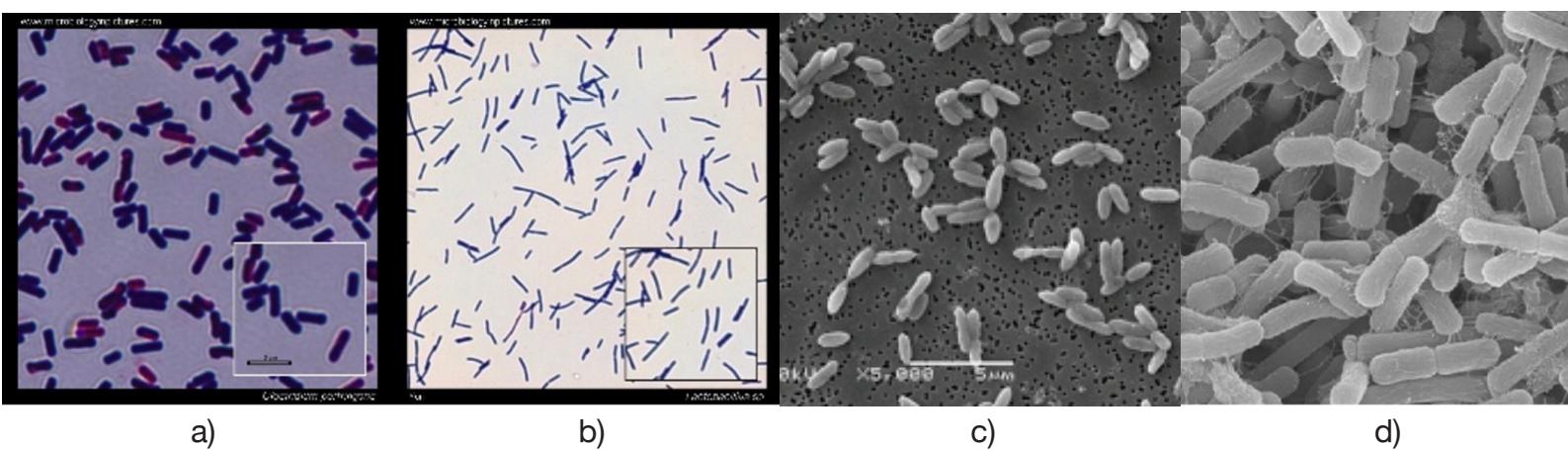


Figura 8. Morfología de las bacterias presentes en las etapas del proceso anaerobio: a) Bacteria hidrolítica (*Clostridium*), b) Bacteria acidogénica (*Lactobacillus*), c) Bacteria acetogénica (*Syntrophobacter*) y d) Arquea metanogénica (*Methanobacterium*). Tomado de: www.microbiologyinpictures.co

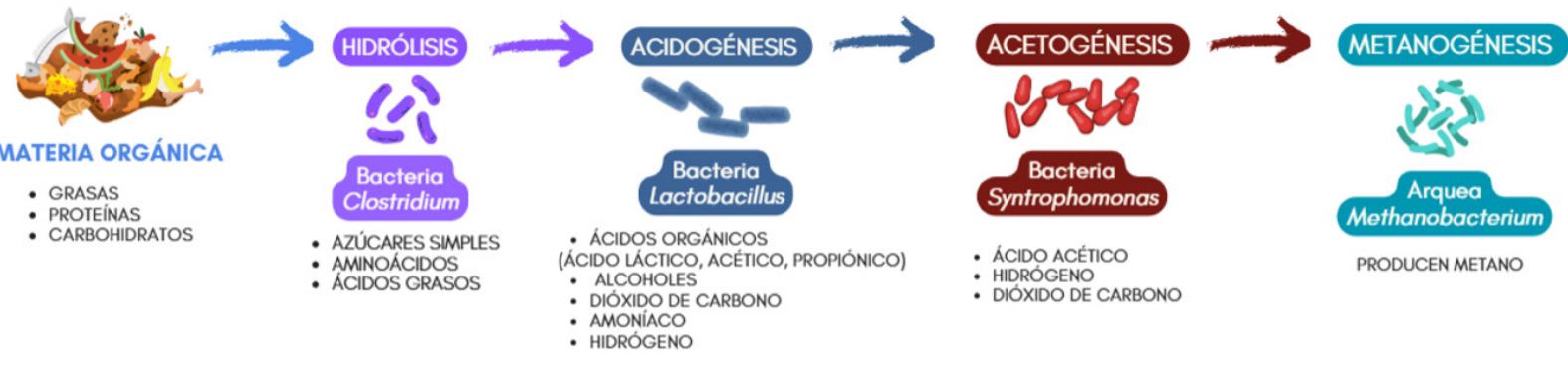


Figura 9. Microorganismos que participan en cada etapa durante la producción de biogás.

3. Bacterias Acetogénicas

Son un conjunto de bacterias que se desarrollan como productoras de H₂ junto a otras bacterias consumidoras especializadas en la oxidación de propionato y en oxidar ácidos grasos de 4 a 8 átomos de carbono, *Syntrophobacter wolinii* y *Syntrophomonas wolfei* (ver Figura 8, c) respectivamente, convirtiendo el propiónico butírico y algunos alcoholes en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono compuestos que sirven como alimento para los productores de metano. Preparan los compuestos en su forma más simple y digerible para los organismos que producen metano. Sin ellos, no habría metanogénesis eficiente. Este proceso se llama acetogénesis siendo un proceso por el cual las bacterias anaeróbicas producen acetato a partir de diversas fuentes de energía como lo son el hidrógeno y el dióxido de carbono, es decir, es una reacción biológica en la que los ácidos grasos volátiles se convierten en ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno.

4. Arqueas Metanogénicas

Son un conjunto de microorganismos que transforman el ácido acético, el hidrógeno y el CO₂ en metano (CH₄), el gas que se aprovecha como energía. En este proceso participan las arqueas *Methanobacterium*, *Methanosaeta* y *Methanosarcina* (ver Figura 8, d). Son las más importantes del proceso, porque sin ellas no habría producción de gas. Este proceso se llama metanogénesis, mediante el cual las arqueas convierten diversos sustratos en metano, es decir, los acetatos se convierten en metano y

dióxido de carbono, mientras que el hidrógeno se consume.

Cada grupo de microorganismos necesita del otro para sobrevivir, es decir, dependerán el uno del otro para mantenerse activos y en equilibrio dentro del proceso de la digestión anaerobia. Las arqueas metanogénicas consumen hidrógeno, lo que permite que las bacterias acetogénicas sigan realizando su tarea correspondiente, así las bacterias acidogénicas generarán compuestos que otras bacterias no podrían fabricar por sí solas.

Perspectivas

El biogás es una de las energías renovables más prometedoras para enfrentar los desafíos energéticos actuales, pero sobre todo para introducir una cultura en cuanto al manejo de los desechos que generamos a diario. Para este tipo de procesos, el área más importante es el avance que se ha tenido en los últimos años, es la mezcla de distintos tipos de residuos orgánicos, esto abre un panorama amplio en cuanto al equivalente de biogás que se produce y el porcentaje eficiente de metano. Para impulsar el biogás como una energía limpia y renovable, es esencial enseñar como aprovechar los residuos que ayuden a motivar a las siguientes generaciones a navegar en todo este universo de información energética, innovar en las tecnologías sustentables y causar un impacto en la cultura del uso de residuos orgánicos.

Conclusión

Cada sobra de comida, cáscara de fruta,

tallo, estiércol animal, sedimentos orgánicos, hasta desechos de mataderos tienen un potencial enorme para generar energía que normalmente no se aprovecha adecuadamente y que solo la consideramos como basura. El biogás nos demuestra lo contrario: lo que tiramos también tiene valor, a través de la acción silenciosa de microorganismos. La materia orgánica puede convertirse en energía mediante una acción constante y natural de los microorganismos anaerobios. Aprovechar el biogás es, en esencia, cambiar la forma en la que vemos los residuos que generamos, es pensar en nuestro futuro, es entender como los residuos orgánicos que cada persona, hogar, comunidad, estado o país generan a diario tienen un valor agregado, y que solo debemos saber cómo aprovecharlos. Tu basura tiene poder, tú también al decidir qué hacer con ella, lo que tiramos puede encender el futuro. **iBIO**

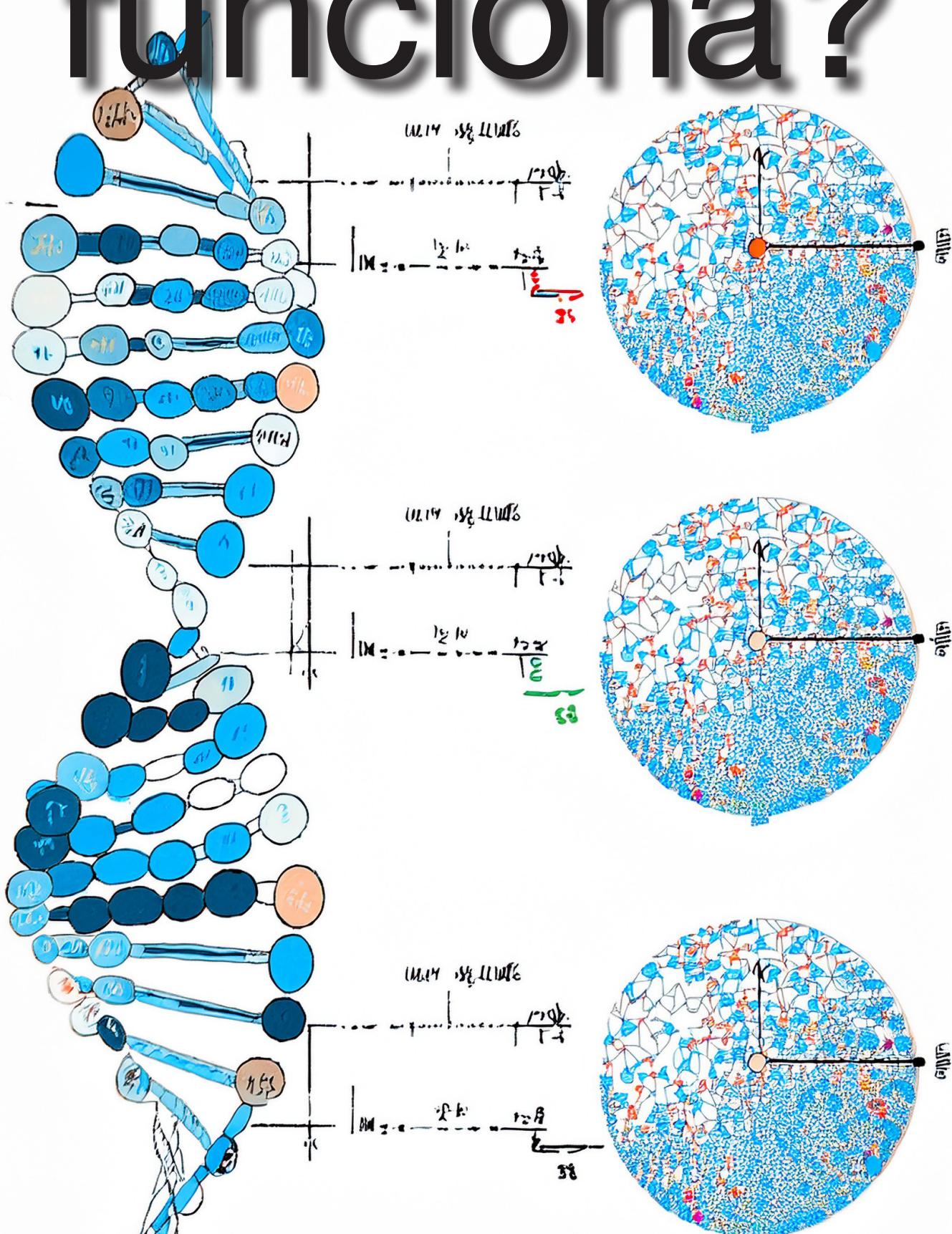
ración internacional GIZ. <https://www.giz.de/en/world-wide/33989.html>

[7] Murphy, J. (2021). Biogás procedente de la digestión de cultivos. IEA Bioenergy. https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2011/10/Update_Energy_crop_2011.pdf

Referencias

- [1] Casanovas, G. (2022). *Guía teórico práctica sobre el biogás y los biodigestores*. Instituto Nacional de Ecología y cambio climático INECC. <https://openknowledge.fao.org/items/cb02c0a4-9866-4f73-8e73-e7aa-d13967d7>
- [2] Varnero, M. T. (2011). *Manual de Biogás*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. <https://www.fao.org/4/as400s/as400s.pdf>
- [3] Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., & Zurbrügg, C. (2014). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. Eawag. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TILLEY%20et%20al%202014%20Compendium%20of%20Sanitation%20Systems%20and%20Technologies%202nd%20Revised%20Edition.pdf
- [4] SENER. (2020). *Diagnóstico del potencial de biogás en México*. Datos sobre residuos disponibles por sector para biodigestores en México. <https://www.cnbiogas.mx>
- [5] López, J. P. (2019). Producción de biogás a partir de estiércol ovino en zonas áridas. *Agro Productividad*, 12(4). <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1201>
- [6] Zurita, A. (2020). *Biogás urbano: oportunidades con residuos de animales*. Sociedad alemana para la coope-

¿Cómo funciona?



Bioquímica a través del tiempo y espacio: Perspectiva desde el modelado matemático

Biochemistry through time and space: A perspective from mathematical modeling

Resumen

La vida, entendida como un sistema complejo, ha sido estudiada mediante el modelado matemático durante más de un siglo. Este enfoque ha sido fundamental desde sus primeras versiones simplificadas, y su alcance se ha ampliado gracias a la computación avanzada y a algoritmos sofisticados. A pesar de estos avances, persisten desafíos en la validación experimental y en la interpretación de grandes volúmenes de datos. En este contexto, la simulación por computadora, apoyada por herramientas de bioinformática y biología de sistemas, permite interpretar los datos de manera más precisa, fortaleciendo la predicción y el entendimiento del comportamiento de los organismos vivos.

Palabras clave: Biología de sistemas, bioinformática, sistemas biológicos.

Summary

Life, understood as a complex system, has been studied through mathematical modeling for over a century. This approach has been fundamental since its earliest simplified versions, and its scope has expanded thanks to advanced computing and sophisticated algorithms. Despite these advances, challenges remain in experimental validation and in the interpretation of large volumes of data. In this context, computer simulations, supported by tools from bioinformatics and systems biology, allow for more accurate data interpretation, enhancing our understanding and predictive capacity of living organisms.

Keywords: Systems biology, bioinformatics, biological systems.

Bruno Alberto Ortiz García^{1*}

María Isabel Neria-González¹

Ricardo Aguilar-López²

¹División de Ingeniería Química y Bioquímica, TecNM: Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, C.P. 55210, Ecatepec de Morelos, Estado de México, México.

²Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, CINVESTAV-IPN, C.P. 07360, San Pedro Zacatenco, CDMX, México.

*Autor para la correspondencia:
202322188@tese.edu.mx

La vida es el sistema tecnológico más potente y, al mismo tiempo, el más complejo del planeta. Esta asombrosa complejidad representa un fantástico rompecabezas para quienes estudian sus misterios; pero, más importante aún, ofrece una gran cantidad de oportunidades para quienes buscan utilizar el conocimiento sobre los sistemas biológicos para mejorar la calidad de vida humana [1].

Para comprender los procesos vivos, el modelado matemático ha sido una herramienta fundamental desde sus primeros intentos por describir el comportamiento de los sistemas biológicos mediante abstracciones que llamamos ecuaciones matemáticas, las cuales sirven de modelos abstractos de los diferentes sistemas biológicos. Inicialmente, estos modelos consistían en **descripciones simplificadas** de fenómenos biológicos, formuladas con un en-

foque teórico y muchas veces limitadas por la falta de datos experimentales detallados para su validación. Sin embargo, con el avance de la tecnología, la capacidad de desarrollar estos modelos ha **crecido exponencialmente**, permitiendo representaciones cada vez más precisas y detalladas. Desde la perspectiva de bioingeniería, esta metodología ofrece la posibilidad de explorar los **procesos bioquímicos a través del tiempo y el espacio**.

El desarrollo de la tecnología de la **computación** y sus algoritmos marcó un punto de inflexión en explotación de los **modelos matemáticos para sistemas biológicos**, ya que ahora es posible resolver un gran número de ecuaciones en tiempos relativamente cortos. Este artículo analiza la evolución de estos modelos y su impacto en la comprensión de sistemas biológicos. La aparición de potentes computadoras, junto con el avance de métodos matemáticos sofisticados y la capacidad de procesamiento de grandes volúmenes de datos, ha permitido modelar estos sistemas con un nivel de detalle sin precedentes. En este contexto, los **modelos probabilísticos, redes neuronales artificiales, modelos multiescala** y enfoques de **inteligencia artificial** han **revolucionado** la forma en que **representamos** y **predecimos** el comportamiento de los sistemas biológicos. Hace décadas, los modelos biológicos eran como los primeros mapas de exploradores: útiles, pero llenos de zonas “**desconocidas**” y con trazos aproximados. Con el avance computacional, es como haber pasado de esos mapas antiguos a un Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés) más detalle y precisión.

El empleo de modelos matemáticas para comprender los sistemas biológicos se ha llevado a cabo durante **más de un siglo** [2]. Con el avance en la secuenciación del genoma, se ha producido una **expansión sin precedentes** en la cantidad de información biológica disponible. Actualmente, podemos **acceder a datos completos** sobre el **código genético**, y un mayor entendimiento sobre la bioquímica de

los genes, su funcionamiento e interrelación, lo que conduce a conocer con mayor detalle, los **procesos metabólicos** en los que participan [3].

Comprender y utilizar toda esta información se ha convertido en un **reto clave** para el estudio de sistemas biológicos, lo que ha impulsado el desarrollo de herramientas computacionales **avanzadas**, que han desembocado en lo que actualmente se denomina la **bioinformática**, la cual ha adquirido un papel fundamental, ya que permite organizar y analizar estos datos de manera eficiente.

La **bioinformática** se encuentra en la intersección de la biología, la computación y las matemáticas. Su campo de **estudio** abarca el **almacenamiento, búsqueda, manipulación y modelado** de datos biológicos. Entre sus aplicaciones destacan la **construcción** representaciones **estructurales y funcionales** del genoma, que permiten no solo localizar genes codificantes, sino también explorar regiones no codificantes, a menudo denominadas la “**matriz oscura**” del ADN, el **análisis de secuencias de nucleótidos y aminoácidos**, la **predicción** de las **estructuras proteicas, entre otros**. Gracias a estas herramientas, es posible formular hipótesis y realizar simulaciones computacionales **antes** de llevar a cabo experimentos en el laboratorio, **entendiendo** mejor el sistema de estudio, **optimizando** el tiempo de investigación y **reduciendo** significativamente el gasto de recursos.

A medida que la bioinformática ha avanzado en la recopilación y análisis de **grandes volúmenes** de datos biológicos, ha surgido la necesidad de comprender no solo los componentes individuales de los sistemas biológicos, sino también sus interacciones y dinámicas globales. Es aquí donde la biología de sistemas cobra **relevancia**, ya que busca integrar diferentes tipos de datos genómicos, transcriptómicos, proteómicos y metabolómicos para modelar y predecir el comportamiento de sistemas biológicos completos. La **biología de sistemas** como disciplina que estudia las propieda-

des sistemáticas y sus interacciones dinámicas en un **agente biológico** ya sea una célula, un organismo, un virus o un huésped infeccioso (**Figura 1**), desde un punto de vista cualitativo, cuantitativo y por combinación de estudios experimentales con modelado matemático [4].

Modelado matemático en sistemas biológicos

Al estudiar procesos bioquímicos y genéticos, es fundamental comprender su comportamiento en un momento específico, como si les tomáramos una “**fotografía**” que capture su **estado** en ese instante. Esta fotografía nos permite analizar las condiciones actuales del sistema y entender cómo interactúan sus componentes (**Figura 2**) [5].

Por ello, usamos ecuaciones matemáticas que incluyen variaciones o tasas de cambio, que técnicamente se llaman ecuaciones diferenciales ordinarias (**EDO's**) como herramientas fundamentales para describir cómo varían ciertas variables en un sistema a lo largo del tiempo. En el ámbito de las **redes bioquímicas**, como las interacciones entre diversas sustancias dentro de una célula, las EDO's se emplean para modelar los cambios a través del tiempo de las especies bioquímicas que participan en estas redes. En contraste, las ecuaciones en derivadas parciales (**EDP's**) son esenciales cuando el fenómeno depende de múltiples variables como la posición y el tiempo, como la difusión de metabolitos en medios heterogéneos.

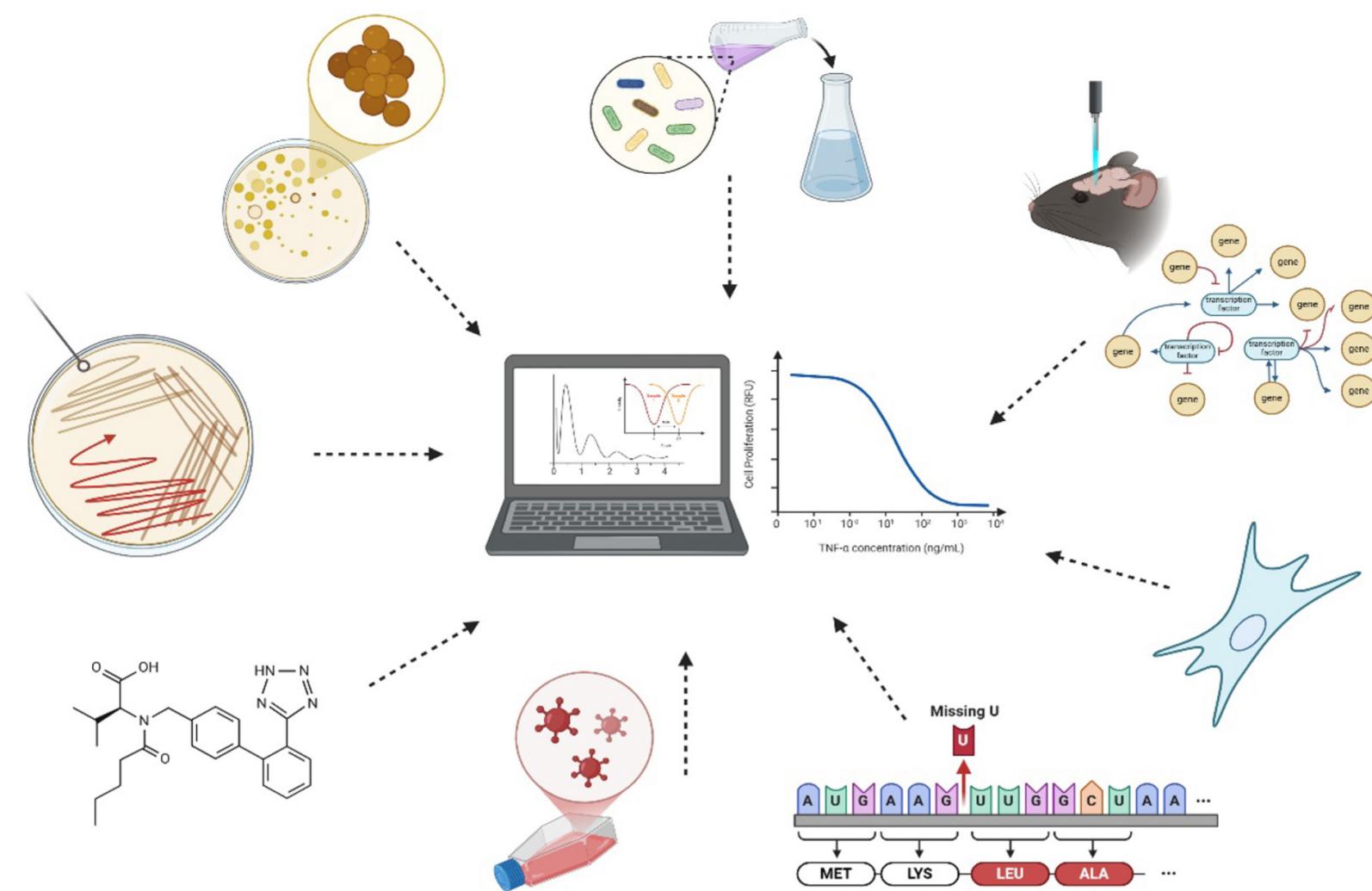
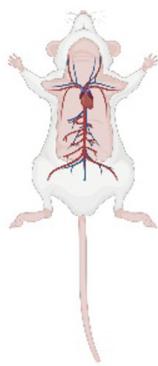
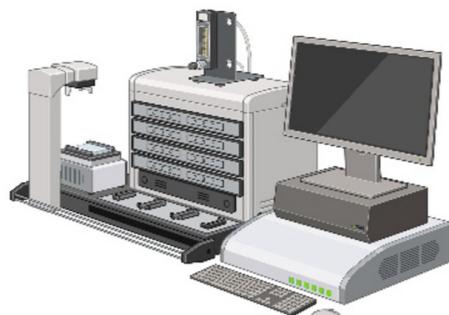


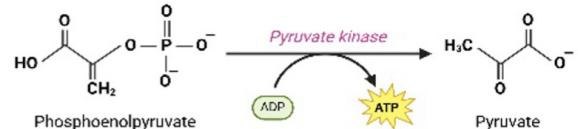
Figura 1. Ejemplos de sistemas biológicos que se simulan y modelan en ingeniería de procesos biológicos.



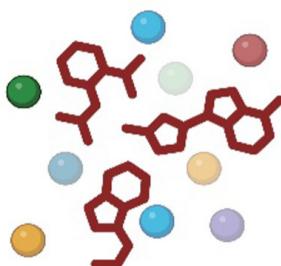
a)



b)



c)

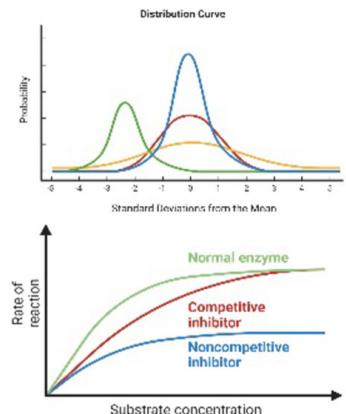


$$dX/dt = \mu^* X - Kd \quad X(0) = n$$

$$dS / dt = \mu * X - Kd \quad S(0) = m$$

$$dP / dt = \mu * X - Kd \quad P(0) = 0$$

$$dmRNA / dt = ktG - kdmRNA$$



d)

e)

f)

Figura 2. Pasos generalizados del modelado matemático. a) Sistema biológico en estudio. b) Compilación de datos experimentales. c) Esquema del modelo de estudio. d) Variables y parámetros involucrados. e) Modelo dinámico y uso de herramientas de simulación numérica. f) Validación y resultados.

Cuando hablamos de comportamientos dinámicos, generalmente nos referimos a sistemas inherentemente no lineales que pueden exhibir una amplia **gama de respuestas**. Estos sistemas se consideran no lineales porque su comportamiento no es proporcional: pequeños cambios pueden producir **efectos significativos**, mientras que grandes modificaciones a veces generan impactos mínimos.

En contraste, los sistemas lineales presentan relaciones **proporcionales** y **predecibles** entre sus variables. En estos casos, un cambio en una variable genera una variación proporcional en otra. Esta proporcionalidad facilita el análisis y la predicción del comportamiento del sistema.

Para comprender y predecir el comportamiento de estos sistemas complejos, se em-

planan **simulaciones numéricas**. Esto implica la creación de modelos matemáticos que representan las interacciones dentro del sistema, los cuales se resuelven utilizando **software especializado (Figura 3)**. Dado que obtener soluciones exactas es a menudo difícil o imposible debido a la complejidad del sistema, se aplican **métodos de aproximación** que permiten obtener resultados suficientemente precisos para su análisis.

Estas técnicas de aproximación permiten obtener **soluciones cercanas** cuando los problemas matemáticos son complejos. En lugar de buscar una solución exacta, que a veces no es posible, nos ayudan a **entender de forma realista** cómo se comporta un sistema. Por ejemplo, al modelar el crecimiento de bacterias según la disponibilidad de nutrientes, los **métodos numéricos** permiten predecir su evolu-

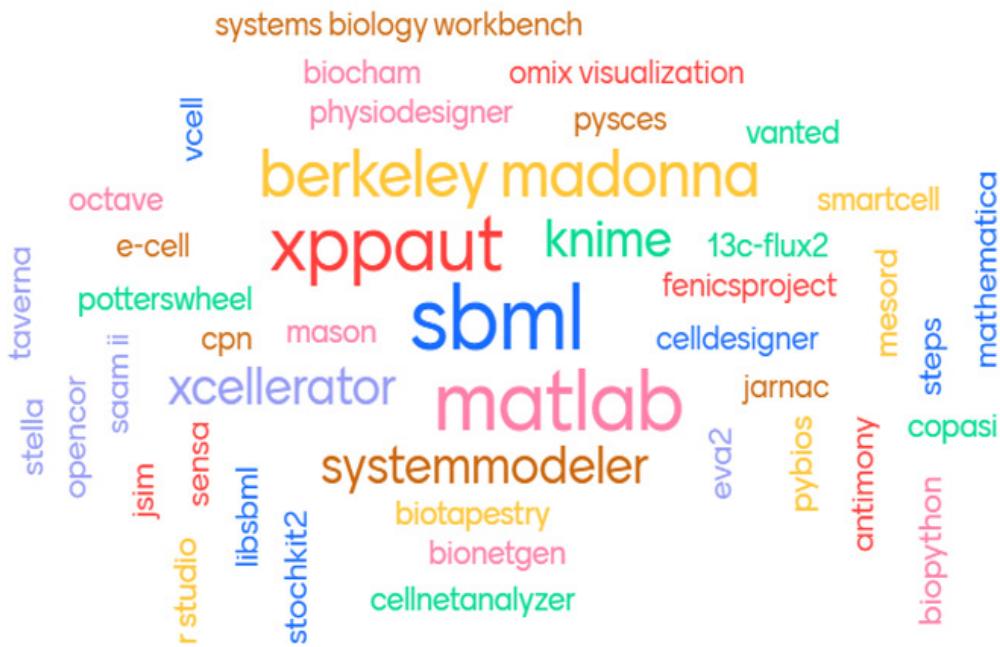


Figura 3. Paquetes de softwares especializados que sirven como herramienta para modelar y simular sistemas biológicos.

ción en diferentes condiciones.

A medida que profundizamos en el **modelo biológico**, queda en evidencia como todos los modelos son aproximaciones de la realidad. Cada ecuación es una interpretación de múltiples factores que influyen en el comportamiento de un sistema vivo [6]. Sin embargo, aunque los modelos no son la realidad misma, se vuelven una **herramienta imprescindible** en la ciencia actual, facilitándonos tomar decisiones informadas y formular hipótesis sobre futuros escenarios en ámbitos tan diversos como la salud, la biotecnología, la medicina o el cuidado del medio ambiente.

En el futuro, los modelos combinarán la precisión de las ecuaciones con la flexibilidad de la inteligencia artificial. Esto permitirá ajustar procesos **en tiempo real**, como si se tratara de un “control remoto” para la vida. **iBIO**

Agradecimiento

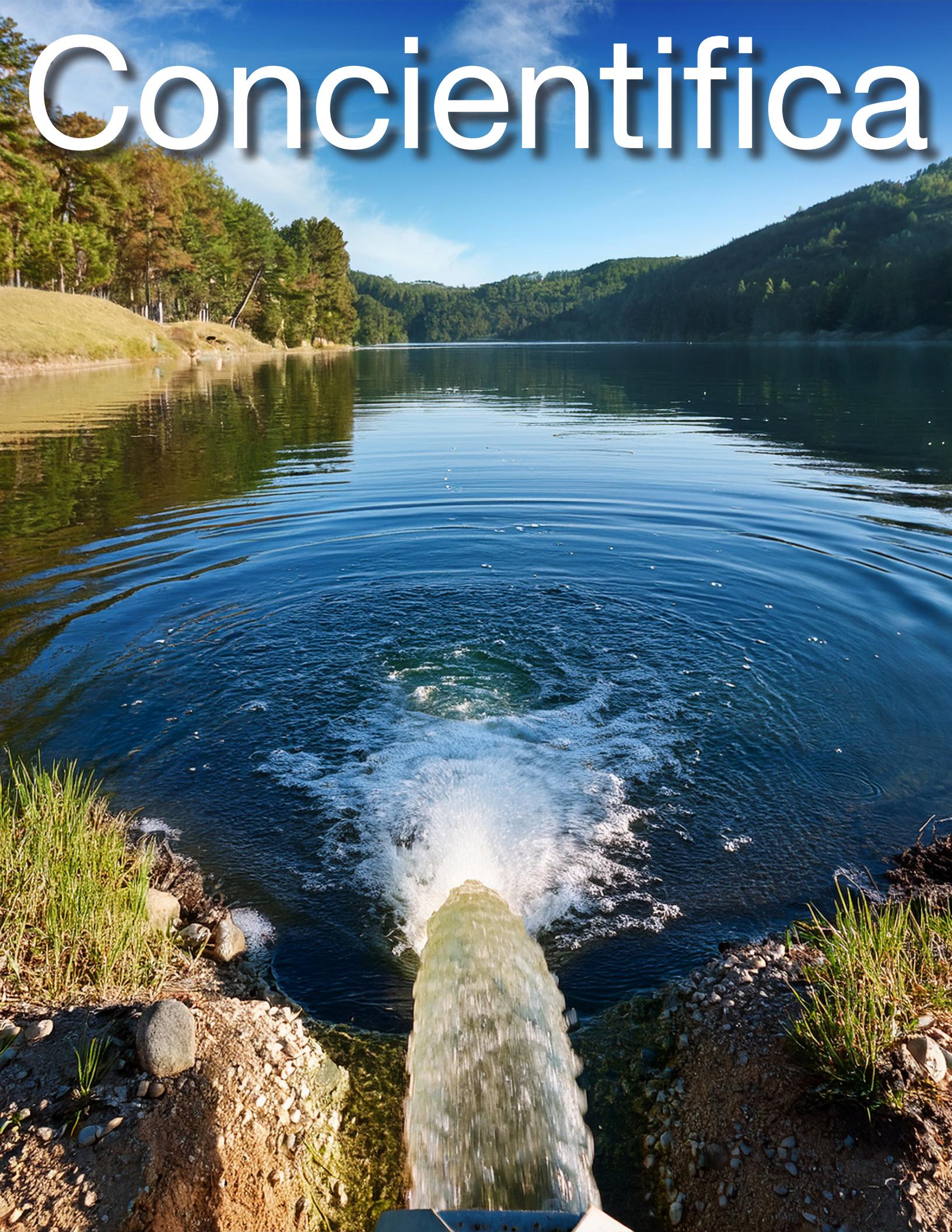
Los autores agradecen el uso de la herramienta de IA **ChatGPT (OpenAI)** como apoyo

en la organización lingüística del presente texto. Se deja constancia de que todos los contenidos técnicos e interpretaciones científicas presentados son de autoría exclusiva, y que la herramienta fue utilizada únicamente para mejorar la estructura, claridad y coherencia del documento.

Referencias

- [1] Feig, M., & Sugita, Y. (2019). Whole-Cell Models and Simulations in Molecular Detail. *Annual Review Of Cell And Developmental Biology*, 35(1), 191-211. <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-100617-062542>
- [2] Smith, R. W., & Fleck, C. (2017). Derivation and use of mathematical models in systems biology. In *Pollen Tip Growth: From Biophysical Aspects to Systems Biology* (pp. 339-367). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56645-0_13
- [3] Lucido, A., Basallo, O., Marin-Sanguino, A., Elewa, A., Martinez, E. S., Vilaprinyo, E., Sorribas, A., & Alves, R. (2025). Multiscale Mathematical Modeling in Systems Biology: A Framework to Boost Plant Synthetic Biology. *Plants*, 14(3), 470. <https://doi.org/10.3390/plants14030470>
- [4] Saltelli, A., & Di Fiore, M. (Eds.). (2023). *The politics of modelling: Numbers between science and policy*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198872412.001.0001>
- [5] Zupanic, A., Bernstein, H. C., & Heiland, I. (2020). Systems biology: current status and challenges. *Cellular And Molecular Life Sciences*, 77(3), 379-380. <https://doi.org/10.1007/s00018-019-03410-z>
- [6] Aguilar López, R. (2024). Fermentation Processes. Modeling, Optimization and Control. *MDPI*. <https://www.mdpi.com/books/reprint/10183-fermentation-processes-modeling-optimization-and-control>

Concientifica



Enemigos invisibles: Contaminación y bacterias resistentes a antibióticos en cuerpos de agua

Invisible enemies: Pollution and antibiotic-resistant bacteria in water bodies

Santiago Reyes^{1,3,4*}

Natalia Fernández^{1,3,4}

José A. Di-Conza^{2,4}

Resumen

Los lagos poseen un alto valor ecológico, turístico y social, presentando una gran diversidad de seres vivos, y siendo un recurso vital para el abastecimiento de agua potable. Sin embargo, la contaminación de los cuerpos de agua, ya sea por basura, aguas residuales o actividades humanas, favorece la aparición de bacterias resistentes a antibióticos, lo cual representa un riesgo a nivel global, siendo urgente la necesidad de tomar medidas para proteger estos ecosistemas.

Palabras clave: Lagos, presión antrópica, resistencia bacteriana.

Summary

Lakes hold high ecological, touristic, and social value, harboring a great diversity of living organisms and serving as a vital resource for drinking water supply. However, pollution of these water bodies, whether from solid waste, wastewater, or human activities, favors the emergence of antibiotic resistant bacteria, posing a global risk and highlighting the urgent need to implement measures to protect these ecosystems.

Keywords: Lakes, anthropogenic pressure, bacterial resistance.

¹Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue, Río Negro, Argentina.

²Instituto de investigaciones en Bacteriología y Virología Molecular (IBaViM), Universidad de Buenos Aires (UBA), Buenos Aires, Argentina.

³Instituto Andino Patagónico de Tecnologías Biológicas (IPATEC), (CONICET-UNComahue), Río Negro, Argentina.

⁴Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

*Autor para la correspondencia:
santiagoreyes@comahue-conicet.gob.ar

Los lagos como zonas recreativas y el impacto poblacional

Cada vez que nos paramos frente a un lago, pocas veces nos preguntamos todo lo que sostiene: vida, historias, y también los efectos de nuestras propias acciones. Los lagos y otros cuerpos de agua son espacios naturales de gran valor ecológico y social. Son lugares donde las personas realizan actividades recreativas, como nadar, remar, bucear, o simplemente estar en contacto directo con la naturaleza. A nivel ecológico, albergan una elevada biodiversidad acuática y terrestre, de gran importancia para el equilibrio de los ecosistemas que los rodean. Asimismo, cumplen una función esencial como reservo-

rios naturales de agua potable, un recurso indispensable para la sociedad, la agricultura y el ambiente.

En muchas partes del mundo, estos ecosistemas también generan un gran beneficio económico gracias al turismo nacional e internacional, que atrae cada año a miles de visitantes. Sin embargo, la llegada masiva de turistas y el crecimiento de las poblaciones cercanas a los cuerpos de agua pueden poner en riesgo el equilibrio natural de estos ecosistemas. Cada persona que visita o habita las zonas ribereñas genera residuos, demanda servicios e infraestructura, y contribuye, aunque sea de manera indirecta, a la contaminación del entorno. Cuando la capacidad de tratamiento de aguas residuales o la gestión de desechos no es suficiente, los lagos comienzan a recibir más contaminantes de los que pueden sopportar. Como consecuencia, la presión sobre estos ecosistemas aumenta, los cuerpos de agua se encuentran cada vez más amenazados por la contaminación antrópica (originada por actividades humanas) y se alteran las comunidades de organismos y microorganismos que los habitan. En este contexto nos preguntamos ¿qué complicaciones desapercibidas podrían resultar de estos impactos antrópicos?

El desafío de la contaminación de los lagos

La contaminación de los cuerpos de agua se ha acelerado durante las últimas décadas, debido al aumento poblacional y a la falta de una gestión adecuada de los residuos y del manejo del turismo.

Esta contaminación se puede manifestar de varias formas (Figura 1), algunas pasan desapercibidas a simple vista [1]. Entre las principales fuentes de contaminación están los desechos producidos por las actividades humanas cercanas a los lagos. Por ejemplo, los residuos generados por casas rodantes, las heces de animales que contienen bacterias y nutrientes que se arrastran hacia el agua, y la contaminación de complejos turísticos, cuyos vertidos de aguas residuales (muchas veces sin trata-

miento adecuado) incluyen materia orgánica y contaminantes. A esto se suma el vertido directo de desagües cloacales con tratamiento insuficiente, así como los desechos dejados por turistas y residentes en las costas, que afectan incluso zonas alejadas a donde llegan arrastrados por el viento. En épocas de alta afluencia turística, el problema se intensifica, ya que el volumen de desechos supera la capacidad de limpieza o tratamiento local. Estos desechos no solo afectan el paisaje, sino que también pueden liberar sustancias tóxicas al descomponerse. Los efluentes difusos, provenientes de sistemas de alcantarillado deficientes, tanques sépticos que filtran hacia fuentes de agua subterráneas, o descargas arrastradas por lluvias (ej. efluentes domésticos e industriales no regulados), también contribuyen al problema. La agricultura también puede afectar la calidad del agua, en zonas rurales se añaden sedimentos, nutrientes, herbicidas y pesticidas, mientras que la infiltración desde vertederos introduce aguas contaminadas con metales pesados y sustancias que no se descomponen fácilmente. También existen los contaminantes químicos de origen industrial o farmacéutico, encontrándose entre los principales y más peligrosos los antibióticos. Estos compuestos, aunque útiles en la medicina humana y veterinaria llegan a los cuerpos de agua por el mal manejo de residuos y pueden alterar las comunidades microbianas naturales.

Todos estos compuestos se acumulan en los cuerpos de agua y terminan no solo degradando la calidad del agua potable, sino que favorecen la proliferación de microorganismos patógenos y bacterias resistentes a los antibióticos, un problema creciente a nivel global. Esto convierte a estos ecosistemas acuáticos en potenciales focos de enfermedades, representando un riesgo tanto para la salud humana como para las actividades turísticas. Por eso, entender cómo nuestras actividades cotidianas impactan estos ecosistemas es clave para prevenir riesgos que, aunque invisibles pueden afectarnos directamente.

Fuentes de contaminación



Figura 1. Esquema ilustrativo de diversas fuentes de contaminación de cuerpos de agua próximos a asentamientos urbanos: 1,2 y 3) Actividades recreativas y heces de animales silvestres y domésticos, 4) Infiltraciones y desechos de complejos turísticos y hoteles, 5) Vertidos de aguas de planta de tratamiento de efluentes, 6) Actividades inherentes al centro de las ciudades (ej. generación de basura, derrames de combustible y aceites), 7) Vertederos. (Imagen de elaboración propia con asistencia de IA).

Bacterias resistentes: una preocupación creciente

Las bacterias son microorganismos unicelulares que se encuentran en prácticamente todos los ambientes naturales y en nuestro cuerpo. Aunque a menudo se les asocia con enfermedades, la mayoría de las bacterias no son dañinas; muchas forman parte de nuestra microbiota y cumplen funciones clave en la digestión y protección contra patógenos. Sin embargo, algunas bacterias sí pueden causar enfermedades, un hecho que se demostró en el siglo XIX cuando el médico alemán Robert Koch descubrió la primera bacteria patógena, *Bacillus anthracis*, causante del ántrax. Antes de este descubrimiento, infecciones como la

peste bubónica o la tuberculosis habían causado la muerte de millones de personas sin que se comprendiera su origen ni cómo se transmitían.

Tiempo después, en 1928, el médico escocés Alexander Fleming descubrió la penicilina, el primer antibiótico, al observar que un hongo (*Penicillium notatum*) inhibía el crecimiento de bacterias (*Staphylococcus aureus*). Este descubrimiento revolucionó la medicina, permitiendo tratar infecciones que antes eran mortales y salvar la vida de millones de personas. En las décadas siguientes, se desarrollaron y descubrieron nuevos antibióticos, ampliando el arsenal contra las enfermedades bacterianas. Sin embargo, a medida que el uso de estos fár-

macos se extendió, las bacterias comenzaron a desarrollar mecanismos de resistencia que les permiten sobrevivir a los tratamientos con antibióticos. En otras palabras, las bacterias aprendieron a defenderse de las medicinas diseñadas para eliminarlas. Hoy, este fenómeno representa una de las mayores amenazas para la salud global, poniendo en riesgo muchos avances médicos que antes dábamos por sentados [2]. Y este problema no se limita a los hospitales: también está presente en el medio ambiente.

La resistencia a antimicrobianos es la capacidad que tienen las bacterias para sobrevivir y reproducirse en presencia de sustancias que son nocivas para su desarrollo, como los antibióticos [3]. Este fenómeno es de gran preocupación desde la perspectiva ecológica, ya que estas bacterias pueden desplazar a otros microorganismos, y también desde el punto de vista médico, por diversos motivos:

- Reducen la *efectividad* de los tratamientos, volviendo ineficientes antibióticos que antes curaban infecciones comunes.
- Elevan los costos de atención médica, al requerir medicamentos más caros, pruebas diagnósticas adicionales y hospitalizaciones prolongadas, lo que también eleva el riesgo de contraer otras infecciones.
- Aumentan la *mortalidad*; actualmente más de un millón de personas mueren cada año por resistencia a los antimicrobianos, y se proyecta que para el 2050 esa cifra podría superar los 10 millones.

Esto demuestra que la resistencia bacteriana a los antibióticos no es un problema futuro: ya está afectando la salud y la economía mundial.

Aunque la resistencia puede surgir de forma natural, muchos factores aceleran su propagación y persistencia en los ambientes. Por ejemplo: el uso excesivo de antibióticos (tanto en entornos clínicos como en el uso cotidiano o en la ganadería); la transferencia de bacterias resistentes desde animales a humanos, y

especialmente la contaminación de cuerpos de agua con residuos farmacéuticos, materia orgánica y microorganismos patógenos. En regiones turísticas, este problema se intensifica: las poblaciones han crecido sin que las redes de tratamiento de aguas residuales se adapten a la demanda, lo que se ve agravado por una infraestructura de saneamiento deficiente y la falta de políticas públicas efectivas. El resultado suele ser un incremento descontrolado de efluentes, desde plantas de tratamiento saturadas hasta vertidos domiciliarios difusos o clandestinos, que llegan a lagos y ríos.

Esta situación convierte a los cuerpos de agua en reservorios de bacterias resistentes, donde la contaminación no sólo afecta la salud de los ecosistemas acuáticos, sino también la salud pública, al comprometer la calidad del agua potable, y favorecer la propagación de enfermedades.

Si bien la resistencia a antibióticos es un aspecto de gran importancia de la contaminación de los cuerpos de agua, no se debe desviar la atención de otros aspectos igualmente preocupantes. Por ejemplo, otros contaminantes como metales pesados, pesticidas y microplásticos provenientes de actividades industriales, agrícolas y urbanas también agravan el problema. Esto no solo afecta la biodiversidad y reduce los distintos beneficios que ofrecen los cuerpos de agua, sino que también representa un riesgo para la salud humana. Por estos motivos, es necesario realizar un monitoreo constante en el tiempo que proteja no solo a los ecosistemas sino también a las comunidades que dependen de ellos, garantizando la salud y el bienestar del ambiente y la sociedad.

Medidas de prevención

Tanto el aumento de la contaminación de los cuerpos de agua como el incremento de las bacterias resistentes requiere de acciones urgentes y coordinadas por parte de varios sectores públicos y privados. Por lo tanto, es muy importante fortalecer la conciencia ciudadana sobre el impacto de actividades recreativas y prácticas cotidianas, como el uso inapropiado

de antibióticos o la eliminación inadecuada de los residuos, mediante campañas educativas que promuevan prácticas sostenibles y responsables. Además, los tomadores de decisiones, tanto del sector público como privado, deben dar prioridad a inversiones en infraestructura de saneamiento acorde a las demandas poblacionales, especialmente en zonas turísticas donde la presión sobre los recursos hídricos es cada vez mayor y más preocupante. En distintos países de América Latina se han establecido leyes para enfrentar estos desafíos. Por un lado, se han implementado leyes que establecen normas para proteger los recursos naturales y prevenir la contaminación ocasionada por las actividades humanas. Por otro lado, y de forma más específica, también existen leyes para controlar el uso de los antibióticos, restringiendo su venta exclusivamente bajo receta médica y sólo en casos justificados. Estas medidas son herramientas fundamentales, pero se necesita de una mayor fiscalización y una aplicación efectiva en todo el territorio. También se requiere de un mayor control sobre los vertidos industriales y agrícolas, así como de un mantenimiento adecuado y sostenido de las plantas de tratamiento de efluentes.

La colaboración entre la comunidad científica, las autoridades y la sociedad es sumamente importante para realizar un monitoreo de la calidad del agua, detectar focos de resistencia bacteriana y diseñar estrategias que protejan el ambiente y la salud humana. En este sentido, es necesario la búsqueda e implementación de herramientas biotecnológicas que permitan realizar un seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos. Un ejemplo es el uso de bioindicadores, organismos como plantas, algas o pequeños animales acuáticos que pueden reflejar los niveles de contaminación. Además, estas prácticas deben considerar la participación de la comunidad a través de la ciencia ciudadana, donde el conocimiento local es muy valioso y fortalece la conciencia ambiental. 

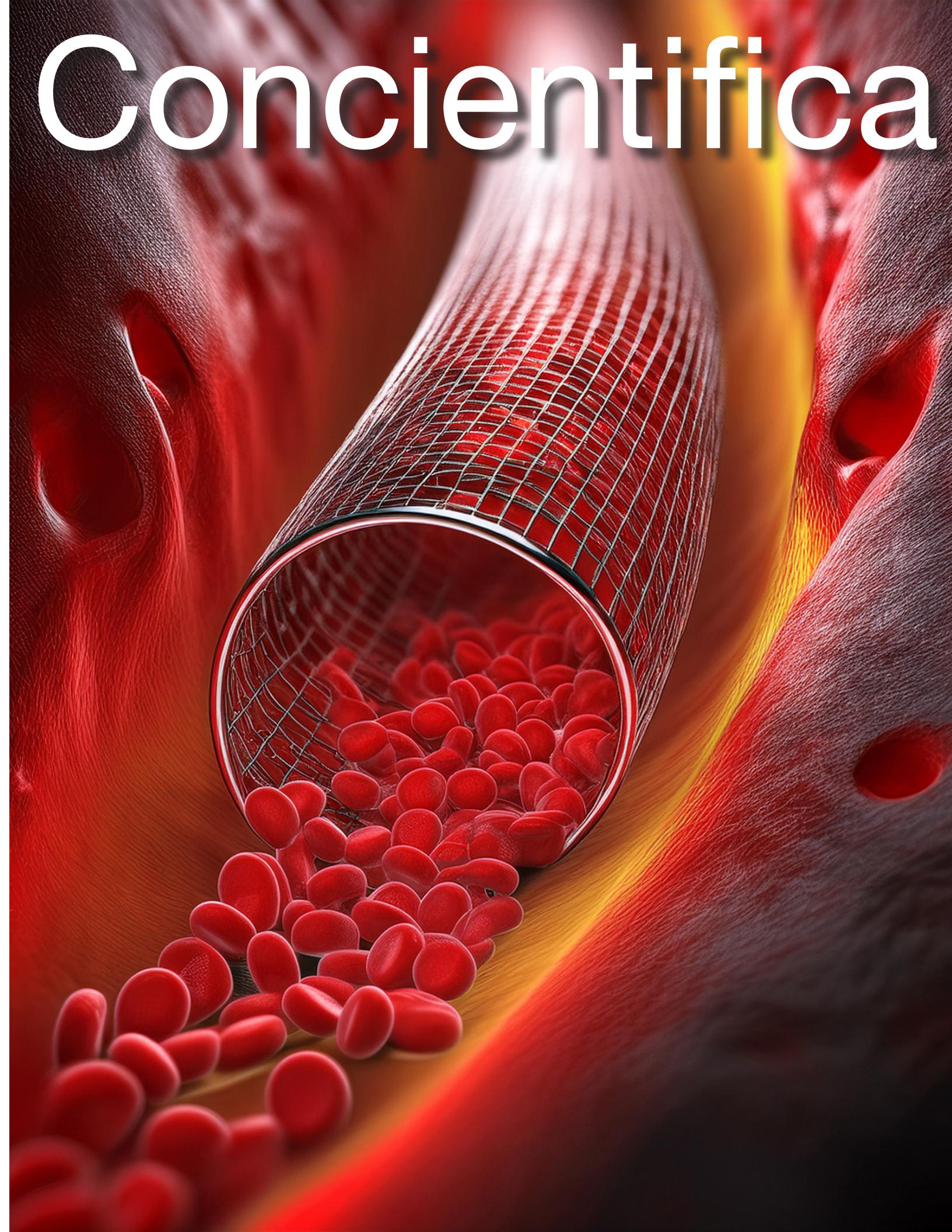
Agradecimientos

Agradecemos al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por el apoyo financiero e institucional.

Referencias

- [1] Nishmitha, P. S., Akhilghosh, K. A., Aiswriya, V. P., Ramesh, A., Muthuchamy, M., & Muthukumar, A. (2025). Understanding emerging contaminants in water and wastewater: A comprehensive review on detection, impacts, and solutions. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.jhazadv.2025.100755>
- [2] OMS (2021). *Resistencia a los antimicrobianos*. Disponible desde: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>. Consultado: 2 de junio, 2025.
- [3] Iglesias, J. O. (2019). Comprendiendo la resistencia a antibióticos. *Revista de Investigación y Educación en Ciencias de la Salud*, 4(2), 84-89. <https://doi.org/10.37536/RIECS.2019.4.2.164>

Concientifica



Ingeniería de biomateriales para mejorar la vida humana

Biomaterials engineering to improve human life

Resumen

Los biomateriales son materiales de origen natural o sintético capaces de convivir con el cuerpo humano sin causar daño, por lo que permiten reparar tejidos, sustituir órganos o desarrollar dispositivos médicos. El uso de biomateriales es tan común que, en algún momento de nuestra vida, todos nos encontraremos con ellos (como implantes dentales, lentes de contacto, hidrogelos inyectables liberadores de fármacos, catéteres, sondas, suturas y prótesis articulares, entre otros). Los avances científicos han permitido el desarrollo de nuevos métodos y técnicas de fabricación, como los objetos 3D, así como la selección de materiales inofensivos capaces de mejorar la vida humana.

Palabras clave: Biomateriales, ingeniería, metales.

Summary

Biomaterials are materials of natural or synthetic origin that can coexist with the human body without causing harm, thus allowing for tissue repair, organ replacement, or the development of medical devices. The use of biomaterials is so common that we will all encounter them at some point in our lives (such as dental implants, contact lenses, injectable drug-releasing hydrogels, catheters, probes, sutures, and joint prostheses, among others). Scientific advances have enabled the development of new manufacturing methods and techniques, such as 3D printing, as well as the selection of harmless materials capable of improving human life.

Keywords: Biomaterials, engineering, metals.

Jorge Luis Hernández Morelos

Ana Karen Gálvez Larios*

Alfredo Brito Franco

Universidad Autónoma del Estado de Morelos, CIIACap,
Cuernavaca, Morelos, México.

*Autor para la correspondencia:
ana.galvez@uaem.mx

El uso de biomateriales proviene desde que los antiguos griegos y chinos utilizaban materiales naturales como el colágeno extraído de la piel de mamuts, cutículas de gusanos y piel de peces para la regeneración de tejidos. Desde mediados del siglo XX, los biomateriales sintéticos se han utilizado ampliamente en la ingeniería biomédica. La investigación en biomateriales ha crecido hasta convertirse en un campo multidisciplinario que abarca la física, la química, la biología y la medicina, y en un campo interdisciplinario que incorpora diversas disciplinas de ingeniería, como la ingeniería de materiales, la ingeniería química, la ingeniería mecánica y la ingeniería clínica. Por ejemplo, la física y la química estudian las propiedades y composición de los materiales, y la ingeniería se encarga de la selección de materiales aptos para su integración en el cuerpo humano, el diseño y la fabricación.

Los biomateriales son materiales de origen natural o sintético (excepto fármacos) que pueden sustituir de forma parcial o total cualquier tejido u órgano humano con el fin de mejorar la calidad de vida de un individuo. Pueden estar compuestos de diferentes tipos de ma-

teriales, como materiales metálicos, cerámicos y poliméricos o combinación de ellos, así como sustancias sólidas, líquidas y en gel. Los biomateriales metálicos son los más utilizados gracias a su resistencia y pueden moldearse en distintas piezas. Sin embargo, nuestro cuerpo contiene sales y una temperatura de 37 °C que favorece la corrosión, es decir, la degradación del material, provocando la liberación de iones metálicos que pueden causar efectos adversos en el cuerpo.

Los biomateriales cerámicos y poliméricos pueden fracturarse debido a problemas relacionados con el desgaste, lo que puede provocar problemas catastróficos. Para resolver estos problemas, investigadores de todo el mundo buscan combinar las mejores características de cada material para desarrollar biomateriales innovadores que duren más tiempo [1].

Avances en biomateriales metálicos

Los biomateriales metálicos tienen buena resistencia a la corrosión y no causan daño en el cuerpo, es decir, son biocompatibles, como las aleaciones de titanio (Ti), las aleaciones de cobalto-cromo (Co-Cr), aleaciones de zirconio (Zr), tántalo (Ta) y niobio (Nb) y los aceros inoxidables como el 316L, que se utilizan principalmente en implantes ortopédicos (ver Figura 1).

Los aceros inoxidables que contienen níquel (Ni) pueden causar dermatitis en personas sensibles al níquel, como las reacciones alérgicas que provoca el uso de joyería de fantasía. Estudios han demostrado que los aceros inoxidables como el 316L liberan menos níquel. Sin embargo, se están desarrollando aceros inoxidables sin níquel, mediante un proceso que consiste en agregar nitrógeno para mejorar sus propiedades. El acero sin níquel es capaz de sustituir al acero 316L y a las aleaciones de titanio, zirconio, tántalo y cobalto-cromo, siendo utilizado para la producción de dispositivos médicos [2].

Asimismo, se están desarrollando aleaciones ternarias (se componen de tres elementos) estas aleaciones ofrecen mejores propiedades

que las aleaciones binarias como el cobalto-cromo. Existen aleaciones que contienen aluminio (Al) y vanadio (V), no obstante, son elementos nocivos para la salud, por lo que están siendo sustituidos por paladio (Pd) y estaño (Sn) [3].

Actualmente, los biomateriales a base de hierro (Fe) han atraído gran interés debido a su buena resistencia, dureza y facilidad de deformarse para la fabricación de implantes biodegradables. Sin embargo, la liberación de iones hierro durante la degradación del material produce una gran acumulación de hierro en el cuerpo, lo que provoca ferroptosis producida por estrés oxidativo.

La ferroptosis es un tipo de daño celular que afecta a los lípidos, proteínas y ADN, lo cual contribuye al desarrollo de enfermedades del sistema nervioso, hepático y renal. Investigaciones realizadas mencionan que, para reducir el daño oxidativo durante la degradación del hierro, la adición de zinc (Zn) aumenta la resistencia a la corrosión minimizando dichos efectos.

La producción de los materiales metálicos se realiza mediante el proceso de fabricación aditiva. La fabricación aditiva es un proceso de fabricación de objetos 3D precisos mediante diseño asistido por computadora, que se basa en la fusión de polvo metálico depositado capa a capa creando piezas personalizadas. Además, se ha demostrado que la integración de inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático puede mejorar el diseño y fabricación de biomateriales metálicos, reduciendo costos en comparación con los métodos de fabricación tradicionales [4].

Biomateriales cerámicos

Los biomateriales cerámicos se destacan por su alta resistencia a la temperatura y durabilidad. Son compuestos formados por uno o más metales con un elemento no metálico, generalmente óxidos, silicatos, carburos y nitruros (ver Tabla 1).



Figura 1. Implantes metálicos en distintas partes del cuerpo humano.

El óxido de aluminio (Al_2O_3) también llamado alúmina y la zirconia (ZrO_2) son materiales que presentan una alta resistencia a la corrosión y al desgaste, por lo que se utilizan como recubrimientos para implantes metálicos y para reforzar materiales poliméricos. También son utilizados en odontología debido a su alta resistencia química al pH ácido. El pH de la saliva normalmente se encuentra entre 6.7 y 7.4, pero el consumo de alimentos y bebidas azucaradas provoca que las bacterias descompongan los carbohidratos liberando ácidos que reducen el pH, la saliva ácida puede provocar la erosión del esmalte [5].

Existen materiales cerámicos naturales como la hidroxiapatita (HA), la cual se utiliza para favorecer la regeneración ósea debido a su composición química similar al hueso natural y dientes. La hidroxiapatita se encuentra en huesos de animales, cáscara de huevo, cáscara de frutas, conchas marinas, bambú, entre otros.

Para satisfacer la demanda, la hidroxiapatita se sintetiza mediante diversos métodos químicos utilizando hidróxido de calcio. La hidroxiapatita aleada con metal ofrece mejores propiedades que la hidroxiapatita pura. La hidroxiapatita con estroncio (HA-Sr) se degrada fácilmente, lo que la hace adecuada para aplicaciones de injertos óseos reabsorbibles y posee

mayor actividad antimicrobiana. La hidroxiapatita con magnesio (HA-Mg) mejora la adherencia celular y aumenta la resistencia mecánica para aplicaciones de implantes de tejido óseo.

Actualmente, se están fabricando nanopartículas magnéticas de hidroxiapatita dopadas con metales de transición (manganese, hierro, cobalto, zinc y níquel) para aplicaciones en tratamientos contra el cáncer. Las nanopartículas magnéticas se inyectan directamente a un tumor y se aplica un campo magnético externo que provoca que las partículas se calienten y a medida que aumenta la temperatura, las células cancerosas se destruyen sin afectar te-

Tabla 1. Biomateriales cerámicos y sus aplicaciones.

MATERIAL	COMPOSICIÓN	APLICACIONES BIOMÉDICAS
Óxido de aluminio	Al_2O_3	Prótesis dentales y ortopédicas
Óxido de zirconio	ZrO_2	Implantes y prótesis dentales
Óxido de titanio	TiO_2	Implantes y prótesis dentales y ortopédicas
Silicato de calcio	CaSi	Regeneración de tejidos óseos y esqueléticos
Silicato de calcio y zirconio	$\text{Ca}_3\text{ZrSi}_2\text{O}_9$	Recubrimiento para implantes ortopédicos, dentales y maxilofaciales, cemento óseo y rellenos de cavidades
Hidroxiapatita (HA)	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$	Regeneración de tejidos blandos y óseos
Hidroxiapatita dopada con silicio	Si-HA	Implantes ortopédicos y dentales
Glicerohidrogel de hidroxiapatita de silicio	$\text{Si}(\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_3)_4\text{-HA}$	Regeneración de heridas y tejidos periodontales
Carburo de silicio	SiC	Recubrimiento de stents cardiovasculares
Carbono tipo diamante	C	Recubrimiento de stents cardiovasculares y cicatrización y reparación tisular
Carbono pirolítico	C	Recubrimiento de válvulas cardíacas y stents cardiovasculares
Grafito	C	Recubrimiento de válvulas cardíacas y sensores para monitoreo cardíaco y de glucosa
Grafeno	C	Recubrimiento de stents cardiovasculares, administración de fármacos y terapia contra el cáncer
Nitruro de carbono	CN	Recubrimiento de válvulas cardíacas, prótesis articulares y dispositivos oftálmicos
Nitruro de silicio	Si_3N_4	Regeneración y cicatrización de tejidos blandos y óseos, prótesis de cadera y rodilla
Nitruro de boro	BN	Administración de fármacos y estimulación celular
Nitruro de titanio y niobio	TiNbN	Prótesis de cadera y rodilla

jidos circundantes.

Biomateriales poliméricos impresos en 3D

La fabricación aditiva, como se mencionó anteriormente, es un proceso de fabricación de objetos 3D que mejora el rendimiento de biomateriales metálicos, cerámicos y poliméricos. La impresión 3D ha demostrado un enorme potencial en el desarrollo de robots blandos y biosensores plásticos que se utilizan para medir la frecuencia cardíaca, presión arterial, tempera-

tura corporal o detectar patógenos. Los robots blandos se inspiran en sistemas y mecanismos biológicos para replicar la funcionalidad de una estructura muscular como una mano o un brazo y pueden adaptarse a diversas condiciones ambientales (ver Figura 3). Están compuestos de polímeros flexibles como el poliuretano termoplástico que se caracteriza por su capacidad de moldearse fácilmente al calentarse.

Otros materiales poliméricos con gran

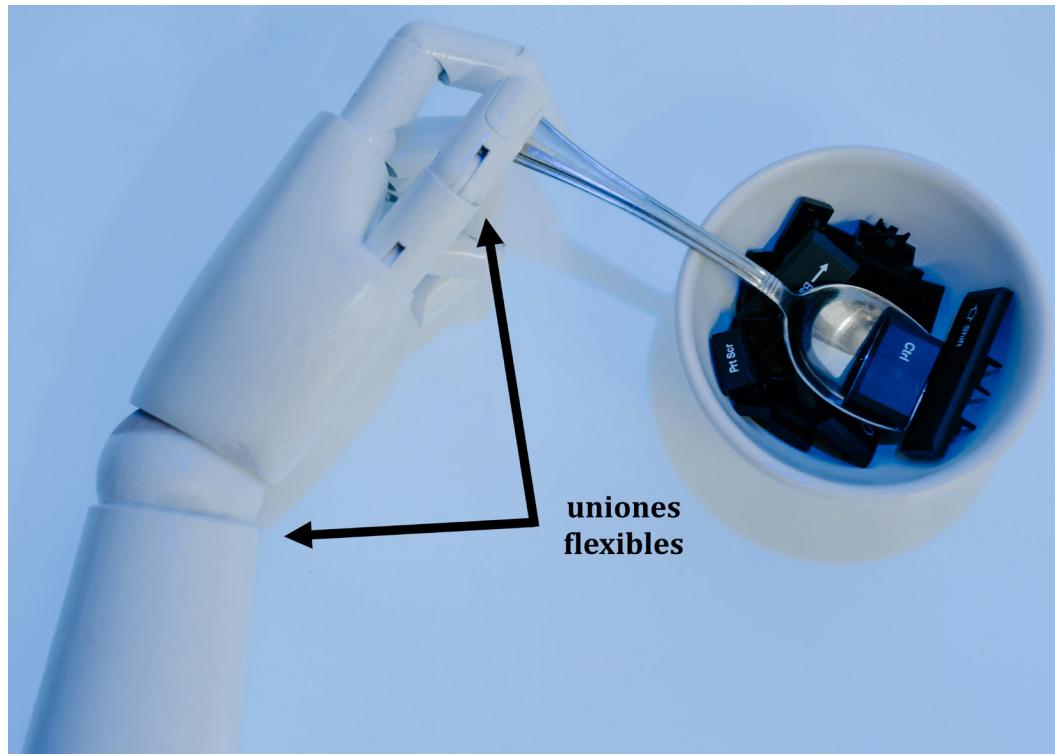


Figura 2. Mano robótica con biomaterial polimérico. De “mano cuchara bol tazón”, por Tara Winstead, 2021, Pexels. <https://www.pexels.com/es-es/foto/mano-cuchara-bol-tazon-8386426/>. Licencia Creative Commons Zero (CC0).

potencial en la medicina regenerativa son los biomateriales poliméricos inyectables hidrofóbicos, es decir, que no absorben el agua. Estos materiales son estables durante un tiempo determinado y luego se degradan para permitir el crecimiento de las células de un tejido u órgano.

Para utilizar materiales respetuosos con el medio ambiente, los materiales poliméricos están siendo sintetizados a partir de aceites vegetales como el aceite de ricino, aceite de girasol, aceite de linaza o aceite de soja. Estos polímeros son biocompatibles y confiables, ya que se degradan a ácidos grasos naturales, por lo cual también se utilizan como rellenos de arrugas, incorporación de péptidos y proteínas, y otros fármacos sensibles al calor [7].

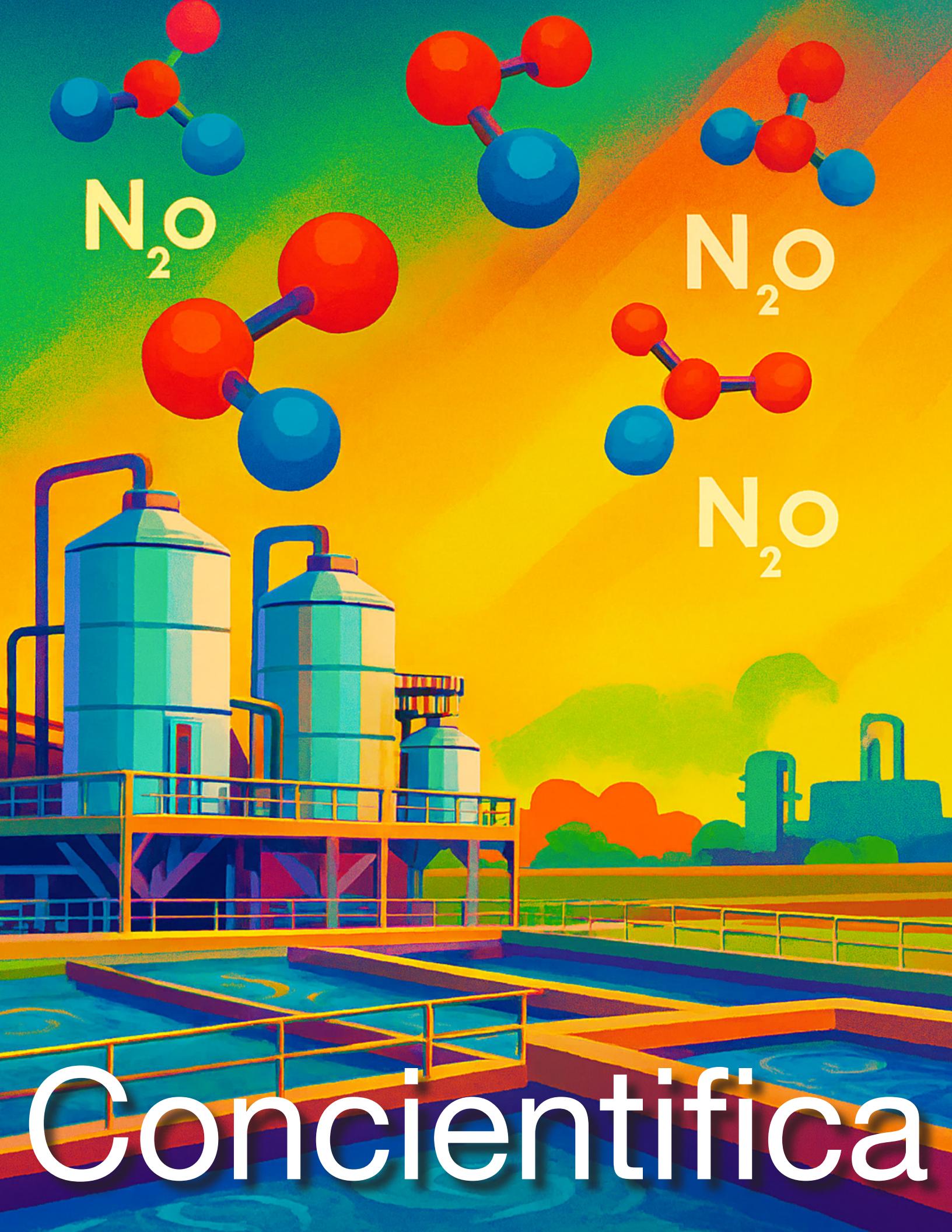
Conclusión

Los biomateriales buscan mejorar la calidad de vida de las personas en el ámbito médico, gracias a la ingeniería y áreas multidisciplinarias, es posible reparar tejidos y reemplazar órganos. A pesar de su crecimiento, su investigación y desarrollo no se detienen; se

esperan nuevos dispositivos médicos, implantes o materiales biodegradables en los próximos años, beneficiando a millones de personas en todo el mundo. Cada avance en la medicina nos acerca a un futuro donde los materiales no solo reparan, sino que también interactúan, se adaptan y se transforman junto al cuerpo humano. iBIO

Referencias

- [1] Farag, M. M. (2023). Recent trends on biomaterials for tissue regeneration applications: review. *Journal Of Materials Science*, 58(2), 527-558. <https://doi.org/10.1007/s10853-022-08102-x>
- [2] Antikainen, A., Jokiaho, T., Lagerbom, J., & Lindroos, T. (2024). Nitrogen alloyed austenitic Ni-free stainless steel for additive manufacturing. *Powder Metallurgy*, 67(2-3), 98-109. <https://doi.org/10.1177/00325899241248996>
- [3] Mitsuo, N. (2008). Metallic biomaterials. *Journal of Artificial Organs*, 11, 105–110. <https://doi.org/10.1007/s10047-008-0422-7>
- [4] Zhao, S., Shi, Y., Huang, C., Li, X., Lu, Y., Wu, Y., Li, Y., & Wang, L. (2025) Integrating Machine Learning into Additive Manufacturing of Metallic Biomaterials: A Comprehensive Review. *Journal of Functional Biomaterials*, 16, 77. <https://doi.org/10.3390/jfb16030077>
- [5] Burger, W., & Kiefer, G. (2021). Alumina, Zirconia and Their Composite Ceramics with Properties Tailored for Medical Applications. *Journal Of Composites Science*, 5(11), 306. <https://doi.org/10.3390/jcs5110306>
- [6] Ahalya, K. D. & Kandasubramanian, B. (2024) Revolutionizing biomedical engineering: Extrusion-based hydroxyapatite printing for scaffold construction: A review. *Hybrid Advances*, 6,100227. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2024.100227>
- [7] Pourhajrezaei, S., Abbas, Z., Khalili, M.A, Madineh, H., Jooya, H., Babaeizad, A., Gross, J. D. & Samadi, A. (2024). Bioactive polymers: A comprehensive review on bone grafting biomaterials, *International Journal of Biological Macromolecules*, 278, 2,134615. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134615>



Concientífica

Emisiones de óxido nitroso en plantas de tratamiento de aguas residuales

Nitrous oxide emissions in wastewater treatment plants

Resumen

Aunque las plantas de tratamiento de aguas residuales buscan proteger el medio ambiente, no todas logran el mismo desempeño. Algunas son causantes de emitir emisiones contaminantes como el óxido nitroso, un gas de efecto invernadero que deteriora la capa de ozono. Dichos contaminantes son producidos por procesos biológicos incompletos realizados por microbios encargados de procesar la materia orgánica presente en aguas residuales. Para fomentar procesos biológicos completos se han desarrollado distintas estrategias de diseño operativo e implementación tecnológica como el reacondicionamiento de biorreactores que promueven una operación más estable y reducen las emisiones de óxido nitroso.

Palabras clave: Tratamiento de aguas, emisiones, óxido nitroso.

Summary

Although wastewater treatment plants aim to protect the environment, their performance varies widely. Some of them are responsible for releasing pollutants such as nitrous oxide, a potent greenhouse gas that contributes to ozone depletion. These emissions are produced by incomplete biological processes carried out by microorganisms that degrade the organic matter found in wastewater. To enhance complete biological processes, different strategies of operational design and technology implementation have been developed, including the retrofitting of bioreactors, which promotes a more stable operation and reduces nitrous oxide emissions.

Keywords: Wastewater treatment, emissions, nitrous oxide.

Alba C. Macedo-Sánchez
Paloma Barajas-Álvarez*

Tecnológico de Monterrey, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Ave. Eugenio Garza Sada 2501, 64700, Monterrey, México.

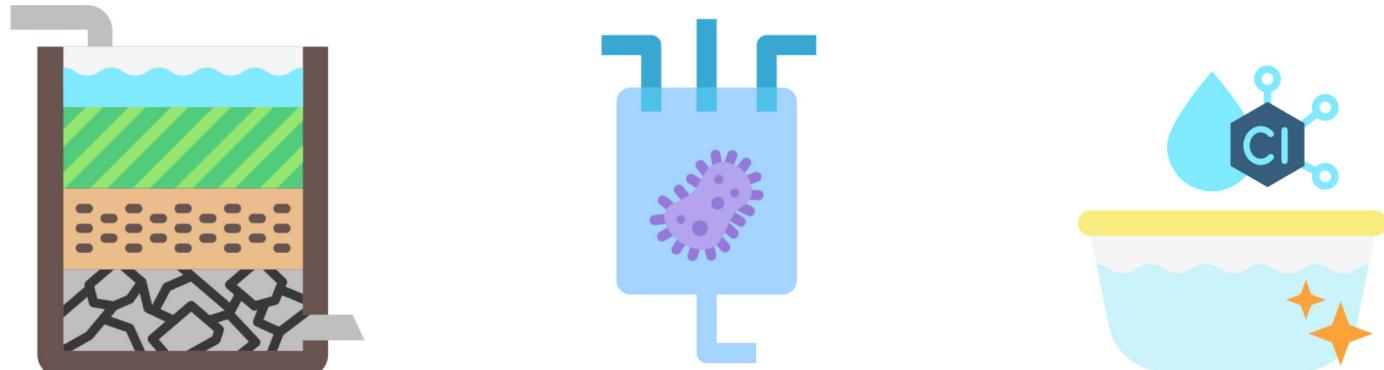
*Autor para la correspondencia:
paloma.barajas@tec.mx

Introducción

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) municipales son las principales responsables de que los desechos provenientes de los hogares sean procesados y eliminados del agua. Estos sistemas se encargan de tratar la fracción líquida de los residuos, actuando como restauradores del agua, con el objetivo principal de devolverla al medio ambiente como un recurso nuevamente funcional, aunque no con el mismo propósito original, pero sí menos contaminada.

Dentro de dichas plantas ocurren diferentes procesos encargados de cumplir este objetivo. De manera muy simple, el proceso se divide en tres etapas (Figura 1): 1) el tratamiento primario, el cual es un proceso de clarificación que elimina los sólidos flotantes presentes en el agua residual. En esta etapa se utiliza la sedimentación, que consiste en que las partículas más grandes y pesadas se depositan al fondo por acción de la gravedad. 2) Posteriormente, el líquido pasa al tratamiento secundario, en donde se realizan procesos químicos y biológicos destinados a descomponer la materia

PROCESO



Tratamiento Primario

Tratamiento Secundario

Tratamiento Terciario

Figura 1. Proceso representativo del tratamiento de aguas residuales [1].

orgánica. En esta etapa se emplean biorreactores, recipientes que albergan comunidades de microorganismos encargados de transformar los contaminantes presentes en el agua mediante reacciones biológicas. Sin embargo, esta actividad microbiana también representa una de las principales fuentes de emisiones contaminantes de una PTAR. 3) Finalmente, el proceso concluye con el tratamiento terciario, en el cual se realizan diferentes procesos fisicoquímicos como la desinfección por radiación UV, la cloración o la ozonificación, los cuales se utilizan para eliminar microbios patógenos (los responsables de enfermarnos) y purificar el agua antes de su descarga en distintos cuerpos de agua [1].

Desarrollo

Ahora, la parte que más nos interesa de todo esto son los procesos biológicos que ocurren dentro de los biorreactores de una PTAR. Estos procesos biológicos tienen como propósito descomponer la materia orgánica en compuestos más simples, remover nutrientes como fósforo y nitrógeno, y agrupar los sólidos que flotan en la superficie en forma de grumos de

microorganismos. Principalmente, se llevan a cabo tres tipos de mecanismos biológicos: nitrificación, desnitrificación y digestión anaerobia. El proceso de nitrificación sucede en dos pasos: primero, el ion de amonio (NH_4^+) se transforma en nitrito (NO_2^-) gracias a bacterias oxidantes de amonio; después, el nitrito (NO_2^-) se convierte en nitrato (NO_3^-) mediante bacterias oxidantes de nitrito. La principal característica de este proceso es que requiere oxígeno, por lo que los microorganismos que hacen posible este mecanismo actúan en condiciones aeróbicas. Por otro lado, el proceso de desnitrificación ocurre en condiciones anóxicas, es decir, en ausencia de oxígeno. En este caso, el nitrato (NO_3^-) se reduce a gas de nitrógeno (N_2) mediante la acción de bacterias desnitrificantes (Figura 2). Por último, la digestión anaerobia consiste en la remoción o degradación de materia orgánica con la ayuda de bacterias anaerobias, que son microorganismos que no necesitan oxígeno para sobrevivir. Como resultado de este proceso, se genera biogás, que es una mezcla compuesta principalmente por gases como metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), y trazas de otros gases como hidrógeno

Nitrificación Desnitrificación

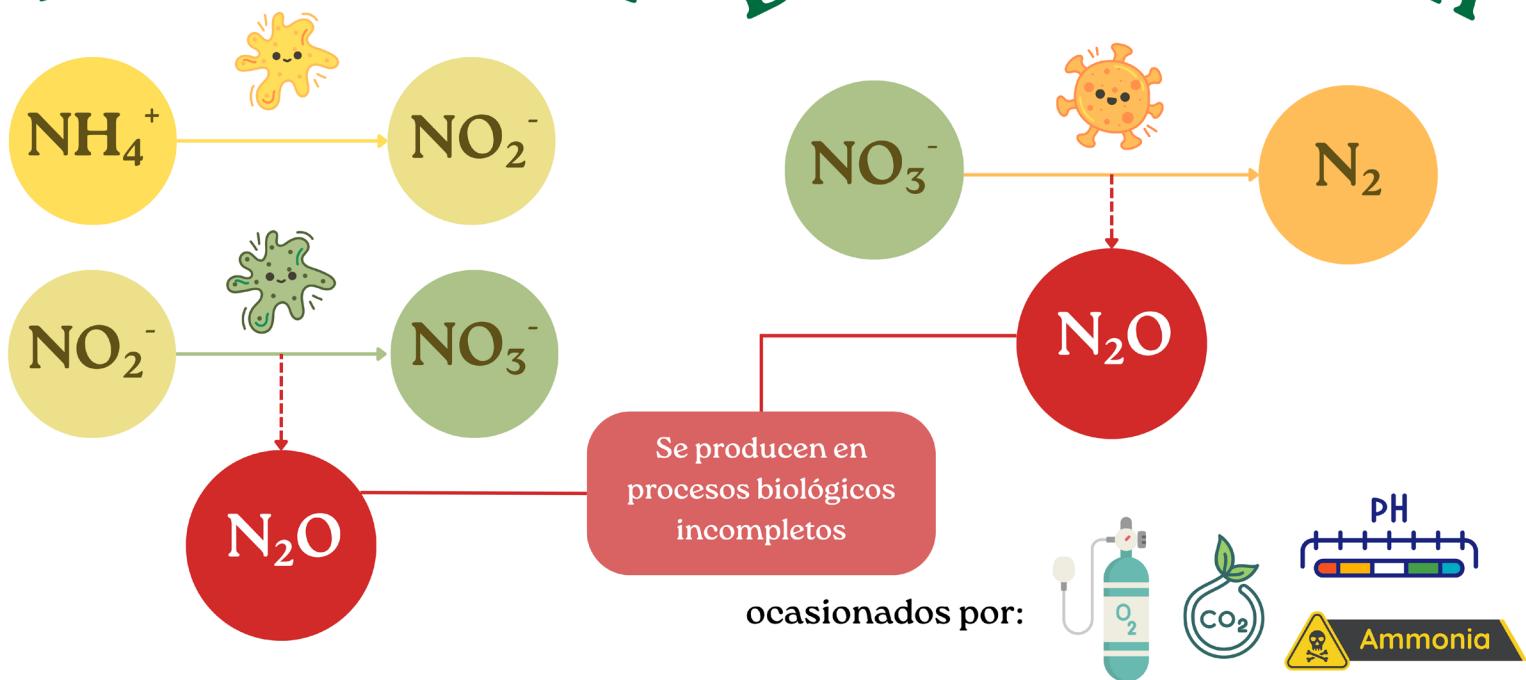


Figura 2. Proceso representativo del tratamiento de aguas residuales [1].

(H_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S) [2].

Pero entonces, ¿por qué es importante conocer los mecanismos biológicos que suceden dentro de una PTAR? Bueno, esto se debe a que, cuando los procesos de nitrificación o desnitrificación no se completan adecuadamente, pueden generarse emisiones de óxido nitroso (N_2O), que es un gas de efecto invernadero muy potente del cual hablaremos después (Figura 2). Antes de hablar sobre estas emisiones, es fundamental entender por qué ocurre un proceso incompleto de estos mecanismos biológicos. Entre los principales factores que promueven este fenómeno, se encuentran niveles bajos de oxígeno durante la nitrificación, recordando que los microorganismos involucrados en este mecanismo requieren de oxígeno para sobrevivir! De la misma manera, otro factor es la falta de una fuente de carbono orgánico (nutriente y fuente de energía para las bacterias) en la desnitrificación, lo que evita la conversión completa del nitrato a nitrógeno. Entre otros factores relevantes se pueden men-

cionar un pH fuera del rango ideal, variaciones en la cantidad de materia orgánica que entra al sistema y concentraciones altas de amonio. Estas condiciones pueden estresar a los microorganismos y dificultar que mantengan el equilibrio necesario para que los procesos biológicos funcionen correctamente [3].

De la misma manera, cuando la nitrificación o desnitrificación no se completan adecuadamente, la concentración de nitrógeno en el agua resultante aumenta, es decir, el líquido que sale después de todo el proceso de tratamiento tiene altos niveles de nitrógeno. Esto puede ser perjudicial para los cuerpos de agua donde se recibe dicha agua, ya que provoca un fenómeno conocido como eutrofización, que es el enriquecimiento excesivo de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, que favorece el crecimiento descontrolado de algas y plantas acuáticas. Como consecuencia, se reduce la cantidad de oxígeno disuelto, lo que afecta la vida acuática, provoca la muerte masiva de peces y deteriora la calidad del agua [4].

Ahora que ya comprendimos por qué pueden ocurrir reacciones incompletas, retomemos el tema de las emisiones de óxido nitroso. No todas las emisiones tienen el mismo impacto, algunas pueden dañar al medio ambiente más que otras (Figura 3). Las PTAR contribuyen a las emisiones de óxido nitroso (N_2O), dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4). Se estima que entre el 5 y el 10% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero provienen de la industria de aguas residuales, y de este porcentaje, ¡el 70% es generado en PTAR! Asimismo, se ha reportado que las emisiones de óxido nitroso poseen un potencial de calentamiento global 273 veces mayor que el dióxido de carbono. En palabras sencillas, emitir una pequeña cantidad de óxido nitroso calienta al planeta tanto como emitir una gran cantidad de dióxido de carbono. Por lo tanto, es evidente que las emisiones generadas durante el tratamiento del agua contribuyen al calentamiento global y también al agotamiento de la capa de ozono [5].

No obstante, las emisiones de óxido nitroso son altamente variables, porque dependen de la estación del año, las condiciones climáticas locales y los parámetros operativos de cada planta. En otras palabras, cada PTAR produce cantidades diferentes de óxido nitroso, lo cual significa que las soluciones implementadas para mitigar o reducir estas emisiones deben diseñarse de manera específica para cada caso.

Por eso, es de suma importancia desarrollar estrategias individualizadas para mitigar de forma efectiva las emisiones de óxido nitroso. Una de ellas involucra promover una operación del sistema de tratamiento más estable, lo que implica evitar cambios bruscos en la carga orgánica de alimentación, la temperatura y el oxígeno, ya que, como discutimos anteriormente, estas variaciones pueden alterar el equilibrio de los microorganismos en los biorreactores. También se ha demostrado que ciertas características de diseño pueden reducir las emisiones, como recircular gran parte del agua tratada al

Intensidad de los GASES de EFECTO INVERNADERO

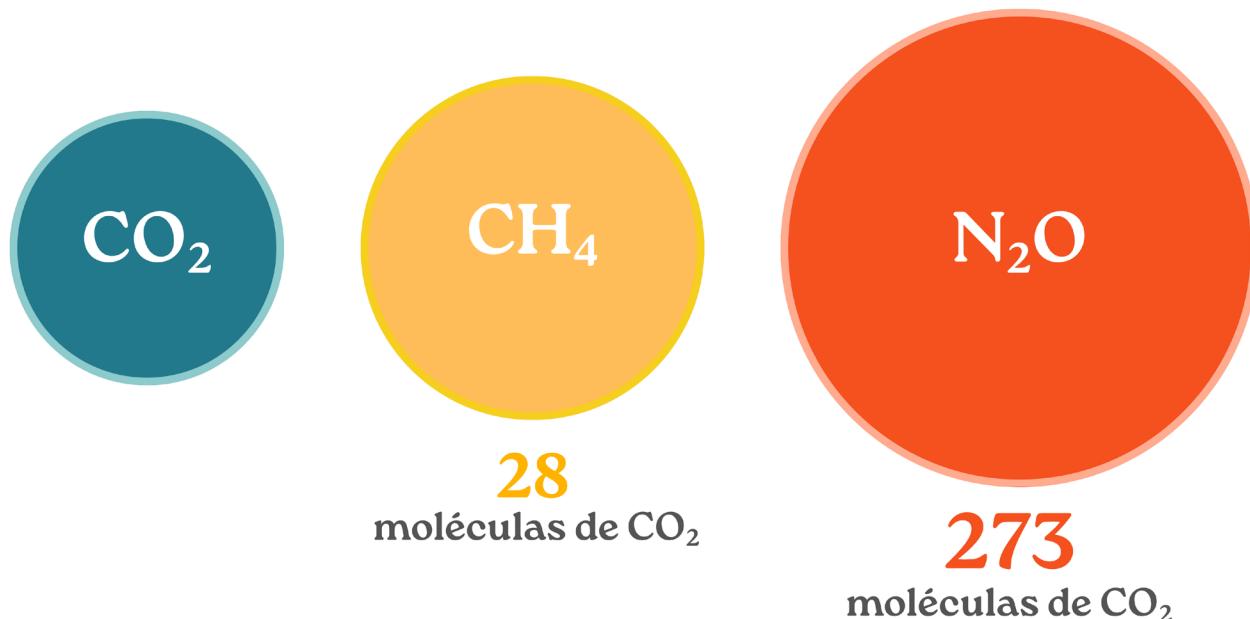


Figura 3. Imagen representativa de la intensidad de los gases de efecto invernadero [6].

inicio del proceso, usar volúmenes mayores de biorreactores y permitir que los microorganismos permanezcan más tiempo en el sistema [7].

Por otra parte, un enfoque implementado en PTAR de países desarrollados como China, Noruega y Australia consiste en la modernización y reacondicionamiento de biorreactores. Algunas de estas estrategias incluyen la modificación o aplicación de tanques ya existentes, evitando la inversión elevada de capital. Estas modernizaciones pueden incluir la creación de zonas con distintos niveles de aireación, la incorporación de pequeñas piezas de plástico que favorecen la formación de biofilms o biopelículas, que son comunidades de microorganismos que se adhieren a la superficie de estas piezas como si fuera su “casita” dentro del biorreactor, o la integración de sistemas automatizados que ajusten las condiciones de operación de forma más precisa [7].

Conclusión

Este análisis abre una reflexión sobre la dualidad que representan las PTAR, creadas con el propósito de proteger la salud humana y el medio ambiente, pero que también pueden producir un impacto negativo si no se gestionan adecuadamente. Una operación poco óptima, un mantenimiento deficiente, o la falta de sistemas de monitoreo continuo de las emisiones contaminantes pueden provocar un efecto contraproducente, convirtiendo las plantas en fuentes involuntarias de contaminación. Esto evidencia la necesidad urgente de fortalecer la investigación científica y promover la inversión en tecnologías limpias, capaces de reducir las emisiones de óxido nitroso y de optimizar los procesos biológicos que se llevan a cabo, avanzando hacia un tratamiento de aguas que realmente sea sostenible.

Cuestionar esta realidad nos invita no solo a repensar la verdadera eficiencia de las PTAR sino también el sentido de su existencia dentro del sistema ambiental y social. En este sentido, las emisiones de óxido nitroso revelan las fragilidades de sistemas que creímos contro-

lados, pero al mismo tiempo abren una ventana de oportunidad para impulsar soluciones más responsables, guiadas por la ética, la ciencia y la innovación. 

Referencias

- [1] Metcalf & Eddy, Inc. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (4th ed.). McGraw Hill.
- [2] Campos, J. L., Valenzuela-Heredia, D., Pedrouso, A., Val del Río, A., Belmonte, M., & Mosquera-Coral, A. (2016). Greenhouse Gases Emissions from Wastewater Treatment Plants: Minimization, Treatment, and Prevention. *Journal of Chemistry*, 2016(1), 1-12. <https://doi.org/10.1155/2016/3796352>
- [3] Thakur, I. S., & Medhi, K. (2019). Nitrification and denitrification processes for mitigation of nitrous oxide from waste water treatment plants for biovalorization: Challenges and opportunities. *Bioresource Technology*, 282, 502–513. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.03.069>
- [4] Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2020, 8 de junio). *La eutrofización de cuerpos de agua: Un síntoma antropogénico que requiere atención*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/imta/articulos/la-eutrofizacion-de-cuerpos-de-agua-un-sintoma-antropogenico-que-requiere-atencion>
- [5] Studio Republic. (2025, June 2). *Tackling nitrous oxide in wastewater: new strategies for decarbonising AMP8 and beyond*. CIWEM. <https://www.ciwem.org/news/tackling-nitrous-oxide-in-wastewater-new-strategies-for-decarbonising-amp8-and-beyond>
- [6] Climate Matters. (2016, October 24). *WMO Greenhouse Gas Bulletin*. Climate Central. <https://www.climatecentral.org/climate-matters/wmo-greenhouse-gas-bulletin>
- [7] Law, Y., Ye, L., Pan, Y., & Yuan, Z. (2012). Nitrous oxide emissions from wastewater treatment processes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1593), 1265–1277. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0317>



Concientífica

Más allá del sabor: ¿Cómo elegir un snack funcional?

Beyond flavour: How to choose a functional snack?

Resumen

En un contexto donde el ritmo de vida acelerado hace que comer rápido sea una necesidad, los snacks representan una alternativa práctica con potencial para nutrir, saciar y apoyar la salud metabólica. Este artículo explora qué son los snacks funcionales, explicando conceptos como digestibilidad, absorción, biodisponibilidad y normativa legal respecto a declaraciones en alimentos. Además, analiza cómo elegir un snack más allá del marketing, considerando la calidad proteica, el aporte de fibra y los avances en la ciencia de los alimentos para tomar decisiones informadas en la elección de alimentos.

Palabras clave: Snacks funcionales, proteínas, fibra.

Abstract

Fast food snacks have become an essential part of a fast-paced lifestyle, and snacks offer a practical alternative with the potential to nourish, satisfy, and promote metabolic health. This article examines functional snacks, explains key concepts such as digestibility, absorption, and bioavailability, and discusses the legal regulations governing food labeling claims. It analyzes how to choose snacks beyond marketing claims, focusing on protein and fiber content and, moreover, advances in food science, to make more informed choices in the food sector.

Keywords: Functional snacks, protein, fiber.

Jaqueline Romo-Tovar*
Araceli Loredo Treviño
Mayela Govea Salas

Universidad Autónoma de Coahuila, Coahuila, México.

*Autor para la correspondencia:
j.romo@uadec.edu.mx

Introducción

En los últimos años, la alimentación ha cambiado, y no solo por los alimentos consumidos, sino también en la forma de hacerlo. El ritmo de vida acelerado ha llevado a buscar opciones prácticas que se adapten a el tiempo disponible, a la cultura y al estilo de vida.

Un snack es un complemento alimenticio que se ingiere entre comidas principales para proporcionar energía o saciar el apetito temporalmente. Un snack funcional, además de ofrecer saciedad, incorpora compuestos con beneficios para la salud, como mejorar la digestión, favorecer la salud ósea o muscular y reducir el riesgo de enfermedades crónicas [1]. Sus ingredientes suelen incluir proteínas, fibra, prebióticos y antioxidantes. Son formulados para atender las necesidades de grupos específicos como personas con enfermedades crónicas, adultos mayores, infantes o individuos que buscan mantener un estilo de vida saludable, combinando la necesidad de nutrición y practicidad [2].

Los snacks funcionales pueden clasificarse según el ingrediente funcional añadido (pro-

teína, fibra o compuestos fitoquímicos) o por el beneficio que aportan. El origen proteico (animal, vegetal o mixto) influye en su digestibilidad y calidad nutricional [3].

Snacks con proteína

En el mercado de los alimentos prácticos, las barras de proteína son una elección habitual entre comidas. No sustituyen a una comida principal, sino que complementan el aporte proteico diario con beneficios adicionales para la salud.

La proteína es un macronutriente formado por cadenas de aminoácidos esenciales para el mantenimiento de tejidos, sistema inmune, actividad enzimática, hormonal, y procesos metabólicos [4]. La calidad proteica es tan relevante como la cantidad, y se evalúa con indicadores internacionales como el *Digestible Indispensable Amino Acid Score* (DIAAS), que considera tanto el perfil de aminoácidos (composición y proporción de aminoácidos que contiene una proteína) y su digestibilidad real, que es la fracción de aminoácidos que el organismo logra absorber y utilizar después de la digestión, descontando las pérdidas naturales del propio cuerpo, reflejando de manera precisa la calidad nutritiva de una proteína y su verdadero aporte al organismo. Así, dos productos con la misma cantidad de proteína declarada pueden diferir en el aporte efectivo que el organismo puede aprovechar y esto depende de factores como el origen de la proteína, su estructura química y el procesamiento al que se somete [5]. Durante la digestión, las proteínas se descomponen en péptidos y aminoácidos, que son pequeñas estructuras que conforman las proteínas, pero antinutrientes presentes en fuentes vegetales pueden reducir la absorción. No obstante, las proteínas vegetales aportan otros beneficios como la fibra dietética y compuestos bioactivos de interés para la salud [3].

Técnicas de procesamiento, como el remojo, la cocción, la fermentación, la germinación y la extrusión térmica, reducen antinutrientes, modifican la matriz alimentaria y mejoran la biodisponibilidad, es decir, la proporción de

nutrientes que el cuerpo puede digerir, absorber y aprovechar por las células para ser utilizados en funciones biológicas. Por ejemplo, la germinación activa enzimas que incrementan la disponibilidad de nutrientes, mientras que la extrusión térmica combina calor, presión y cizallamiento para mejorar la estructura proteica y la textura del producto final [6].

Otro aspecto clave, es que no es lo mismo consumir una proteína aislada que ingerirla dentro de un snack con azúcares, grasas y fibras, ya que la combinación de ingredientes puede modificar la liberación y absorción de aminoácidos durante la digestión [3]. Por ello, más allá de la cantidad de proteína declarada, la forma en que se evalúa su calidad varía según el método empleado. En México, la evaluación de proteínas suele usar todavía el análisis *Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score* (PDCAAS) en el desarrollo de productos, y la NOM-051 (en México) aún no exige el uso de herramientas como el DIAAS ni PDCAAS directamente, solo indica reportar el contenido de proteína por porción, para obtener ese dato se usa un método oficial descrito en la NMX-F-068-S-1980, conocido como método Kjeldahl, que mide la cantidad total de nitrógeno y lo convierte en el valor de proteína [7,8]. Para entender mejor las diferencias entre los criterios y comparar estas herramientas para la evaluación de la calidad de proteínas en alimentos, se muestra la Tabla 1 a continuación.

Más allá de los métodos analíticos, es importante el poder identificar fácilmente productos ricos en proteína en el mercado actual. En la tabla 2 se muestran algunos ejemplos de snacks populares y su fuente principal de proteína, junto con observaciones nutricionales que ayudan a elegir opciones más equilibradas.

En barras proteicas, la proteína favorece la síntesis muscular, la saciedad y el mantenimiento de funciones metabólicas. En fuentes vegetales, procesos como el descarrillado que elimina la cubierta externa del grano reduciendo la fibra insoluble y antinutrientes, o el malteado que germina y seca la semilla para activar enzimas que liberan aminoácidos, incremen-

Tabla 1. Comparación entre herramientas para evaluar la calidad de las proteínas.

Criterio	PDCAAS (Protein digestibility corrected amino acid score)	DIAAS (Digestible Indispensable Amino Acid Score)
Medición	Proteína total ajustada por digestibilidad	Aminoácidos esenciales individuales y su digestibilidad real
Lugar donde se mide la digestión	En las heces (digestibilidad fecal)	Al final del intestino delgado, en una zona llamada íleon, justo antes de que llegue al intestino grueso (digestibilidad ileal)
Precisión nutricional	Menor: puede sobreestimar la calidad	Mayor: refleja con más exactitud lo que el cuerpo realmente usa
Evaluación de aminoácidos	Usa el aminoácido limitante y lo ajusta globalmente	Evalúa cada aminoácido por separado
Organismo que lo promueve	FDA y FAO (1990)	FAO (2013)
Uso en México (NOM-051)	Recomendado PDCAAS o solo gramos por porción mediante la técnica de Kjeldahl para cuantificación de proteínas	No es obligatorio

Elaboración propia basada en Tormási (2025) [3] y NOM-051-SCFI/SSA1-2010 [8].

tando la digestibilidad y disponibilidad de aminoácidos esenciales y el valor nutricional. En un snack, una porción de 10-20 g de proteína por barra puede ser suficiente para apoyar el mantenimiento muscular y recuperación, dentro de una dieta equilibrada [5].

Los snacks altos en proteína: ¿mito o realidad?

En los últimos años, la publicidad de productos con declaraciones como “alto en proteína” se ha intensificado en redes sociales [2]. Considerando que el valor diario recomendado de proteína es de alrededor de 50-60 g [9]. La calidad real de una proteína depende de su biodisponibilidad, es decir, de la fracción que, tras la digestión y absorción, llega a las células para ser aprovechada y participar en funciones metabólicas, estructurales y regulatorias [1]. Esta biodisponibilidad está influenciada por factores como la fuente proteica, el tipo de procesamiento y la matriz alimentaria, que se refiere a la forma en que se presenta el alimento, ya

sea sólida, cremosa o fibrosa y en cómo los nutrientes están organizados, influyendo en cómo se digiere y cuánto puede aprovechar el cuerpo [6].

En nutrición, cuando se habla de un perfil de aminoácidos, se refiere al conjunto y proporción de aminoácidos que forman una proteína; por lo tanto, los aminoácidos son las piezas clave para formarlas. Las proteínas de origen animal (como las de la carne, huevo, pescados) suelen tener un perfil de aminoácidos completo y alta digestibilidad, lo cual quiere decir que el alimento contiene todos los aminoácidos esenciales (los que el propio cuerpo no puede generar); en cambio proteínas vegetales, como las del garbanzo, chícharo o lenteja, pueden carecer de uno o más aminoácidos esenciales, aunque su combinación estratégica permite obtener un perfil comparable al de las proteínas animales [4]. La matriz alimentaria del snack también influye en la digestibilidad, ya que estos componentes pueden modificar la liberación y absorción de aminoácidos durante

Tabla 2. Ejemplos de snacks altos en proteína y su fuente principal.

Snack o producto	Fuente de proteína	Proteína por porción (g /100 g)	Comentario nutricional
Barras proteicas de chícharo y legumbres	Proteína vegetal	10 a 20 g	Alta en fibra, libre de lactosa y con bajo índice glucémico (lo que significa que ayuda a mantener estables los niveles de glucosa o azúcar en sangre).
Chips de tortilla con proteína	Proteína vegetal	15-19 g	Aportan más proteínas que frituras tradicionales, es importante revisar la cantidad de sodio
Yogurt berible con proteína	Proteína animal	20-25 g	Fuente natural de calcio y probióticos (microorganismos que dan beneficio a la salud cuando se consumen en cantidades adecuadas), más saciantes que yogurts convencionales
Brownies y galletas altos en proteína	Proteína vegetal/animal (Dependiendo la marca comercial)	10-15 g	Pueden ser una alternativa práctica para aumentar la ingesta de proteína, sin embargo, suelen contener grasas saturadas, exceso de sodio o azúcares
Batidos listos para tomar con proteína	Proteína animal	20-30 g	Prácticos, con buena cantidad de proteína, controlados en calorías

Elaboración propia con base en la NOM-051-SCFI/SSA1-2010 y datos adaptados de Grau (2025).

la digestión [5].

Con eso respondemos, ¿son mito o realidad los snacks altos en proteína? Sí, son realidad. Los snacks altos en proteína pueden ser aliados valiosos en la alimentación, pero no todos son iguales, ya que importa tanto la cantidad como la calidad, por lo que elegir snacks con proteínas bien procesadas, balance de aminoácidos y una buena digestibilidad es clave para obtener los mejores beneficios [5]. En la figura 1 se presentan conceptos clave relacionados con este proceso.

Normativa y criterios para el etiquetado en alimentos

El uso de declaraciones como “alto en proteína” o “buena fuente de proteína” depende de la regulación vigente en cada país. En Estados

Unidos, el Código de Regulaciones Federales (21 CFR § 101.54) establece que un alimento puede declararse “alto en proteína” si al menos el 20% de su valor energético proviene de este nutriente, mientras que “buena fuente de proteína” requiere un mínimo del 10% [9]. Sin embargo, en México no existe una regulación específica en las Normas Oficiales Mexicanas que defina estos términos en su etiquetado, lo que permite su uso sin un estándar normativo claro.

La NOM-051-SCFI/SSA1-2010 exige únicamente la declaración del contenido total de proteína por porción, generalmente en gramos, sin requerir el uso de indicadores de calidad como el DIAAS o el PDCAAS. Sin embargo, esta NOM establece que no se permiten declaraciones que no puedan comprobarse científicamente.

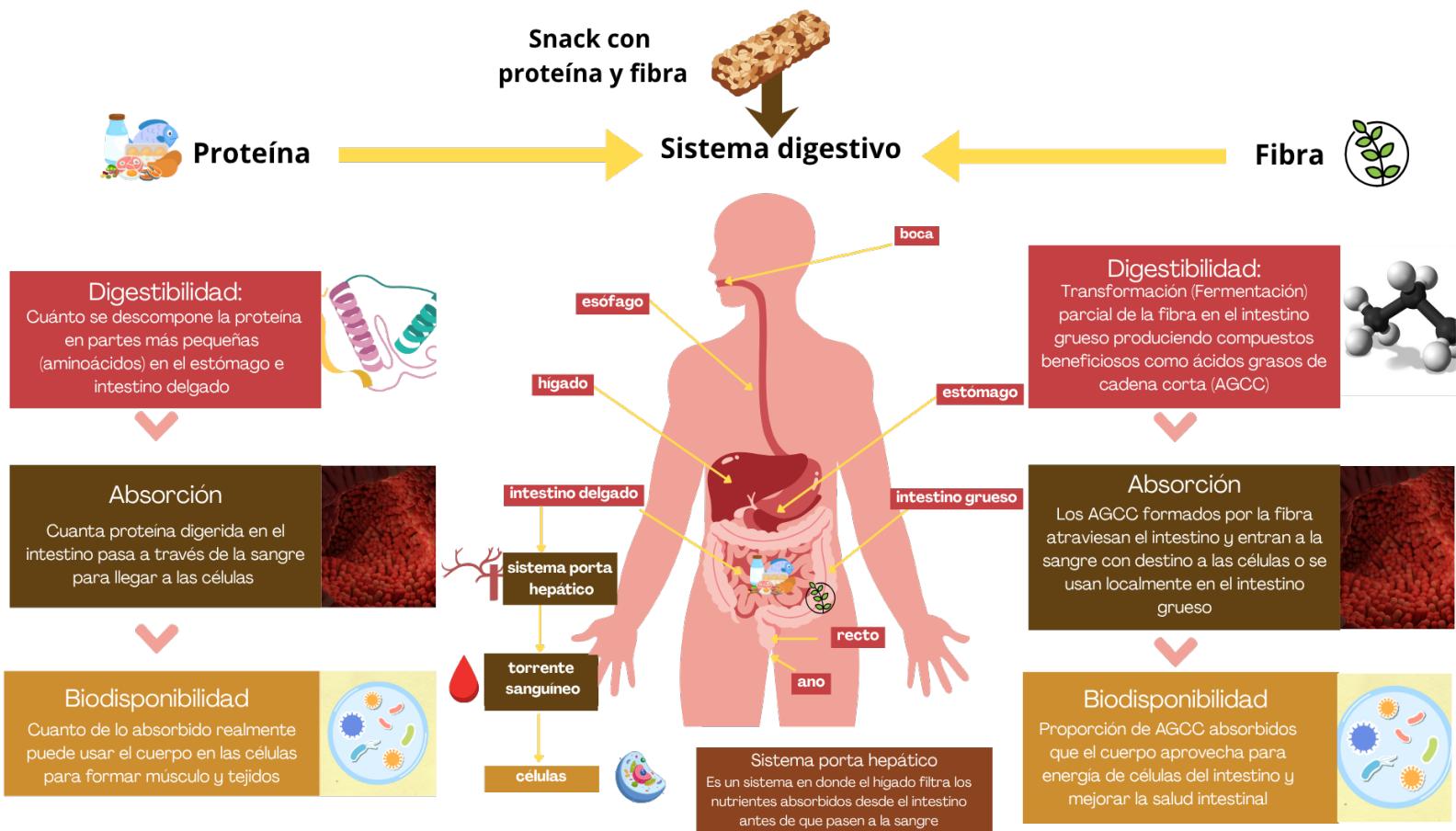


Figura 1. Conceptos clave en el proceso metabólico relacionados con la digestión de proteínas y fibra, así como con la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC). (Imagen propia elaborada por la autora utilizando Canva Pro con recursos licenciados, 2025).

camente. No se pueden hacer afirmaciones que sugieran que el alimento previene, trata o cura enfermedades sin tener un respaldo científico y autorización. Se permite declarar que un alimento tiene cualidades especiales como bajo en grasa o fuente de fibra si cumple los valores establecidos en la norma. Esta norma complementa la información obligatoria que debe incluir el etiquetado de alimentos en México, para utilizar términos como exceso de calorías (>275 kcal), exceso de grasas y exceso de azúcares ($>10\%$ del total de energía), y exceso de sodio (>1 mg de sodio por kcal) [8].

El rol de la fibra en los snacks

Se habla mucho de los beneficios de la fibra, y la mayor parte de las personas la relacionan con bajar de peso, o con mejorar las evacuaciones, la fibra dietética es la fracción comestible de las plantas que no puede ser digerida ni absorbida en el intestino delgado hu-

mano, y que llega intacta al colon, donde ejerce funciones clave para la salud. Se clasifica en: soluble, que forma geles y contribuye al control de la glucosa y colesterol, e insoluble, que favorece el tránsito intestinal y la salud del colon. La fibra soluble se encuentra en alimentos como la avena, frutas y legumbres, mientras que la insoluble es mayor en el salvado de trigo, cáscaras de fruta y verduras [10].

La fibra soluble presenta un efecto prebiótico ya que sirven de sustrato para bacterias intestinales benéficas, que al metabolizarlas producen ácidos grasos de cadena corta (AGCC) como lo son el butirato, propionato y acetato con propiedades antiinflamatorias y protectoras del metabolismo [11].

Además, cuando la fibra se combina con proteínas de liberación lenta como la albúmina (proteína del huevo) o caseína (proteína de la leche), se prolonga la digestión, aumenta la viscosidad gástrica y se estimula la liberación de

hormonas intestinales responsables de la saciedad y reducción del apetito [12]. Este efecto ha sido clave en formulaciones diseñadas para controlar el apetito en personas con sobrepeso u obesidad.

Snacks con fibra

En barras proteicas la fibra cumple un papel más allá de su aporte nutricional: contribuye a la textura, la retención de humedad y la velocidad de digestión. Su aporte incide en la regulación del apetito, la salud metabólica y la modulación hormonal tras la ingesta, y el equilibrio de la microbiota intestinal [10]. La fibra soluble combinada con proteínas de liberación potencia la saciedad. Procesos como la molienda o el secado pueden modificar su capacidad para retener agua, formar geles y actuar como prebióticos (alimento para los microorganismos beneficiosos en el intestino) [4]. En un snack funcional, un aporte de 3-5 gramos de fibra por porción, proveniente de fuentes naturales y combinado con otros ingredientes funcionales, puede marcar la diferencia entre un producto alimenticio común y uno realmente nutritivo.

Entonces, ¿cómo podemos elegir un snack funcional?

La elección de un snack funcional debe basarse en criterios claros que permitan distinguirlo de un producto que solo aporta calorías. Un snack de calidad debería aportar entre 7 a 10 g de proteína, provenientes de ingredientes de origen vegetal como lentejas, chícharo, quinoa, almendras o de origen animal como leche, carnes, pollo y yogurt natural, y alrededor de 5 g de fibra por porción (preferente de fuentes con efecto prebiótico como la inulina, un tipo de fibra no digerible presente en plantas, el salvado de avena o harina de legumbres) [13]. Que su lista de ingredientes sea mayormente de ingredientes naturales, evitando aquellos que contengan azúcares añadidos, grasas saturadas y edulcorantes artificiales, especialmente si el público objetivo son niños.

Los edulcorantes son sustancias naturales o sintéticas que aportan dulzor a los alimentos

y bebidas, sin aportar azúcares simples, pero es recomendable verificar la presencia y el tipo de edulcorantes. Existen los naturales como la estevia o el monk fruit, que ofrecen una alternativa más sana porque provienen de plantas, pudiendo consumirse con mayor frecuencia, y sin daños reportados en la salud. Son recomendables para adultos sanos y personas que viven con diabetes. Mientras que los sintéticos, como la sucralosa, aspartame y sacarina, aportan dulzor sin calorías, pero requieren un consumo moderado, ya que en exceso pueden alterar la microbiota intestinal (conjunto de microorganismos benéficos del intestino) o generar molestias digestivas como gases, inflamación, entre otros problemas, por lo que no se recomiendan en niños ni durante el embarazo. También están los edulcorantes calóricos (nutritivos) que aportan energía, pero se metabolizan como carbohidratos, como lo son el azúcar simple (sacarosa), glucosa, fructosa, miel, sorbitol, manitol, entre otros, pero se aconseja limitar su consumo en personas con sobrepeso o diabetes. Y los edulcorantes no calóricos (no nutritivos) que no aportan energía, ya que se usan en cantidades diminutas por su alto poder endulzante y no afectan los niveles de glucosa, como lo son la estevia (natural), el acesulfame-K, la sucralosa y el aspartame (sintéticos), como no aportan energía, ni elevan la glucosa en sangre son útiles para reducir la ingesta calórica [13]. La elección depende del consumidor y sus objetivos; sin embargo, para la población general adulta es recomendable optar por los edulcorantes naturales no calóricos, que son una opción segura, y los demás con consumo moderado, destacando que con base en la NOM-051, los productos con edulcorantes no deben destinarse ni promoverse en niños.

En cuanto al sodio, la Organización Mundial de la Salud (OMS) aconseja no superar los 2 g al día (equivalentes a 5 g de sal), por lo que un snack saludable no debería aportar cantidades significativas que comprometan este límite, especialmente en personas con riesgo cardiovascular y con enfermedad renal.

También debemos considerar la densidad

¿Cómo elegir un snack más sano?

REVISA ESTOS DATOS

SODIO

Asegúrate de que tenga menos de 80 mg por porción, o menos de 250 mg por cada 100 g

EDULCORANTES ARTIFICIALES

Procura evitar si el producto es para consumo en niños



SELLOS Y/O TABLA NUTRIMENTAL

Elige los que tengan porciones adecuadas:
Menos de 275 kcal por cada 100 g
Por ejemplo en un snack de 200 kcal por porción:
Menos de 5 g de azúcares añadidos
Menos de 2.2 g de grasas saturadas

FIBRA

Selecciona los que tengan alrededor de 3 a 5 g de fibra por porción

PROTEINA

Opta por los que tengan al menos de 7 a 10 g de proteína para obtener más saciedad

Figura 2. ¿Cómo elegir un snack más sano? (Imagen propia elaborada por la autora utilizando Canva Pro con recursos licenciados, 2025).

energética, ya que un snack funcional debe tener alta densidad nutricional (aportar proteínas, fibra y vitaminas y minerales) y moderada densidad calórica (cantidad de calorías por porción de alimento), evitando exceso de azúcares y grasas poco saludables. La evidencia científica indica que los snacks consumidos de manera habitual pueden influir en el índice de masa corporal, sobre todo cuando se opta por alternativas con mayor contenido de fibra y menor de azúcares simples [5]. Snacks que pueden incluir esos criterios, por ejemplo, son las barras de avena con proteína de fuentes vegetales y frutos secos, galletas integrales con semillas y bajo contenido de azúcar, entre otros, evitan-

do botanas fritas saborizadas, barras con rellenos azucarados o galletas con harinas refinadas. Por lo que sería recomendable que un snack no solo ofrezca saciedad y energía, sino también que contribuya a la salud metabólica e intestinal y nos permita reducir el riesgo de enfermedades. A continuación, en la figura 2, se presentan los puntos clave para la elección de un snack funcional.

Perspectivas y conclusión

Los snacks funcionales no solo sacian el hambre, también aportan beneficios concretos a la salud. En un mercado saturado de opciones,

es esencial priorizar elecciones que favorezcan el bienestar. El futuro de la alimentación funcional dependerá de la capacidad de los consumidores para elegir con conocimiento, valorando no solo la practicidad, sino también que cada elección responda a las necesidades individuales y promueva una nutrición equilibrada y sostenible. Elegir bien hoy es invertir en la salud del mañana. **iBIO**

Referencias

- [1] Degerli, C., El, S. (2024). Assessment of the in vitro digestibility of formulated snacks enriched with bioactive ingredients. *International Journal of Functional Nutrition*, 5(1), 5. <https://doi.org/10.3892/ijfn.2024.39>
- [2] Grau, A. E. (2025). *Assessment of Attitudes, Preferences, and Knowledge Regarding Assessment of Attitudes, Preferences, and Knowledge Regarding Dietary Protein and Health Dietary Protein and Health*. Thesis of Bachelor of Science in Nursing, University of Arkansas, United States, The Eleanor Mann School of Nursing Undergraduate Honors Theses Retrieved from <https://scholarworks.uark.edu/nursuht/214>
- [3] Tormási, J., Benes, E., Kónya, É. L., Berki, M., Abrankó, L. (2025). Evaluation of protein quantity and protein nutritional quality of protein bars with different protein sources. *Scientific Reports*, 15(1), 9388. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-94072-4>
- [4] Krummacker, D. (2023). Mixing your own Plant-based Protein Blend resembling a Complete Amino Acid Profile. *German Research Center for Artificial Intelligence GmbH, DFKI*. <https://www.researchgate.net/publication/382134206>
- [5] Edima-Nyah, A. P., Udo, M. E., Ntukidem, V. E., Ojimelukwe, P. C., Nwabueze, T. U. (2022). Effect of Malted African Breadfruit (*Treculia africana*) Seed Flour Inclusion on In-vitro Glycemic Index, Starch and Protein Digestibility of Fibre Rich Snack Bars. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, 28–40. <https://doi.org/10.9734/ejefs/2022/v14i230478>
- [6] Duque-Estrada P., Hardiman K., Dam, A. B., Dodge, N., Aaslyng, M. D., Petersen, I. L. (2023) Protein blends and extrusion processing to improve the nutritional quality of plant proteins. *Food & Function*, 14(16), 7361-7374.
- [7] NMX-F-068-S-1980. *Alimentos — Determinación de proteínas* (Foods — Determination of proteins). Dirección General de Normas. (1980). Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.
- [8] NOM-051-SCFI/SSA1-2010, *Especificaciones Generales de Etiquetado Para Alimentos y Bebidas No Alcohólicas Preenvasados – Información Comercial y Sanitaria* (Modificación Publicada El 27 de Marzo de 2020), Diario Oficial de la Federación (2010). https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5593625&fecha=27/03/2020
- [9] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *Macronutrientes: carbohidratos, grasas y proteínas*. <https://www.fao.org/4/w0073s/w0073s0d.htm>. Consultado: 05 de Agosto, 2025.
- [10] Akhlaghi, M. (2024). The role of dietary fibers in regulating appetite, an overview of mechanisms and weight consequences. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 64, Issue 10, pp. 3139–3150). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2130160>
- [11] Singh, J., Metrani, R., Jayaprakasha, G. K., Crosby, K. M., Ravishankar, S., Patil, B. S. (2020). Multivariate analysis of amino acids and health beneficial properties of cantaloupe varieties grown in six locations in the United States. *Plants*, 9(9), 1–25. <https://doi.org/10.3390/plants9091058>
- [12] Javanmardi, F., Nayebzadeh, K., Saidpour, A., Barati, M., Mortazavian, A. M. (2021). Optimization of a functional food product based on fibers and proteins: Rheological, textural, sensory properties, and in vitro gastric digestion related to enhanced satiating capacity. *LWT*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111586>
- [13] World Health Organization (2023) *Use of non-sugar sweeteners WHO guideline*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240073616>. Consultado: 12 de Agosto, 2025.

Concientifica



Medicamentos para bajar de peso, ¿una alternativa saludable?

Weight-loss drugs: a healthy alternative?

Julio César Alonso-Vázquez¹

Carolina Díaz-Canul²

Rebeca Escutia-Gutiérrez^{2*}

Resumen

La obesidad es uno de los principales problemas de salud a nivel mundial. En México, según datos de la ENSANUT 2023 [1], afecta al 37.1% de la población adulta, impactando significativamente su calidad de vida. Actualmente, existen fármacos aprobados que ayudan a reducir el peso corporal, los cuales, combinados con una alimentación equilibrada y la práctica regular de actividad física, ofrecen una alternativa eficaz para el control de esta enfermedad, siendo uno de ellos los agonistas del receptor de péptido similar al glucagón tipo 1 (arGLP-1).

Palabras clave: Fármacos arGLP-1, sobrepeso, obesidad.

Summary

Obesity is a major health issue globally. In Mexico, ENSANUT 2023 [1] reports that 37.1% of adults are affected, which greatly diminishes their quality of life. Presently, there are approved medications that aid in weight reduction. When these are used alongside a nutritious diet and consistent exercise, they provide an effective means of managing this condition, including the use of glucagon-like peptide-1 receptor agonists (GLP-1RA).

Keywords: GLP-1RA drugs, overweight, obesity.



Pueden los arGLP-1 ayudar a bajar de peso si no tienes diabetes? ¿Son seguros de usar? En este artículo te explicamos cómo funcionan, cuándo se recomiendan y cuáles son sus posibles efectos adversos.

La alimentación y la actividad física son fundamentales para mantener un peso saludable y una buena calidad de vida. En los últimos años, ha aumentado notablemente el número de personas con sobrepeso y obesidad. Esto se mide no solo con el índice de masa corporal (IMC), sino también con otros indicadores como la distribución de grasa en el cuerpo como la circunferencia de cintura, la relación entre cintura-cadera o cintura-talla. El sobrepeso y la obesidad son factores que disminuyen la esperanza de vida y aumentan el riesgo de muchas enfermedades. Una de las principales complicaciones de la obesidad es que suele presentarse junto con otros trastor-

nos de salud, lo que se conoce como síndrome metabólico. Este síndrome es un conjunto de condiciones que, al estar presentes al mismo tiempo, aumentan significativamente el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2 (DT2).

De esta manera, nos encontramos con un grupo de cinco alteraciones como niveles altos de glucosa, colesterol elevado, presión arterial alta y acumulación de grasa en el abdomen que se relacionan entre sí y pueden empeorar unas a otras si no se tratan a tiempo (Figura 1). En respuesta a este problema de salud, se empezó a utilizar un tipo de

medicamento inicialmente diseñado para tratar la DT2, pero pronto se descubrió que también podría beneficiar a personas con obesidad, ayudando a frenar su progresión y, en muchos casos, evitando la necesidad de recurrir a cirugías para perder peso.

¿Qué son los agonistas del receptor GLP-1 y cómo funcionan?

Los agonistas del receptor de péptido similar al glucagón tipo 1 (arGLP-1) son medicamentos que imitan la acción de una hormona llamada GLP-1. Esta hormona estimula la liberación de insulina, permitiendo que la gluco-

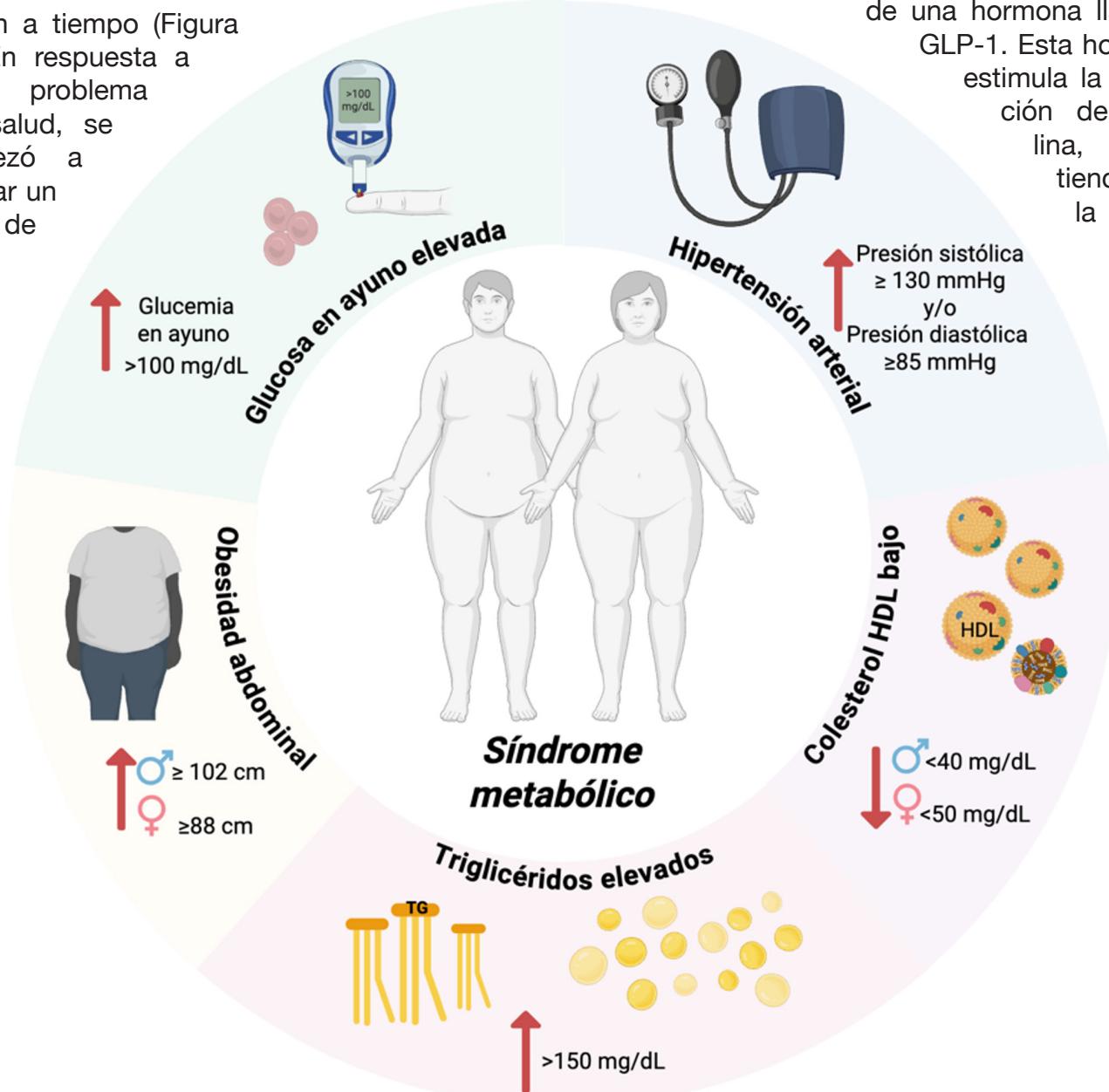


Figura 1. Criterios diagnósticos del síndrome metabólico. Los principales factores de riesgo son la obesidad abdominal, hipertensión arterial, glucosa elevada, triglicéridos altos y colesterol HDL bajo, factores que aumentan el riesgo de diabetes tipo 2 y enfermedades cardiovasculares. Creada en BioRender. Diaz Canul, C. (2025) <https://BioRender.com/rkx9ckd>

sa entre a la célula sin sobrepasar los niveles normales, por lo cual es un tratamiento de la DT2. Los arGLP-1 tienen un doble efecto. Por un lado, funcionan como un “termostato” que activa la producción de insulina solo cuando el nivel de glucosa en la sangre se eleva. Por otro lado, actúan como un “embudo” que retrasa la salida de los alimentos del estómago, lo que ayuda a sentirse lleno por más tiempo (Figura 2). Este último efecto fue clave para que comenzaran a usarse también en el tratamiento de la obesidad.

¿A quiénes está dirigida esta terapia?

Para determinar si una persona es candidata al tratamiento con agonistas del receptor GLP-1, es necesario evaluar ciertos criterios médicos durante una consulta clínica. Las guías internacionales recomiendan su uso en adultos con obesidad ($\text{IMC} \geq 30 \text{ kg/m}^2$) o con sobrepeso ($\text{IMC} \geq 27 \text{ kg/m}^2$) que presenten comorbilidades asociadas, especialmente cuando las intervenciones no farmacológicas han resultado insuficientes [2]. La decisión debe individualizarse,

considerando cuidadosamente el balance entre beneficios y riesgos, así como las preferencias del paciente y la disponibilidad del tratamiento.

En años recientes, estos fármacos han ganado gran popularidad, especialmente en redes sociales. Esto se debe, en parte, al impacto visual de la pérdida de peso en quienes los utilizan y a la rapidez con la que puede observarse este efecto. A primera vista, parecían una alternativa más sencilla y eficaz que la dieta o el ejercicio, lo que favoreció su demanda. Además, su acceso irregular y desvío del uso médico facilitó su compra sin supervisión profesional. Esto provocó que muchas personas sin indicación formal adquirieran el medicamento con el único objetivo de bajar de peso.

Mitos y realidades

Con la popularidad que han alcanzado en redes sociales, el uso de estos fármacos se ha rodeado de información que en muchos casos no cuenta con respaldo científico. Por ello, resulta necesario aclarar cuáles son los mitos y

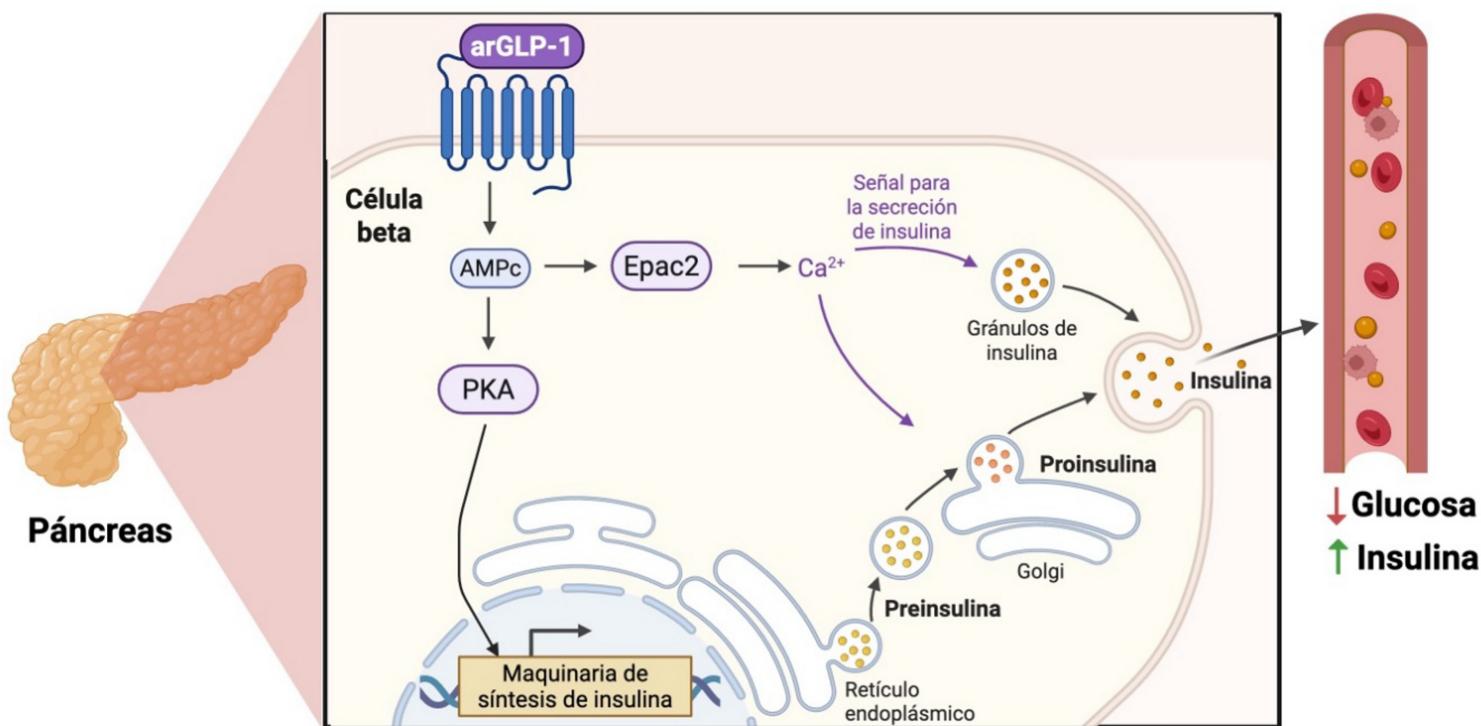


Figura 2. Mecanismo de acción de los agonistas del receptor de GLP-1 (arGLP-1). Los arGLP-1 se unen a su receptor en la membrana de las células β pancreáticas, activando señales que aumentan los niveles de adenosín monofosfato cíclico (AMPC). Esta activa dos vías principales: la proteína cinasa A (PKA) y la proteína Epac2. Ambas favorecen la entrada de calcio y promueven la liberación de insulina almacenada en las células. Como resultado, los arGLP-1 aumentan la secreción de insulina y una disminución de la glucosa en sangre. Creada en BioRender. Diaz Canul, C. (2025) <https://BioRender.com/112yhb1>

Tabla 1. Mitos y realidades del uso de medicamentos agonistas del receptor GLP-1.

Mito	Realidad
Cualquier persona puede administrarse medicamentos arGLP-1.	Existen criterios de elegibilidad que se deben de cumplir para saber si eres candidato a esta terapia.
El uso de medicamentos arGLP-1 no conlleva ningún riesgo.	Existen reacciones adversas y condiciones que necesitan de vigilancia médica para su uso de manera correcta y segura.
Se pueden conseguir medicamentos arGLP-1 en Internet y sin prescripción médica.	Existe muy poca regulación en cuanto a su venta, por lo que en la mayoría de las farmacias se encuentra disponible, aunque no son baratos ni prescritos para todo público.

cuáles las realidades más comunes en torno a este tema (Tabla 1).

¿Puede afectar a mi cuerpo este tipo de fármacos a pesar de no tener diabetes?

Como los medicamentos arGLP-1 fueron desarrollados originalmente para tratar la DT2, es comprensible que surja la duda: ¿es seguro utilizarlos en personas con obesidad, pero sin diabetes? Una de las preocupaciones más comunes es el riesgo de hipoglucemia, es decir, que el nivel de glucosa en sangre baje excesivamente. Afortunadamente, los arGLP-1 tienen una acción dependiente de la glucosa, esto quiere decir que no empujan el azúcar hacia abajo si ya está normal o baja, por ello, el riesgo de hipoglucemia es muy bajo. Si esta terapia se combina con insulina o con medicamentos llamados sulfonilureas, puede presentarse un riesgo de hipoglucemia, por lo que es importante tener cuidado. Para comprender mejor este funcionamiento se plantean dos situaciones.

Una persona con DT2 inicia tratamiento con semaglutida:

Situación 1: Tras finalizar su comida principal, el arGLP-1 retrasa el vaciamiento gástrico, por lo que la sensación de saciedad dura más tiempo y es probable que no tenga hambre hasta la noche. Sus niveles de glucosa suben de manera más lenta y controlada.

Situación 2: La misma persona decide no comer porque “no tiene hambre” gracias al medicamento. Puede experimentar náusea, mareo

o fatiga si prolonga demasiado el ayuno, por lo que sus niveles de glucosa disminuyen paulatinamente de manera fisiológica al no haber ingerido ningún alimento.

Beneficios esperables

De acuerdo con los resultados de ensayos clínicos aleatorizados, la semaglutida ha demostrado una reducción promedio de hasta el 14.9% del peso corporal en los pacientes [3]. Por su parte, la liraglutida logró que más del 60% de los pacientes perdieran al menos el 5% de su peso [4]. De forma más reciente, la tirzepatida ha mostrado resultados aún más prometedores, con una pérdida adicional de 2.5 a 4.3 kg en comparación con la liraglutida y de 5.6 a 7.4 kg con un placebo (sustancia sin efecto farmacológico) [5]. Esto se debe a su acción dual sobre dos hormonas (GIP y GLP-1), que no solo ayudan a reducir el apetito, sino que también actúan en áreas del cerebro relacionadas con la recompensa alimentaria. Se ha demostrado que la terapia con arGLP-1 reduce la preferencia por los alimentos ricos en grasa [6], lo que representa una ventaja para pacientes a quienes, en circunstancias normales, les sería difícil limitar su consumo (Tabla 2).

Efectos adversos de los arGLP-1

Es importante recordar que el uso de cualquier medicamento no es un asunto trivial, debido a que se modifica la interacción fisiológica del organismo y puede ocasionar efectos más perjudiciales que benéficos. Respecto a los arGLP-1, los efectos adversos más comunes suelen presentarse en el sistema digestivo y, en

Tabla 2. Diferencias entre los fármacos arGLP-1 indicados para el tratamiento de obesidad.

arGLP-1	Nombre comercial	Dosis típica**	Vía de administración	Frecuencia	Duración de acción	Pérdida de peso (rango)*	Efectos comunes
Semaglutida	Wegovy	0.25 mg aumentando a 0.5 mg en la 5ta semana.	Subcutánea	Semanal	Prolongada	10-15%	Náuseas, diarrea y vómito
Liraglutida	Saxenda	0.6 mg aumentando por semana 0.6 hasta llegar a 3g en la 5ta semana.	Subcutánea	Diaria	Intermedia	5-10%	Dolor de cabeza, náuseas, vómitos y diarrea
Tirzepatida (Dual GIP/ GLP-1)	Mounjaro	2.5 mg aumentando a 5mg en la 5ta semana.	Subcutánea	Semanal	Prolongada	15-20%	Estreñimiento, dolor abdominal, náuseas y diarrea

*La pérdida de peso varía de acuerdo con el paciente, la dosis, la vía de administración, el seguimiento nutricional y la actividad física.

**No sustituye la consulta médica.

algunos casos, también pueden afectar la visión (Tabla 3) [7]. Recientemente, se ha descrito que la degeneración macular relacionada con la edad en algunas personas, enfermedad caracterizada por el deterioro progresivo de la visión central, esencial para actividades cotidianas como caminar, leer o conducir, relacionada a estos fármacos en pacientes diabéticos, por lo que se está investigando una posible asociación, debido a que no implica causalidad. Lo que refuerza la importancia de acudir con un profesional de la salud para una evaluación clínica integral antes y durante el tratamiento de los distintos componentes del cuerpo humano [8].

Principales limitaciones

El costo de los arGLP-1 disponibles actualmente continúa siendo una barrera significativa en la mayoría de los países. Segundo de la vía principal de administración es subcutánea, implicando la necesidad de aplicar inyecciones con regularidad, lo que representa un factor que desmotiva a algunos pacientes a iniciar o mantener el tratamiento, a pesar de que

existen opciones para mejorar la adherencia como el uso de manera semanal de las plumas, el cambio a pastillas orales, un plan de alimentación personalizado, etc.

Finalmente, presentan contraindicaciones clínicas como antecedentes de pancreatitis retinopatía diabética o cáncer de tiroides que pueden limitar su uso en ciertas personas. En caso de que un paciente supere estos obstáculos y sea candidato para esta terapia, es importante advertir que, tras alcanzar el objetivo terapéutico y suspender el fármaco, suele presentarse una disminución en la sensación de saciedad y mayor apetito, lo cual puede conducir a la recuperación del peso perdido. Este efecto adverso debe ser anticipado al paciente, con el fin de reforzar la importancia de mantener una alimentación equilibrada y una rutina de actividad física, para lograr evitar la recaída o el fracaso del tratamiento a largo plazo.

Farmacovigilancia

El uso racional de los medicamentos es fundamental para fortalecer la farmacovigilancia

Tabla 2. Posibles efectos adversos asociados a la administración de arGLP-1.

Gastrointestinales	Visuales
Pancreatitis Dolor abdominal intenso y persistente Vómitos persistentes Hemorragia digestiva Náuseas persistentes	Visión borrosa súbita o progresiva Pérdida parcial o total de la visión Destellos de luz Visión de manchas oscuras en el campo visual Dificultad repentina para enfocar o ver claramente Dolor ocular intenso, con o sin enrojecimiento

cia, puesto que permite reducir los efectos adversos en personas que no cuentan con una adecuada supervisión médica. La compra y el uso indiscriminado por personas sin prescripción médica no solo representa un riesgo para la salud, sino que también compromete la continuidad terapéutica de quienes dependen de estos medicamentos para mantener su calidad de vida.

Los arGLP-1 han cobrado relevancia en el tratamiento de diabetes y ahora de obesidad, demostrando resultados clínicos positivos y que pueden ofrecer una herramienta adicional para alcanzar un peso saludable. Es importante recordar que la dieta equilibrada y el ejercicio físico continúan siendo las estrategias más efectivas para prevenir y combatir el sobrepeso y la obesidad, por lo que deben ser el primer paso en cualquier estrategia de control de peso. Si una persona cumple con los criterios médicos, y con la adecuada supervisión profesional, puede considerarse el uso de tratamientos farmacológicos como un complemento, pero nunca como reemplazo de estos hábitos. De esta manera, se podrá avanzar hacia una solución integral, sostenible y efectiva a largo plazo (Figura 3). 

Glosario

arGLP-1: Agonistas del receptor de péptido similar al glucagón tipo 1.

AMPc: Adenosín monofosfato cíclico.

DT2: Diabetes tipo 2.

GIP: Péptido insulinotrópico dependiente de glucosa.

HbA1c: Hemoglobina glucosilada.

IMC: Índice de masa corporal.

MEN2: Síndrome de neoplasia endocrina múltiple tipo 2.

NAION: Neuropatía óptica isquémica anterior no arterítica.

PKA: Proteína cinasa A.

Referencias

- [1] Barquera, S., Lucía Hernández-Barrera, Oviedo-Solís, C., Rodríguez-Ramírez, S., Monterrubio-Flores, E., Belem Trejo-Valdivia, Martínez-Tapia, B., Aguilar-Salinas, C., Galván-Valencia, O., Chávez-Manzanera, E., Rivera-Dommarco, J., & Campos-Nonato, I. (2024). Obesidad en adultos. *Salud Pública de México*, 66(4, jul-ago), 414–424. <https://doi.org/10.21149/15863>
- [2] Sagredo Pérez, Julio, and Gonzalo Allo Miguel. “Tratamiento farmacológico de la obesidad. Situación actual y nuevos tratamientos” [Pharmacological treatment of obesity. Current situation and new treatments]. *Atención primaria* 57(1), 103074. <https://doi:10.1016/j.aprim.2024.103074>
- [3] Wilding, J. P. H., Batterham, R. L., Calanna, S., Davies, M., Van Gaal, L. F., Lingvay, I., McGowan, B. M., Rosenstock, J., Tran, M. T. D., Wadden, T. A., Wharton, S., Yokote, K., Zeuthen, N., & Kushner, R. F. (2021). Once-Weekly Semaglutide in Adults with Overweight or Obesity. *New England Journal of Medicine*, 384(11), 989–1002. https://doi.org/10.1056/NEJMoa2032183_SUPPL_FILE/NEJMoa2032183_DATA-SHARING.PDF
- [4] Pi-Sunyer, X., Astrup, A., Fujioka, K., Greenway, F., Halpern, A., Krempf, M., Lau, D. C. W., le Roux, C. W., Violante Ortiz, R., Jensen, C. B., & Wilding, J. P. H. (2015). A Randomized, Controlled Trial of 3.0 mg of Liraglutide in Weight Management. *New England Journal of Medicine*, 373(1), 11–22. https://doi.org/10.1056/NEJMOA1411892_SUPPL_FILE/NEJMOA1411892_DISCLOSURES.PDF
- [5] Martin, C. K., Carmichael, O. T., Carnell, S., Considine, R. V., Kareken, D. A., Dydak, U., Mattes, R. D., Scott, D., Shcherbinin, S., Nishiyama, H., Knights, A., Urva, S., Biernat, L., Pratt, E., Haupt, A., Mintun, M., Otero Svaldi, D., Milicevic, Z., & Coskun, T. (2025). Tirzepatide on ingestive behavior in adults with overweight or obesity: a

Agonistas de arGLP-1: ¿una opción para ti?



1 Obesidad

IMC ≥ 30 o $\geq 27 \text{ kg/m}^2$ con comorbilidades (hipertensión, apnea del sueño, dislipidemia).



2 Acceso al tratamiento

Considerar el costo y disponibilidad.



arGLP-1

5 Consideraciones post-quirúrgicas

Pérdida insuficiente ($< 50\%$ de exceso) o recuperación de peso ($\geq 10 \text{ kg}$).



4 Ausencia de contraindicaciones

Evitar en casos de carcinoma medular, neoplasia endocrína múltiple tipo 2 o pancreatitis.



3 Fracaso de intervenciones no farmacológicas

Pérdida de peso ($\geq 5\%$) en 3-6 meses con dieta y ejercicio.



* El uso de agonistas de arGLP-1 debe ser indicado y supervisado por un profesional de salud
arGLP-1: agonistas del receptor de péptido similar al glucagón tipo 1.

Plan de mantenimiento



Continuidad farmacológica

- Dosis mínima efectiva
- Individualizar tratamiento
- Monitoreo: peso, composición corporal y comorbilidades.



Monitoreo y ajuste

- Evaluación mensual, después trimestral.
- Parámetros: metabólicos, composición corporal, fuerza, estado psicológico.
- Cuando la reganancia de peso sea $>5\%$, ajustar fármaco, intensificar intervención o cirugía.



Estilo de vida

- Alimentación: \uparrow proteínas, \uparrow fibra, \downarrow ultraprocesados
- Flexibilidad: evitar restricciones extremas.
- Actividad física $> 60 \text{ min/día}$ + fuerza 2-3 veces/semana.
- Monitoreo de peso y alimentación.



Educación y expectativas

- Informar riesgo de reganancia de peso.
- Mantener cambios conductuales a largo plazo.
- Apoyo social

Figura 3. Principales características de los pacientes candidatos al uso de agonistas de GLP-1 y plan de mantenimiento una vez alcanzado el objetivo terapéutico. Creada en BioRender. Diaz Canul, C. (2025) <https://BioRender.com/inxnaaz>

randomized 6-week phase 1 trial. *Nature Medicine*, 1–10. <https://doi.org/10.1038/S41591-025-03774-9;SUBJ-META=1488,163,2743,378,393,631,692;KWRD=OBESITY>

[6] Blundell, J., Finlayson, G., Axelsen, M., Flint, A., Gibbons, C., Kvist, T., & Hjerpsted, J. B. (2017). Effects of once-weekly semaglutide on appetite, energy intake, control of eating, food preference and body weight in subjects with obesity. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 19(9), 1242–1251. <https://doi.org/10.1111/DOM.12932>

[7] Sodhi, M., Rezaeianzadeh, R., Kezouh, A., & Etminan, M. (2023). Risk of Gastrointestinal Adverse Events Associated With Glucagon-Like Peptide-1 Receptor Agonists for Weight Loss. *JAMA*, 330(18), 1795–1797. <https://doi.org/10.1001/JAMA.2023.19574>

[8] Shor, R., Mihalache, A., Noori, A., Shor, R., Kohly, R. P., Popovic, M. M., & Muni, R. H. (2025). Glucagon-Like Peptide-1 Receptor Agonists and Risk of Neovascular Age-Related Macular Degeneration. *JAMA Ophthalmology*. <https://doi.org/10.1001/JAMAOPHTHALMOL.2025.1455>

Microbichos



El microbioma oral: El ecosistema invisible que impacta tu salud

The oral microbiome: The invisible ecosystem that impacts your health

Resumen

Los microorganismos del microbioma humano son una comunidad tan diversa, variante y más importante de lo que sabemos. Dentro de la cavidad oral son entidades protectoras contra patógenos externos, pero también pueden ser desarrolladores de enfermedades bucales y desencadenar enfermedades sistémicas. Es bien sabido que las dietas ricas en azúcares benefician a especies acidogénicas como *S. mutans*, involucrada en la aparición de caries. Inclusive, los hábitos de vida condicionan el desarrollo de enfermedades como el cáncer oral. De ahí la importancia de mantener hábitos de limpieza bucal (por ejemplo, cepillado dental), así como una dieta balanceada y baja en azúcares.

Palabras clave: Cavidad oral, enfermedad, microbioma.

Summary

The microorganisms of the human microbiome are a community that is more diverse, variable, and important than we know. Within the oral cavity, they serve as protective entities against external pathogens but can also contribute to the development of oral diseases and trigger systemic illnesses. It is well known that sugar-rich diets favor acidogenic species such as *S. mutans*, involved in the onset of caries. Even lifestyle habits can influence the development of diseases such as oral cancer. This highlights the importance of maintaining good oral hygiene habits (such as tooth brushing), as well as a balanced and low-sugar diet.

Keywords: Oral cavity, disease, microbiome.

Ana Sofía Alvarado-Bautista^{1,2*}
Julian Andres Largo-Lopez^{1,2}

¹PhyloGenomicsUD - Semillero de Investigación en Filogenética, Evolución y Ciencias Ómicas. Grupo de Investigación MATTOPO. Facultad de Ciencias Matemáticas y Naturales. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

²Micrap - Semillero de Investigación en Microbiología aplicada. Grupo de Investigación en Biodiversidad de Alta Montaña. Facultad de Ciencias Matemáticas y Naturales. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

*Autor para la correspondencia:
asalvaradob@udistrital.edu.co



Sabías que convivimos con millones de microorganismos en nuestro cuerpo? La piel, el intestino, la cavidad bucal, son solo algunos sitios del cuerpo humano que sirven como nichos ecológicos de una vasta diversidad de microorganismos. Principalmente encontramos bacterias, pero también, algunos hongos, virus y protozoos, a esta comunidad de microorganismos la podemos denominar microbiota. Varios estudios sugieren que las bacterias en nuestro cuerpo exceden 10 veces la cantidad de nuestras células con un estimado de 350 trillones de células bacterianas, siendo el intestino el ambiente con mayor diversidad entre especies bacterianas, seguido por la cavidad oral. Los genes que forman parte de la microbiota humana, o de un sitio específico del cuerpo reciben el nombre de microbioma humano [1].

Hoy en día los estudios realizados sobre

el microbioma humano ofrecen nuevos datos que mejoran nuestro entendimiento sobre las interacciones microbio-hospedero, la comunidad ecológica y el impacto directo sobre la salud. La gran mayoría de bacterias asociadas a humanos se agrupan dentro de los siguientes principales filos (Categoría biológica de alto nivel): *Actinobacteria*, *Firmicutes*, *Proteobacteria* y *Bacteroidetes*. Cada filo contiene distintos tipos de géneros de bacterias (grupos de bacterias similares) como *Actinomyces*, *Streptococcus*, *Neisseria* y *Porphyromonas*, respec-

tivamente.

Cada persona almacena una gran diversidad microbiana que difiere en gran medida de composición y función, según su localización en el cuerpo. De hecho, las comunidades ubicadas en un sitio en específico son más similares entre distintos individuos que entre localidades distintas del mismo cuerpo humano. Dando a entender que posiblemente los microbios coevolucionan con el tejido y sitio anatómico que ofrece la mejor condición de vida (Figura 1).

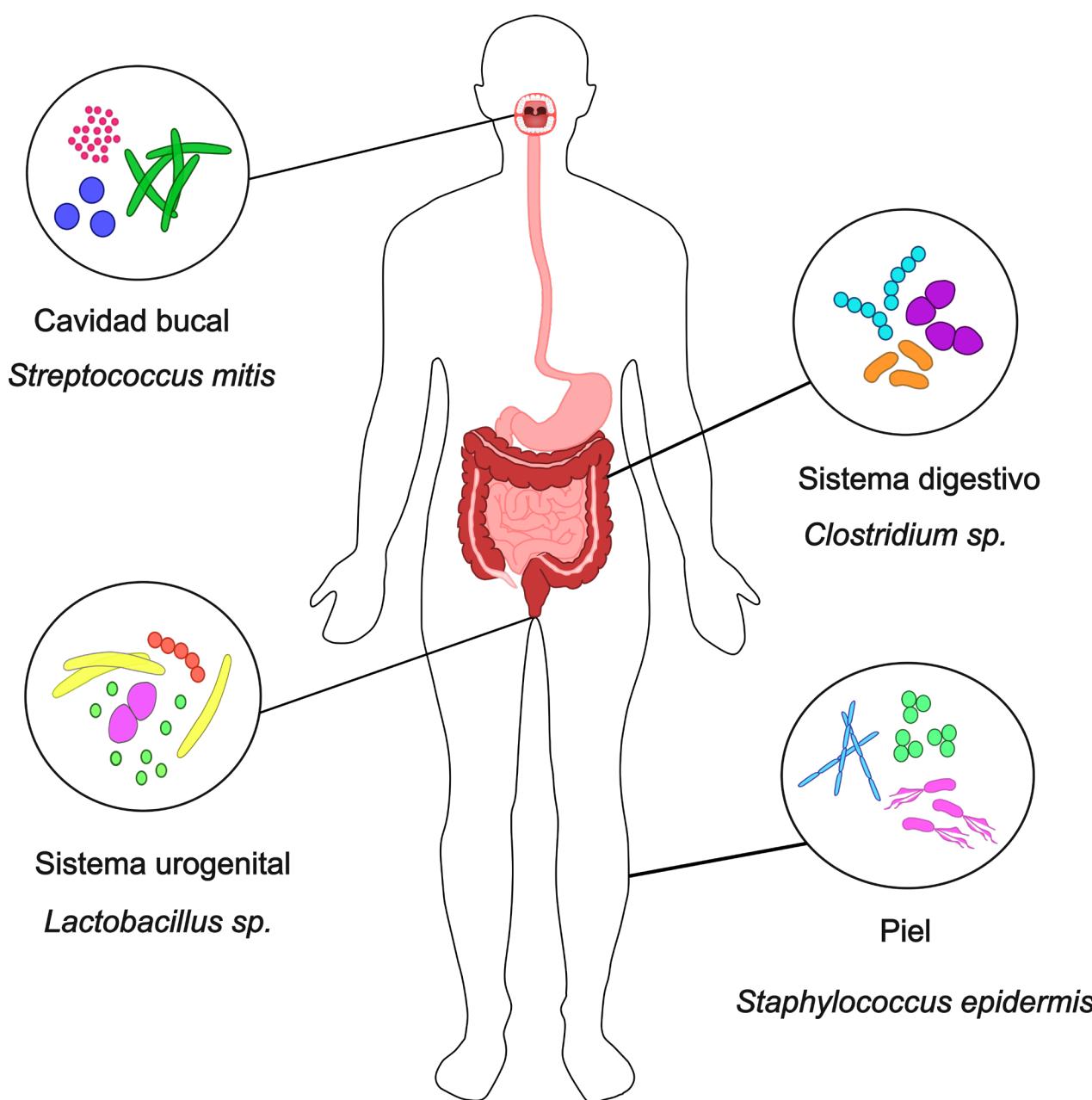


Figura 1. Microbiomas en el cuerpo humano. Principales microbiomas asociados a diferentes nichos del cuerpo humano con ejemplos de algunas bacterias comunes en estos nichos. Fuente: Autoría propia.

Microbioma oral

Es el segundo microbioma más grande del cuerpo humano, con aproximadamente 700 especies distintas, del cual se conoce el 57% de las especies. Estos hallazgos no serían posibles sin el uso de técnicas de cultivo y técnicas moleculares para el análisis de genes altamente conservados como el gen 16S rDNA [2].

Últimamente, las investigaciones han colocado sobre la mira el estudio del microbioma oral, ¿Por qué? porque la cavidad oral es la entrada más grande del cuerpo humano [2]. Cuando comemos, bebemos, e inclusive con la sola acción de respirar ingresan miles de microorganismos que colonizan localidades dentro de la zona bucal como la lengua, mejillas, superficies de los dientes, labios, y el paladar. De modo que, al entrar en contacto con las mucosas bucales, algunas especies bacterianas pueden desplazarse hacia zonas cercanas y colonizarlas desencadenando enfermedades orales como caries y periodontitis.

Sumado a los anterior, estudios recientes afirman que algunas bacterias patógenas de la cavidad oral incrementan el riesgo de desarrollar enfermedades sistémicas, es decir, enfermedades que se desarrollan en otros sistemas del cuerpo humano como enfermedades cardiovasculares, Alzheimer y cáncer colorrectal [3].

Factores que influyen en la composición del microbioma

El microbioma puede describirse como un sistema complejo de múltiples interacciones entre microorganismos. Dentro del mismo hay una gran variedad de bacterias que cumplen diferentes funciones en la cavidad oral, siendo fundamentales en los procesos de digestión iniciales de los alimentos. La composición del microbioma debe mantener cierto equilibrio donde prima la presencia de bacterias beneficiosas para la salud en lugar de aquellas que pueden resultar dañinas. Existen múltiples factores afectan el balance en esta comunidad de microorganismos y que de no ser corregidos

pueden causar sobrecrecimiento de bacterias perjudiciales para la salud oral.

Dieta

La dieta humana ha sido un factor selectivo en la composición del microbioma oral, favoreciendo la presencia de ciertas bacterias sobre otras. En este sentido, existen dos momentos clave de la historia que transformaron de manera significativa a la microbiota oral.

Por un lado, durante el Neolítico, el paso de sociedades cazadoras-recolectoras a comunidades agrícolas modificó de manera profunda la alimentación. La dieta se basó en granos ricos en carbohidratos como el trigo y la cebada, favoreciendo a bacterias patógenas que utilizan este sustrato como fuente de energía [4]

Por otro lado, con la Revolución Industrial y el auge de los alimentos ultraprocesados cargados de azúcares y aditivos como los dulces, refrescos, bizcochos, entre otros (dieta moderna) se generó un impacto aún mayor [4]. En consecuencia, un consorcio de bacterias como *Streptococcus mutans*, *Prevotella spp*, *Fusobacterium nucleatum* y *Veillonella spp*, se consolidaron como protagonistas en el desarrollo y prevalencia de caries durante el último siglo [4].

El factor de la dieta es importante durante toda la vida, sin embargo, se ha evidenciado que es un punto más crítico en la infancia, población en la cual es mayor la incidencia de enfermedades como las caries. Esto considerando la afinidad especial de los niños con el consumo de dulces, galletas, refrescos, entre otros. Adicionalmente se debe tener en cuenta que la infancia es una etapa formativa donde los niños aún no mantienen por sí mismos hábitos de higiene saludables.

Estilo de vida

Cada persona tiene un microbioma único que depende de sus hábitos diarios. Una buena higiene bucal y una alimentación saludable ayudan a mantener una comunidad de bacterias beneficiosas en la boca. En cambio, el con-

sumo de alcohol y tabaco, el estrés, la falta de limpieza o la presencia de enfermedades orales alteran ese equilibrio y permiten que aumenten las bacterias dañinas para la salud [3].

Por ejemplo, el microbioma en una persona que fuma constantemente permite el incremento de bacterias tales como *Bacillus*, *Capnocytophaga gingivalis* y *Prevotella spp.* Algunas ligadas al desarrollo de cáncer oral debido a que pueden transformar los componentes liberados de los cigarrillos (principalmente nitratos) en componentes más tóxicos y cancerígenos [3].

Por otro lado, el consumo excesivo de alcohol puede tener repercusiones potenciales en la salud oral y sistémica. Debido a que se incrementan los niveles de *Prevotella spp.*, el cual se ha visto implicado en el desarrollo de enfermedades autoinmunes. Del mismo modo, el alcohol disminuye los niveles de oxígeno dentro de la cavidad bucal, permitiendo la proliferación de bacterias perjudiciales para la salud, mientras que aquellas que cumplen funciones beneficiosas se ven reducidas considerablemente [5].

Enfermedades de la cavidad oral

El mantener en el tiempo malos hábitos de higiene, alimentación o estilo de vida, facilita el desarrollo de enfermedades de la cavidad oral. Muchas de ellas se generan por la presencia de algunos tipos de bacterias específicas que generan daños en los tejidos de la boca, desde los tejidos blandos hasta los más fuertes como los dientes.

Caries

La caries es una patología considerada como una infección bacteriana que afecta directamente a los dientes. Puede provocarse por múltiples factores relacionados con hábitos de alimentación, higiene, entre otros. Las caries se manifiestan mediante la aparición de lesiones que desgastan los dientes, generado por la pérdida de minerales como el fósforo y el calcio, que componen el esmalte dental, a este proceso se le denomina desmineralización (Figura 2). Las responsables son las bacterias acidogénicas con su capacidad de producir ácidos que disuelven los minerales y generan lesiones que, de no ser tratadas, pueden resultar en cavidades más grandes y perjudiciales para la integridad del diente, en casos extremos estas lesiones pueden comprometer las piezas dentales con la pérdida de estas.

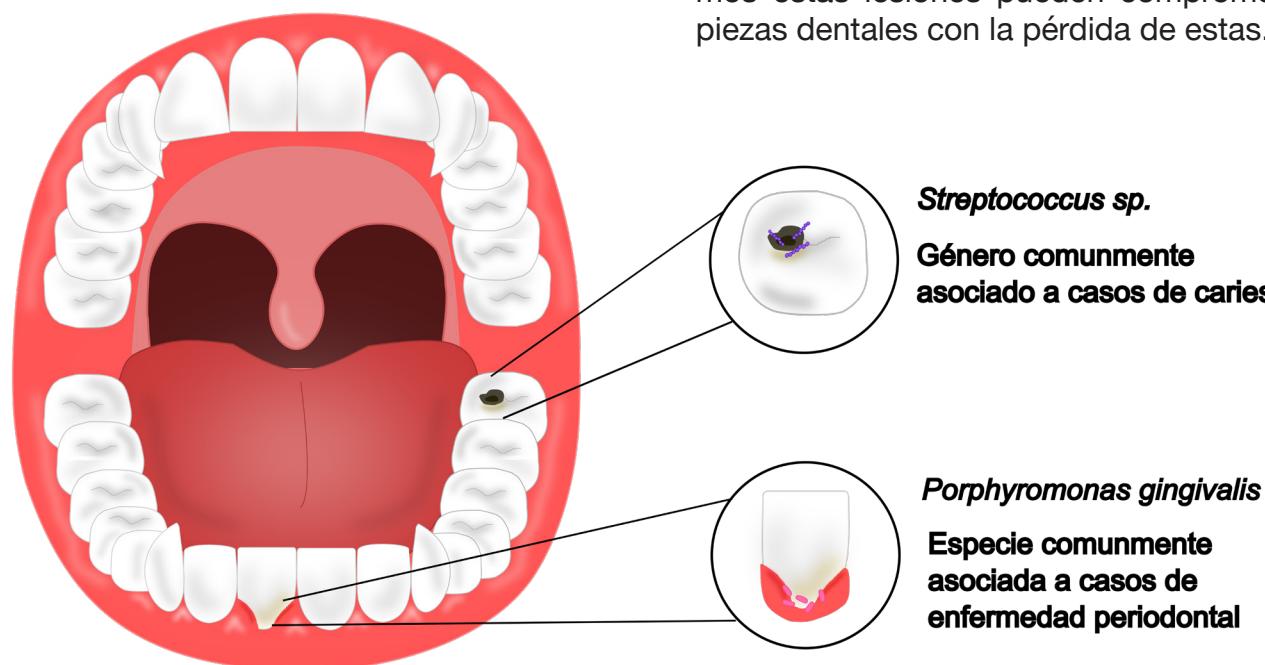


Figura 2. Afecciones de la cavidad oral. Características morfológicas asociadas a caries y enfermedad periodontal. Fuente: Autoría propia.

Uno de los factores más determinantes en la aparición de bacterias acidogénicas es la alimentación. El consumo excesivo de carbohidratos (como azúcares líquidos y sólidos) generan la fermentación, un proceso en el que las bacterias transforman el azúcar en otros compuestos derivados como los ácidos, que disminuyen el pH de la cavidad oral hasta niveles de entre 5.5 y 6 favoreciendo el proceso de desmineralización. Por lo anterior, se recomienda no ingerir carbohidratos de forma excesiva y adicionalmente mantener una higiene bucal adecuada. El uso de cremas dentales con flúor es actualmente una de las mejores estrategias en la prevención y combate de la caries dental, dado que este elemento puede ayudar a recuperar los minerales en los dientes afectados, asimismo es efectivo en la reducción de bacterias productoras de ácido como lo son las bacterias del género *Streptococcus* [6].

Enfermedad periodontal

Esta enfermedad está relacionada con la afectación del periodonto, el cual está compuesto por un conjunto de tejidos que dan soporte a las piezas dentales. Las encías, ligamento periodontal, hueso alveolar y cemento radicular; son algunos de los componentes principales del periodonto. Estos, en conjunto, constituyen una cadena de uniones que mantienen los dientes unidos desde la mandíbula o la maxila.

La enfermedad periodontal está causada por la placa bacteriana también conocida como biofilm. El biofilm es el resultado del establecimiento de microorganismos que producen sustancias extracelulares que les permiten adherirse y establecerse en la superficie de los dientes. Se compone por diversos microorganismos dentro de los cuales se encuentran bacterias con potencial patógeno. En la mayoría de los casos estos patógenos se reportan como bacterias anaerobias (que sobreviven en ambientes sin oxígeno), con morfologías celulares de bacilos gram negativos, los cuales se caracterizan por tener una membrana externa y una pared celular delgada [7].

Cuando el biofilm o placa dental alcanzan estadios de maduración avanzados se puede producir la gingivitis, donde las encías presentan inflamación y sensibilidad generando sangrados frecuentes ante estímulos comunes como el cepillado dental. En este punto la gingivitis puede ser fácilmente tratada con la mejora de los hábitos de higiene, sin embargo, de persistir esta inflamación se puede generar la periodontitis. Al desarrollar esta condición la encía se retrae separándose de los dientes y generando cavidades entre los mismos, (Figura 2). Estas lesiones facilitan que las toxinas liberadas por bacterias y otros microorganismos se extiendan por el periodonto degradándolo y causando la movilidad de los dientes. Finalmente, en casos avanzados de periodontitis se obtiene como resultado la perdida de las piezas dentales [7].

Recomendaciones

El microbioma oral es un aliado en la salud bucal, mantener dinámicas ecológicas estables es primordial para la salud del ser humano. Estas dinámicas consisten en mantener un equilibrio entre las interacciones de los microorganismos de la cavidad oral. A menudo el desarrollo de enfermedades de la cavidad oral se encuentra mejor asociado con desbalance en la presencia de bacterias beneficiosas para la salud bucal, lo que en contraparte hace que las bacterias perjudiciales aumenten. Las complicaciones en la salud oral están a menudo relacionadas con hábitos del estilo de vida, como las mencionadas en este artículo. Por tanto, se recomienda la implementación de dietas balanceadas que no abusen del consumo de carbohidratos, específicamente en las primeras infancias, población en la cual es mayor la incidencia de caries. Asimismo, se recomiendan hábitos de higiene saludables que fomenten el cepillado de dientes, el uso adecuado de la seda dental al menos una vez al día y no abusar del uso de enjuagues bucales, ya que, el uso periódico de estos productos podría relacionarse con el aumento de bacterias oportunistas [8]. Por último, se recalca que los hábitos de tabaquismo y consumo frecuente de alcohol generan alteraciones

en las condiciones fisicoquímicas de la cavidad oral, lo que favorece a bacterias patógenas que preceden a las enfermedades orales. **iBIO**

Referencias

- [1] Althani, A. A., Marei, H. E., Hamdi, W. S., Nasrallah, G. K., El Zowalaty, M. E., Al Khodor, S., Al-Asmakh, M., Abdel-Aziz, H., Cenciarelli, C. (2016). Human Microbiome and its Association With Health and Diseases. *Journal of Cellular Physiology*, 231(8), 1688–1694. <https://doi.org/10.1002/jcp.25284>
- [2] Dewhirst, F. E., Chen, T., Izard, J., Paster, B. J., Tanner, A. C., Yu, W. H., Lakshmanan, A., Wade, W. G. (2010). The human oral microbiome. *Journal of bacteriology*, 192(19), 5002-5017. <https://doi.org/10.1128/jb.00542-10>
- [3] Verma, D., Garg, P.K. & Dubey, A.K. (2018). Insights into the human oral microbiome. *Arch Microbiol* 200, 525–540. <https://doi.org/10.1007/s00203-018-1505-3>
- [4] Adler, C. J., Dobney, K., Weyrich, L. S., Kaidonis, J., Walker, A. W., Haak, W., Bradshaw, C. J. A., Townsend, G., Soltysiak, A., Alt, K. W., Parkhill, J., Cooper, A. (2013). Sequencing ancient calcified dental plaque shows changes in oral microbiota with dietary shifts of the Neolithic and Industrial revolutions. *Nature genetics*, 45(4), 450-455. <https://doi.org/10.1038/ng.2536>
- [5] Rajasekaran, J. J., Krishnamurthy, H. K., Bosco, J., Jayaraman, V., Krishna, K., Wang, T., Bei, K. (2024). Oral Microbiome: A Review of Its Impact on Oral and Systemic Health. *Microorganisms*, 12(9), 1797. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12091797>
- [6] Pizarro, M. C., & Lillo, O. C. (2014). La caries dental: una enfermedad que se puede prevenir. *Anales de Pediatría Continuada*, 12(3), 147-151. [https://doi.org/10.1016/s1696-2818\(14\)70184-2](https://doi.org/10.1016/s1696-2818(14)70184-2)
- [7] Silva, M. L., Díz-Iglesias, P., Seoane-Romero, J., Quintas, V., Méndez-Brea, F., & Varela-Centelles, P. (2016). Actualización en medicina de familia: patología periodontal. *Medicina de Familia SEMERGEN*, 43(2), 141-148. <https://doi.org/10.1016/j.semerg.2016.02.005>
- [8] Laumen, J., Van Dijck, C., Manoharan-Basil, S., De Block, T., Abdellati, S., Xavier, B., Malhotra-Kumar, S., & Kenyon, C. (2024). The effect of daily usage of Listerine Cool Mint mouthwash on the oropharyngeal microbiome: a substudy of the PReGo trial. *Journal Of Medical Microbiology*, 73(6). <https://doi.org/10.1099/jmm.0.001830>

Microbichos



Leuconostoc mesenteroides: Un microorganismo clave en la fermentación y la biotecnología moderna

Leuconostoc mesenteroides: A key microorganism in fermentation and modern biotechnology

Resumen

Leuconostoc mesenteroides, una bacteria ácido-láctica, destaca por su versatilidad en la fermentación de alimentos y su potencial biotecnológico. Es clave en la industria alimentaria, gracias a que tolera condiciones adversas, produce compuestos que mejoran la textura, el sabor y la seguridad alimentaria, y a su potencial probiótico. Su capacidad para producir dextrano y bacteriocinas lo convierte en aliado para producir biopolímeros, ingredientes funcionales y conservantes naturales. Los estudios actuales, se centran en optimizar su rendimiento con ingeniería genética; ofreciendo soluciones innovadoras y sostenibles, con un futuro prometedor en la formulación de productos más seguros, naturales y eficaces.

Palabras clave: Fermentación, probióticos, biotecnología.

Summary

Leuconostoc mesenteroides, a lactic acid bacterium, stands out for its versatility in food fermentation and its biotechnological potential. It plays a key role in the food industry thanks to its tolerance to adverse conditions, production of compounds that improve texture, flavor, and food safety, and its probiotic properties. Its ability to produce dextran and bacteriocins makes it a valuable ally for the production of biopolymers, functional ingredients, and natural preservatives. Current studies focus on optimizing its performance through genetic engineering, offering innovative and sustainable solutions with a promising future in the development of safer, more natural, and more effective products.

Keywords: Fermentation, probiotics, biotechnology.

Elsa Díaz-Montes

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, Av. Acueducto s/n, Barrio La Laguna Ticomán, Ciudad de México 07340, México.

Autor para la correspondencia:
elsadimo123@gmail.com

El mundo de las bacterias ácido-lácticas: Introducción

Las bacterias ácido-lácticas (BAL) son microorganismos esenciales en la fermentación de alimentos, ya que convierten azúcares en ácido láctico mediante un proceso conocido como fermentación láctica. Estas bacterias, como *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Lactococcus* y *Pediococcus*, son gram-positivas y anaerobias facultativas, lo que significa que pueden tolerar el oxígeno. Además, están generalmente reconocidas como seguras (GRAS por sus siglas en inglés, Generally Recognized As Safe), son fáciles de manejar en entornos industriales y poseen una gran versatilidad para innovar en productos alimentarios. Algunas especies de BAL, como *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, actúan como probióticos, favoreciendo la salud digestiva, equilibrando la microbiota intestinal y fortaleciendo el sistema inmunológico [1-3].

La fermentación mediante BAL es un método natural de conservación de alimentos, ya que prolonga la vida útil de los productos mediante la producción de compuestos como ácido láctico y peróxido de hidrógeno. Estos compuestos crean un ambiente que inhibe el crecimiento de bacterias patógenas y otros microorganismos no deseados, funcionando como un mecanismo de control biológico natural y mejorando la seguridad alimentaria [1, 2].

El interés por las BAL va más allá de la industria alimentaria, ya que su potencial biotecnológico las convierte en aliadas para la producción de saborizantes y texturizantes naturales. Por un lado, la textura de los productos fermentados se vuelve más suave o cremosa; mientras que la generación de compuestos

como ácidos (como ácido láctico y ácido acético), alcoholes (como etanol y 1-propanol) y ésteres (como acetato de etilo y acetato de isoamilo) aporta sabores y aromas distintivos. Además, en algunos casos, la fermentación con BAL incrementa el valor nutricional de alimentos, como el yogur, kéfir y masa madre, mejorando la biodisponibilidad de nutrientes importantes [1, 2]. La Figura 1 ilustra los ejemplos de aplicación de las bacterias ácido-lácticas.

Leuconostoc mesenteroides: ¿Qué hace especial a esta bacteria?

L. mesenteroides es una bacteria ácido-láctica que se destaca por su versatilidad e importancia en la fermentación de alimentos. A diferencia de muchas otras bacterias

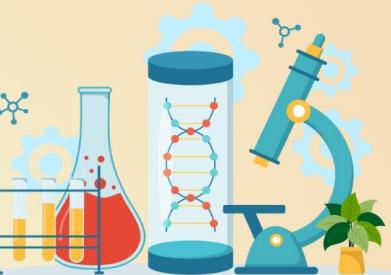
Industria de Alimentos	Farmacéutica	Investigación Científica
		
Productos fermentados	Probióticos	Estudio de la microbiota
Conservación de alimentos	Producción de bacteriocinas	Ingeniería genética
Alimentos funcionales	Terapias adyuvantes	Bioconservación y biocontrol
Perfil sensorial	Vehículos para fármacos	Metabolitos secundarios
Fortificación nutricional	Prevención de infecciones	Resistencia a antibióticos
Reducción de alérgenos	Modulación del sistema inmune	Biopolímeros
Reducción antinutrientes		

Figura 1. Aplicaciones de las bacterias ácido-lácticas.

ácido-lácticas, *L. mesenteroides* es heterofermentativa, lo que significa que, además de producir ácido láctico, genera compuestos como dióxido de carbono, etanol y ácidos orgánicos volátiles, aportando sabores complejos y texturas únicas. *L. mesenteroides*, tiene la capacidad de iniciar fermentaciones en condiciones difíciles, ya que puede crecer en presencia de sal a bajas temperaturas, lo que la convierte en una bacteria dominante en las primeras etapas de fermentación espontánea de vegetales. Además, su producción de dióxido de carbono contribuye a crear un ambiente anaeróbico, desplazando a otros microorganismos no deseados y favoreciendo la acción de bacterias beneficiosas [3, 4].

El potencial probiótico —es decir, su capacidad para beneficiar la salud al consumirse en cantidades adecuadas— de *L. mesenteroides* la convierte en una bacteria de interés para la salud humana, gracias a su capacidad para contribuir al equilibrio de la microbiota intestinal y fortalecer el sistema inmunológico. Aunque tradicionalmente se le asocia más con la fermentación de alimentos que con aplicaciones probióticas, estudios recientes han destacado su capacidad para sobrevivir en el tracto gastrointestinal y colonizar el intestino, donde compite eficazmente contra microorganismos patógenos. Además, la presencia de esta bacteria en alimentos fermentados se asocia con una mejora en la digestión y en la absorción de nutrientes, gracias a la producción de ácidos orgánicos y enzimas que facilitan la descomposición de componentes complejos en la dieta. El consumo regular de productos fermentados con *L. mesenteroides* podría tener efectos positivos en la regulación del sistema inmunológico, reduciendo la inflamación y mejorando la respuesta del cuerpo ante infecciones. Estas propiedades hacen de *L. mesenteroides* no solo una aliada en la producción de alimentos fermentados sabrosos y seguros, sino también un microorganismo con notable potencial para promover la salud digestiva y general, en las personas [1, 2, 5].

El rol de Leuconostoc mesenteroides: Aplicaciones

caciones

En la industria alimentaria, *L. mesenteroides* juega un papel esencial en la producción de alimentos fermentados como chucrut, encurtidos, aceitunas y algunos tipos de quesos. Sin embargo, uno de los productos más importantes de *L. mesenteroides* es el dextrano, un polisacárido que tiene aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica. En los alimentos, el dextrano se utiliza en panadería y confitería por sus efectos humectantes, estabilizantes y conservadores. Mejora el sabor, la textura y la consistencia, y prolonga la frescura en helados, dulces, panes, harinas y gelatinas. En productos de carne, vegetales y quesos, se utiliza para retrasar la oxidación, preservando la textura, aroma y sabor. También se ha propuesto como recubrimiento o agente para formar películas biodegradables y es considerado un potencial prebiótico (especialmente los dextrans de bajo peso molecular), promoviendo el crecimiento de la microbiota favorable y mejorando la salud digestiva [4, 5].

En la industria farmacéutica y en medicina, el dextrano se ha utilizado como extensor, anticoagulante, agente antitrombótico, agente osmótico y en la elaboración de soluciones intravenosas para la expansión del volumen plasmático en situaciones de emergencia médica, especialmente los dextrans de alto peso molecular. Además, se usa en la producción de microesferas para la encapsulación de medicamentos, lo que permite la liberación controlada y dirigida de fármacos, mejorando su eficacia y reduciendo los efectos secundarios [4, 5].

En la investigación científica, *L. mesenteroides* es una fuente de interés por sus bacteriocinas, proteínas antimicrobianas capaces de inhibir el crecimiento de bacterias patógenas y microorganismos indeseables. Estas bacteriocinas se consideran una alternativa prometedora a los conservantes sintéticos, ya que permiten alargar la vida útil de los alimentos sin el uso de productos químicos. Su acción selectiva contra patógenos como *Listeria monocytogenes* y *Staphylococcus aureus* hace que

L. mesenteroides sea un organismo de estudio relevante en la búsqueda de soluciones más naturales y saludables para la seguridad alimentaria [6].

Además, la investigación sobre la genética de *L. mesenteroides* ha revelado que posee un genoma adaptable —es decir, el conjunto completo de su material genético—, lo que facilita su optimización en entornos industriales mediante ingeniería genética y selección de cepas específicas. Esta flexibilidad permite ajustar su rendimiento para la producción de compues-

tos específicos, como dextranos con diferentes propiedades fisicoquímicas, o la mejora en la eficiencia de la síntesis de oligosacáridos y bacteriocinas. Esto amplía las posibilidades para el desarrollo de bioproductos más eficientes y sostenibles [5, 6].

La Figura 2 ilustra las aplicaciones de *L. mesenteroides* directamente relacionadas con la salud humana.

El futuro de Leuconostoc mesenteroides: Conclusión

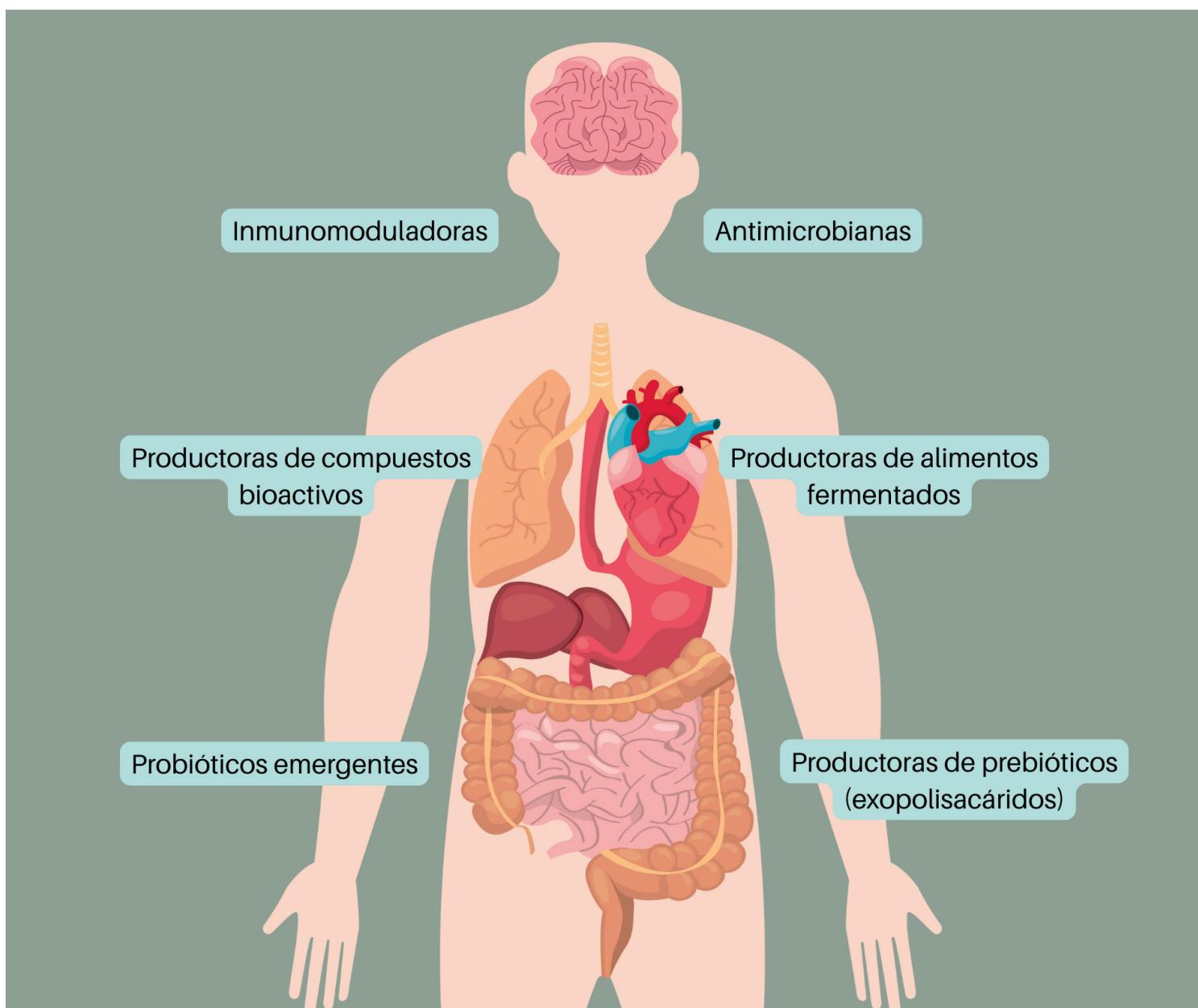


Figura 2. Aplicaciones de las bacterias *Leuconostoc mesenteroides* en la salud humana.

L. mesenteroides se ha consolidado como un microorganismo clave en la fermentación de alimentos, destacándose por su capacidad para enriquecer sabores, mejorar texturas, y contribuir a la seguridad alimentaria. Su versatilidad en condiciones difíciles, junto con su capacidad probiótica emergente, hace que esta bacteria no solo juegue un papel crucial en la producción de alimentos fermentados, sino también en la promoción de la salud digestiva. A medida que la demanda por alimentos más naturales y saludables crece, *L. mesenteroides* ofrece soluciones innovadoras, desde la producción de bacteriocinas antimicrobianas naturales hasta la síntesis de dextrans con propiedades funcionales específicas.

El futuro de *L. mesenteroides* en la fermentación y la biotecnología moderna parece prometedor. La investigación en torno a su genética y la capacidad de optimizar su rendimiento mediante la ingeniería genética abrirá nuevas posibilidades para la producción de compuestos bioactivos, no solo en la industria alimentaria, sino también en sectores como la farmacéutica y la medicina. La potencial aplicación de cepas modificadas para la producción de biopolímeros, liberación controlada de fármacos, y generación de ingredientes funcionales demuestra amplitud de su impacto.

En la búsqueda de procesos industriales más sostenibles, *L. mesenteroides* se posiciona como una aliada esencial, al ofrecer alternativas naturales a conservadores sintéticos y químicos industriales. A medida que la ciencia avance, la integración de esta bacteria en nuevas tecnologías biotecnológicas permitirá el desarrollo de productos más eficientes, seguros y amigables con el medio ambiente, subrayando su importancia no solo en la actualidad, sino en las próximas décadas. En definitiva, *L. mesenteroides* seguirá siendo una protagonista en la revolución de la fermentación y en el avance de la biotecnología moderna, marcando el camino hacia una alimentación y salud más naturales y sostenibles. **iBIO**

Agradecimientos

Se reconoce el uso de la herramienta de inteligencia artificial ChatGPT (desarrollada por OpenAI) como apoyo en la revisión gramatical y ortográfica del presente manuscrito.

Referencias

- [1] König, H., & Fröhlich, J. (2017). Lactic acid bacteria. En König, H. et al. (eds): *Biology of Microorganisms on Grapes, in Must and in Wine* (pp. 3-41). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60021-5_1
- [2] Axelsson, L., & Ahrné, S. (2000). Lactic acid bacteria. En Priest, F. G., & Goodfellow, M. (eds): *Applied Microbial Systematics* (pp. 367-388). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4020-1_13
- [3] Díaz-Montes, E., Yáñez-Fernández, J., & Castro-Muñoz, R. (2021). Characterization of oligodextran produced by *Leuconostoc mesenteroides* SF3 and its effect on film-forming properties of chitosan. *Materials Today Communications* 28, 102487. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102487>
- [4] Díaz-Montes, E. (2021). Dextran: Sources, Structures, and Properties. *Polysaccharides*, 2, 554-565. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides2030033>
- [5] de Paula A. T., Jeronymo-Ceneviva, A. B., Todorov, S. D., & Penna, A. L. B. (2015). The Two Faces of *Leuconostoc mesenteroides* in Food Systems. *Food Reviews International*, 31(2), 147-171. <https://doi.org/10.1080/87559129.2014.981825>
- [6] Drosinos, E. H., Mataragas, M., Nasis, P., Galiotou, M., & Metaxopoulos, J. (2005). Growth and bacteriocin production kinetics of *Leuconostoc mesenteroides* E131. *Journal of Applied Microbiology*, 99(6), 1314-1323. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2005.02735.x>
- [7] Tenea, G. N., Hidalgo, J., Pepinos, J., & Ortega, C. (2024). Genome characterization of *Leuconostoc pseudomesenteroides* UTNElla29 isolated from *Morus nigra* (L.) fruits: A promising exopolysaccharides producing strain. *LWT-Food Science and Technology*, 206, 116594. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116594>

Microbichos



Aliados invisibles: Bacterias al servicio de nuestros cultivos

Invisible allies: Bacteria at the service of our crops

Isaí Ismael Bahena-Contreras¹

Macdiel Acevedo-Quiroz^{1*}

Patricia Álvarez-Fitz²

Resumen

Cuando vemos un campo verde y saludable, pocas veces pensamos en las batallas invisibles que ocurren bajo tierra. Entre raíces, agua y minerales, las bacterias benéficas combaten hongos fitopatógenos que amenazan cultivos clave como el jitomate, maíz, mango y aguacate. Algunas bacterias del género *Bacillus* producen compuestos capaces de frenar estos ataques, ofreciendo una alternativa natural y efectiva al uso de químicos. En este artículo exploramos el poder oculto de estos microorganismos y cómo su actividad puede marcar la diferencia en la salud de nuestras plantas.

Palabras clave: *Bacillus, control biológico, fitopatógenos.*

Summary

When we see a green, healthy field, we rarely think about the invisible battles taking place underground. Among roots, water and minerals, beneficial bacteria fight phytopathogenic fungi that threaten key crops like tomato, corn, mango and avocado. Some *Bacillus* species produce compounds capable of stopping these attacks, offering a natural and effective alternative to chemical controls. In this article, we explore the hidden power of these microorganisms and how their activity can make a difference in the health of our crops.

Keywords: *Bacillus, biological control, phytopathogens.*

¹Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Zacatepec, Av. Instituto Tecnológico No. 27, Col. Centro, Zacatepec de Hidalgo, CP 62780, Morelos, México.

²Investigadoras e investigadores por México-Secihti-UAGro, Guerrero, México.

*Autor para la correspondencia:
macdiel.aq@zacatepec.tecnm.mx

La rizosfera, esa franja milimétrica de suelo que envuelve las raíces, es un universo invisible del que depende buena parte de la vida en la superficie. Este microhabitat, las raíces y su microbioma (bacterias, hongos) forman alianzas, libran enfrentamientos y, sin que lo sepamos, se decide si un cultivo crecerá sano o se perderá por completo. Es un mundo oculto donde la competencia y la cooperación microbiana definen el control de las raíces. En ese escenario subterráneo, microorganismos como *Bacillus* ayudan a las plantas a defenderse de hongos fitopatógenos que las atacan desde el suelo. Lo que ocurre a nivel microscópico podría transformar la forma en que cultivamos y protegemos nuestros alimentos. Mientras cuidamos la planta desde arriba, bajo tierra suceden historias complejas de cooperación y conflicto. Es en ese mundo secreto donde ciertas bacterias destacan no solo por adaptarse, sino por combatir y proteger.

¿Qué pasa bajo la tierra?

Justo donde las raíces se extienden en busca de agua y nutrientes, bajo nuestros pies, tiene lugar una batalla silenciosa. Allí coexisten, y a menudo compiten, millones de microorganismos. Entre los principales invasores se encuentran los hongos fitopatógenos, que tienen como objetivo infectar a las plantas, robarles nutrientes y debilitarlas desde dentro. Destacan géneros como *Fusarium*, *Botrytis* y *Colletotrichum* (ver Figura 1), cuyas esporas tienen la capacidad de propagarse por el aire o el agua, alcanzando nuevas plantas huésped. Además, pueden permanecer latentes en el suelo hasta que las condiciones sean favorables. Cuando alcanzan una raíz sana, penetran su superficie mediante mecanismos ingeniosos, como el uso de enzimas líticas, proteínas que actúan como tijeras microscópicas que les permiten atravesar las defensas de la planta con la facilidad de una fortaleza mal protegida. Además, en frutos en maduración, la acumulación de azúcares y otros cambios fisiológicos pueden disparar la germinación de las esporas, facilitando el inicio de la infección.

Estos patógenos afectan cultivos de gran importancia económica como jitomate, maíz, mango y aguacate. Pero no todo está perdido. Las plantas cuentan con aliados bacterianos que viven en el suelo o se adhieren a sus raíces. Entre ellos destacan especies del género *Bacillus*, como *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* y *B. velezensis*, capaces de producir lipopéptidos cíclicos como iturinas (iturina A, bacilomicina D), fengicinas y surfactinas que inhiben la germinación de esporas y el crecimiento micelial (ver Figura 1). Además, sintetizan compuestos que desactivan las células fúngicas y refuerzan las defensas de la planta mediante resistencia sistémica inducida. Así, lo que a simple vista es ‘tierra’, para estos microorganismos es un campo de batalla donde se decide el futuro del cultivo. Controlar a los hongos fitopatógenos no es tarea fácil. Durante años, la agricultura ha dependido de fungicidas químicos efectivos, pero con altos costos ambientales y sanitarios, ya que pueden contaminar el suelo, afectar la salud de quienes los aplican y

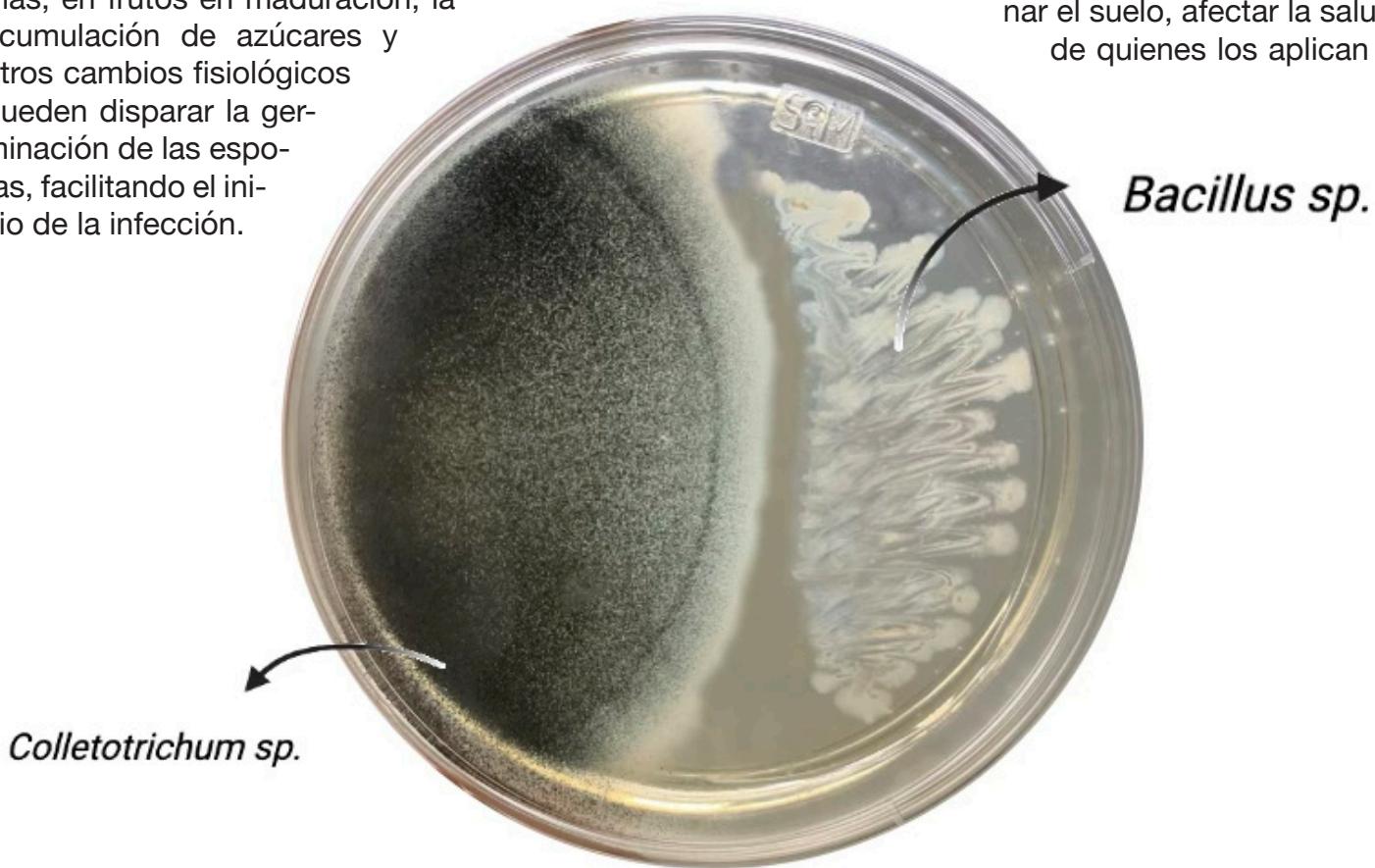


Figura 1. Interacción entre *Bacillus* sp. (derecha) y *Colletotrichum* sp. (izquierda) en medio in vitro. Se observa que *Bacillus* sp., inhibe el crecimiento de *Colletotrichum* sp. Esta supresión indica la actividad antagonista de *Bacillus* sp. hacia el hongo fitopatógeno, sugiriendo su potencial para ser utilizado como agente biocontrolador en la lucha contra enfermedades fúngicas en cultivos.

alterar el equilibrio natural del ecosistema. Hoy sabemos que existen alternativas más sostenibles basadas en el manejo del microbioma y el uso de estos aliados. Para aplicarlas, necesitamos entender mejor cómo viven, cómo atacan y con quién interactúan los patógenos en el complejo mundo microbiano del suelo [1].

El poder oculto de las bacterias

Aunque son invisibles a simple vista, las bacterias cumplen tareas esenciales en la naturaleza. Algunas ayudan a digerir los alimentos, otras depuran aguas, y muchas más fabrican metabolitos antimicrobianos, es decir, moléculas naturales que frenan o eliminan a microbios dañinos. Lejos de ser una rareza, este antagonismo biológico es común. Por ejemplo, las bacterias *Pseudomonas* spp., producen compuestos como fenazinas (p. ej. piocianina), 2,4-diacetilfloroglucinol (DAPG), pirrolnitrina y pioluteorina, capaces de inhibir hongos y bacterias patógenas. En la rizosfera, la delgada capa de suelo que rodea a las raíces, el género *Bacillus* es especialmente frecuente y abundante.

Además, *Bacillus* tiene una estrategia sorprendente, forma endosporas, como un ‘modo de hibernación’, que le permite resistir el calor, la sequía y hasta largos períodos de almacenamiento. Esto hace que sea ideal para usarlo como biopesticida, ayudando a proteger los cultivos de manera eficaz. En conjunto, estas alianzas entre microorganismos muestran que el suelo no es solo tierra, es un ecosistema vibrante y lleno de vida donde las bacterias juegan un papel crucial, protegiendo las plantas de manera natural y sostenible, y ofreciendo una alternativa que puede incluso reemplazar el uso de plaguicidas químicos. La protección de las plantas va más allá de la simple liberación de metabolitos. En las rizosfera, *Bacillus* y otras bacterias forman biopelículas o también llamadas *biofilms*, estos *biofilms* son comunidades adheridas a la raíz e inmersas en una matriz de exopolisacáridos (azúcares), proteínas y ADN extracelular. Esa matriz actúa como barrera física y química frente a los fitopatógenos, ocu-

pan sitios de adhesión y facilita su avance, a la vez que facilita la comunicación por señales químicas entre las bacterias y coordina la producción de metabolitos y reforzando la defensa colectiva.

Dentro de este *biofilm*, las bacterias producen y retienen metabolitos antimicrobianos, que funcionan como barrera química al crear microambientes con concentraciones capaces de inhibir la germinación de esporas y el crecimiento de hongos y bacterias nocivas. Es importante precisar que no son los metabolitos quienes forman la barrera física; es la matriz del *biofilm* la que concentra y potencia su efecto. Diversos estudios reportan que raíces colonizadas por *biofilms* de *Bacillus* presentan significativamente menor incidencia de enfermedades fúngicas que raíces no colonizadas. Este sistema de defensa microbiana, que combina blindaje físico (*biofilm*) y acción química (metabolitos antimicrobianos), ayuda a reducir la dependencia de pesticidas y mejora la salud y el desarrollo del cultivo. Es un ejemplo claro de coevolución planta-microbio, donde las alianzas microscópicas fortalecen la resistencia natural de las plantas [2].

Lejos de requerir laboratorios complejos o insumos costosos, muchas de estas bacterias crecen con sustratos sencillos. Además de azúcares como fuente de carbono (glucosa o sacarosa, o ácidos orgánicos como malato o citrato), necesitan nitrógeno (amonio, nitrato o aminoácidos), fósforo (fosfatos), azufre y micronutrientes (hierro, magnesio, potasio, calcio, manganeso). En el suelo, esos requerimientos se cubren en gran medida con los exudados radiculares, mezclas de azúcares, aminoácidos, ácidos orgánicos y otras moléculas, y con los minerales disueltos en la solución del suelo. Además de operar con lo que la planta ofrece en campo, pueden cultivarse en medios económicos (por ejemplo, melazas o subproductos agroindustriales) cuando se producen a escala.

¿Cuál es la estrategia?

El uso preventivo de bacterias del género *Bacillus* como biocontroladores está vincu-

lado al Manejo Integrado de Plagas (MIP), un enfoque que busca reducir el uso de pesticidas químicos y promover métodos naturales para el control de plagas. Este enfoque consiste en aplicar formulados a base de esporas de *Bacillus* (p. ej., *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. velezensis*) en momentos clave como el tratamiento de semilla, trasplante y riegos tempranos. Así, las bacterias colonizan la rizosfera, forman *biofilms* y producen metabolitos antimicrobianos, los cuales dificultan el establecimiento de hongos fitopatógenos, contribuyendo a una protección eficaz y natural para las plantas. Su efecto es principalmente preventivo; cuando la enfermedad ya está instalada, el control es más limitado.

En campo, *Bacillus* se combina con estrategias tradicionales dentro del MIP: rotación de cultivos, manejo del riego y la ventilación, higiene del equipo, y, cuando se requiere, agroquímicos. Esta combinación permite reducir dosis y frecuencia de fungicidas, retrasar resistencias y mejorar la salud del suelo. Las ventajas para el productor que se generan a partir de esta estrategia son la menor dependencia de pesticidas químicos y mejor perfil ambiental; la estabilidad y facilidad de uso: las esporas toleran almacenamiento y condiciones variables; y, la compatibilidad con esquemas sostenibles (orgánicos o de bajo impacto). Cabe mencionar que el empleo de *Bacillus* no es una “solución única”, sino una pieza clave de una estrategia simple y poderosa cuando se explica y ejecuta dentro de un manejo integrado, ajustado a las condiciones de cada región y cultivo.

¿Dónde se encuentra *Bacillus* bajo tierra?

La rizosfera es el suelo inmediato que rodea a las raíces y su composición química depende en gran medida de la planta (exudados, oxigenación, humedad). No es la capa superficial del suelo, sino el microambiente que se forma alrededor de cada raíz, a la profundidad a la que esta se encuentre. En esta zona activa, *Bacillus* frecuentemente aprovecha azúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos liberados por la raíz, se adhiere a su superficie (rizopla-

no), forma *biofilms* y contribuye a la protección vegetal mediante la producción de metabolitos antimicrobianos y otros mecanismos beneficiosos. Varias especies de *Bacillus* también colonizan la parte aérea (filosfera: hojas y tallos) y pueden comportarse como endófitas, es decir, vivir dentro de los tejidos vegetales sin causar daño, ampliando sus oportunidades de interacción y protección [3].

Las armas secretas de *Bacillus*

En el campo de batalla microscópico, *Bacillus* no es un espectador. Detecta señales del entorno (densidad de población, nutrientes, factores de estrés, nutrientes excretadas por las raíces) y activa “fábricas” bioquímicas que producen metabolitos antimicrobianos. Es importante señalar que no todos los compuestos se activan porque haya hongos; varios se sintetizan aún sin presencia de patógenos, regulados por mecanismos de comunicación bacteriana (*quorum sensing*) y por el estado fisiológico de la población. Entre sus “armas” mejor estudiadas están los lipopéptidos cílicos, como la iturina (Figura 2) (p. ej., iturina A, bacilomicinas, mycosubtilina) y fengicinas, los antifúngicos más potentes de *Bacillus*. Estos, se insertan en la membrana de los hongos, forman poros o la desorganizan, inhiben la germinación de esporas y frenan el crecimiento del

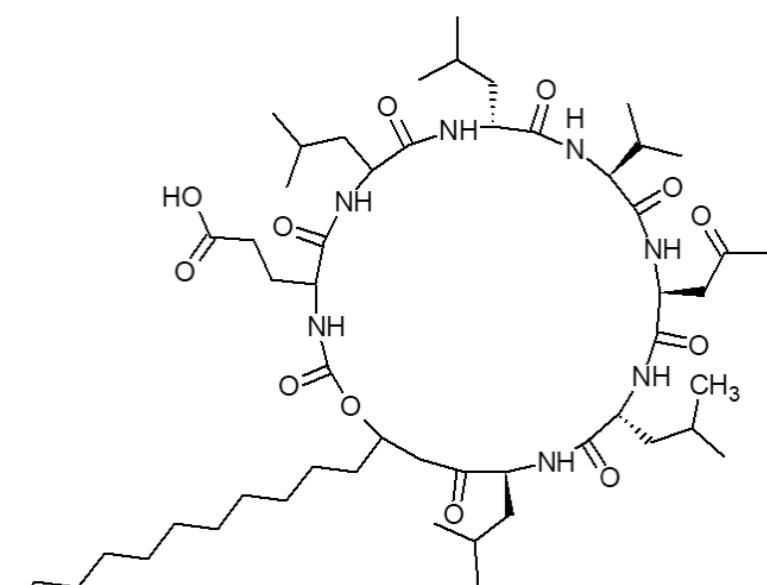


Figura 2. Estructura química de la iturina.

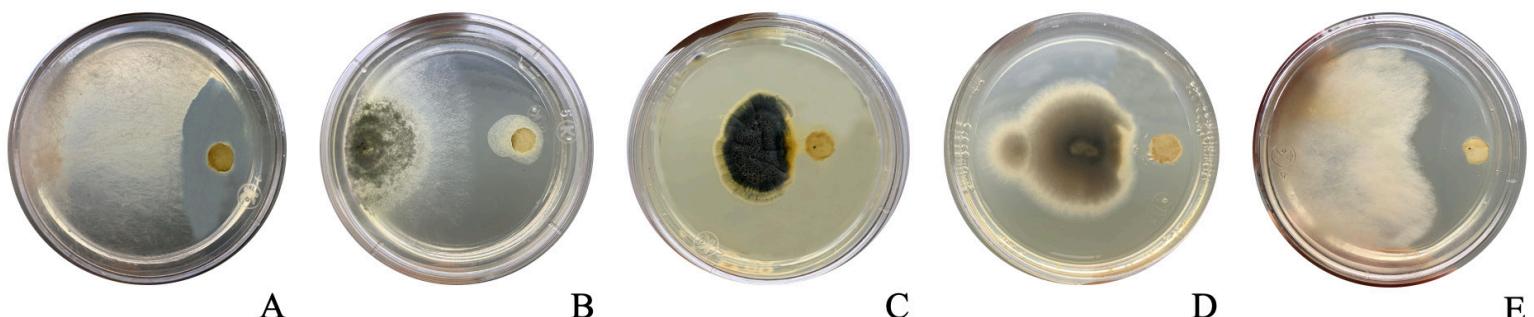


Figura 3. Evaluación *in vitro* de la actividad antagonista de los metabolitos producidos por *Bacillus* frente a: A) *Fusarium mexicanum*; B) *Fusarium subglutinans*; C) *Colletotrichum* sp.; D) *Fusarium* sp.; E) *Botrytis* sp.

micelio. Su acción explica gran parte del efecto de biocontrol frente a géneros como *Fusarium* sp., *Botrytis* sp. o *Colletotrichum* sp. (Figura 3).

Uno de los compuestos más versátiles de *Bacillus* es la surfactina (Figura 4), un compuesto clave para la movilidad bacteriana (*swarming*), la formación de *biofilms* y la colonización de raíces; además, puede activar defensas de la planta (resistencia inducida). Aunque en algunos casos se han observado efectos sobre ciertos hongos susceptibles, por lo general no es el antifúngico principal. Su papel central

es facilitar el establecimiento de *Bacillus* y potenciar la acción conjunta del consorcio microbiano. La planta, a su vez, eleva sus propias defensas, cerrando el círculo de protección [4].

No solo combate, también nutre

Además de su papel defensivo, *Bacillus* puede actuar como bioestimulante y biofertilizante, promoviendo el crecimiento vegetal, incluso en suelos con baja disponibilidad de fósforo (P). El fósforo es un nutriente clave para la formación de raíces, la fotosíntesis y la pro-

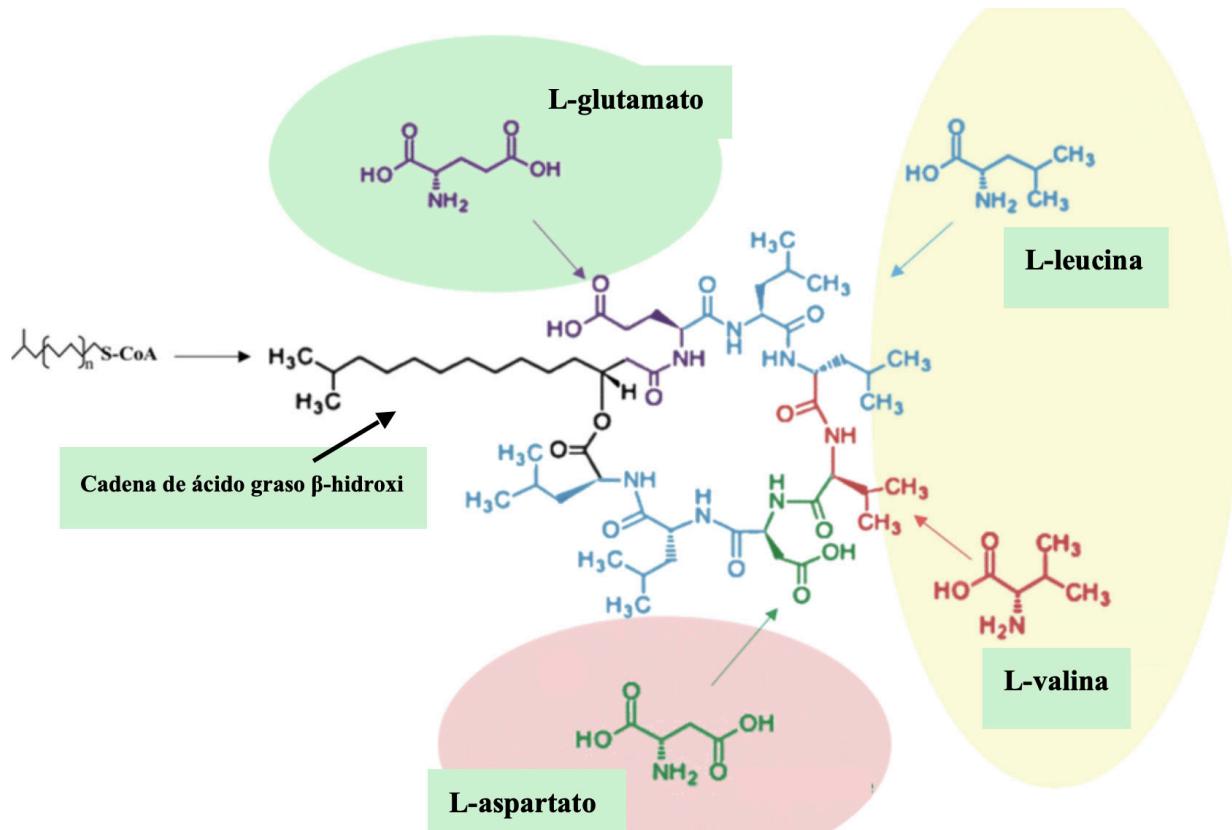


Figura 4. Estructura química de la surfactina.

ducción de energía en la planta. Las especies *Bacillus subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. velezensis*, *B. pumilus* y *B. megaterium*, son especies designadas como bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR). En suelos pobres en fósforo activan varios mecanismos complementarios que aumentan la fracción de P disponible y mejoran la exploración de suelo por las raíces:

1. Solubilización de fosfatos minerales. Liberan ácidos orgánicos (por ejemplo, gluconato y citrato) y protones (H^+) que quiebran enlaces del P con calcio, hierro o aluminio en fosfatos poco solubles (como hidroxiapatita o roca fosfórica), volviéndolos asimilables para la planta.
2. Mineralización de fósforo orgánico. Producen fosfatases (ácidas y alcalinas) y fitasas que transforman el P orgánico del suelo (fitatos y otros compuestos) en fosfato inorgánico, la forma que absorben las raíces.
3. Arquitectura radicular mejorada. Muchas especies de *Bacillus* sintetizan auxinas (como el ácido indolacético, AIA) que estimulan raíces laterales y pelos absorbentes; así, la planta amplía su superficie de absorción justo donde el P está más disponible.
4. Resistencia al estrés. Al formar *biofilms* en la rizosfera, *Bacillus* se adhiere con firmeza a la raíz y creando un ambiente propicio para su desarrollo, además, algunas cepas de estas bacterias producen la enzima ACC (ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico) desaminasa, la cual ayuda a modular el etileno (hormona de estrés), favoreciendo el crecimiento radicular en condiciones limitantes.

Así, el resultado es doble, defensa frente a patógenos y mejor nutrición, con plantas más vigorosas y eficientes en el uso de recursos. Por estas razones, *Bacillus* se considera un biofertilizante eficaz y una pieza clave en estrategias agrícolas sostenibles, especialmente cuando el fósforo del suelo está “bloqueado” o es escaso. Cuando estas bacterias liberan auxinas cerca de las raíces, provocan el alar-

gamiento celular, acelerando el crecimiento de tallos y raíces. También inducen la ramificación de la raíz y el desarrollo de estructuras especializadas que permiten a la planta explorar mejor el suelo. El resultado es una planta con raíces más fuertes, eficientes y resilientes. Esto se traduce en un crecimiento más equilibrado, mejor nutrición y mayor tolerancia a condiciones de estrés, como sequía o salinidad.

Estas interacciones revelan una cooperación bioquímica en la que ambas partes se benefician (Figura 5). Una comunicación invisible con un impacto directo en la productividad agrícola. En otras palabras, *Bacillus* no solo protege, también nutre, estimula y fortalece las raíces, en una forma de comunicación bioquímica entre dos formas de vida distintas, pero colaborativas [5].

Basura que cultiva soluciones

Lo que muchas industrias consideran basura, la ciencia lo está convirtiendo en un recurso valioso. Los residuos agroindustriales, que suelen desecharse o causar problemas de contaminación si no se gestionan adecuadamente, están en realidad llenos de nutrientes que ciertas bacterias pueden aprovechar para crecer y producir compuestos útiles. Un ejemplo destacado es la melaza, un subproducto de la industria azucarera con altas concentraciones de azúcares y minerales. Este material se ha propuesto como una fuente rica y subutilizada para emplearse como suplemento en medios de cultivo, demostrando ser eficaz para estimular el crecimiento de bacterias del género *Bacillus* y la producción de metabolitos secundarios. Así, la combinación de residuos agrícolas con bacterias benéficas permite diseñar soluciones de bajo costo que convierten un problema ambiental en una oportunidad para producir más *Bacillus* y, con ello, fortalecer estrategias naturales para mejorar y proteger la salud de los cultivos. Esta estrategia no solo reduce costos, sino que impulsa una agricultura más limpia, sostenible y menos dependiente de químicos, alineándose con los principios de la economía circular y el aprovechamiento responsable de los recursos [6].

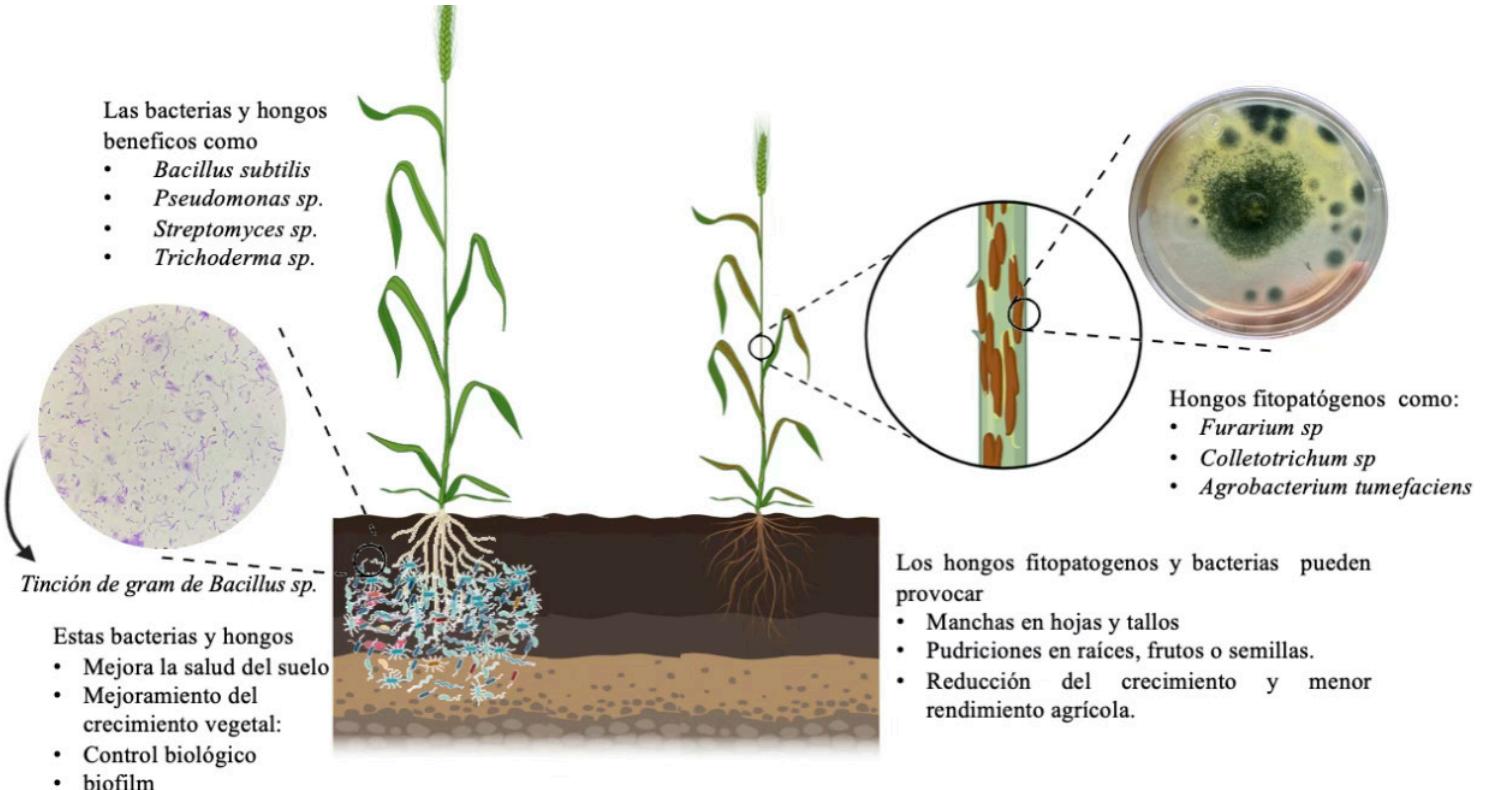


Figura 5. Las bacterias y hongos beneficiosos, como *Bacillus subtilis*, mejoran la salud del suelo y protegen las plantas, mientras que los hongos fitopatógenos, como *Fusarium* sp., causan daños como manchas en hojas y pudrición en raíces, reduciendo el rendimiento agrícola.

Lo que no se ve, también protege

En el mundo agrícola solemos poner atención a lo que está sobre el suelo, las hojas, los frutos y las plagas visibles. Pero debajo de todo eso, en la oscuridad del suelo, las raíces libran una batalla constante, y no lo hacen solas. Allí, las bacterias trabajan en silencio, protegen, alimentan y equilibran. Descubrir que estas bacterias pueden ayudar a combatir enfermedades en las plantas no solo es una historia de ciencia, sino de transformación. Es la prueba de que incluso los materiales más simples y considerados desechos, pueden convertirse en soluciones valiosas. En un momento en que el futuro de la agricultura depende de prácticas más sustentables, las bacterias, estas aliadas invisibles nos recuerdan que la innovación no siempre consiste en crear algo nuevo, sino en aprender a mirar con otros ojos lo que ya está allí [3]. iBIO

ting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, 63, 541–556. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>

[2] Flores-Vargas, R.D., O'Hara, G.W. (2006). Isolation and characterization of rhizosphere bacteria with potential for biological control of weeds in vineyards. *Journal of Applied Microbiology*, 100(5), 946–954. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02851.x>

[3] Andrić, S., Meyer, T., Ongena, M. (2020). *Bacillus* responses to plant-associated fungal and bacterial communities. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1350. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01350>

[4] Qiao, J., Borriss, R., Sun, K., et al. (2024). Research advances in the identification of regulatory mechanisms of surfactin production by *Bacillus*: a review. *Microbial Cell Factories*, 23, 100. <https://doi.org/10.1186/s12934-024-02372-7>

[5] Jensen, C.N.G., Pang, J.K.Y., Gottardi, M., et al. (2024). *Bacillus subtilis* promotes plant phosphorus (P) acquisition through P solubilization and stimulation of root and root hair growth. *Physiologia Plantarum*, 176(3). <https://doi.org/10.1111/ppl.14338>

[6] Astudillo, Á., Rubilar, O., Briceño, G., Diez, M.C., Schalchli, H. (2023). Advances in agroindustrial waste as a substrate for obtaining eco-friendly microbial products. *Sustainability*, 15(4), 3467. <https://doi.org/10.3390/su15043467>

Referencias

[1] Kamilova, B.L.F. (2009). Plant-growth-promo-

Publica con nosotros

¿Qué artículos se reciben?

Se aceptarán trabajos escritos en español o inglés cuyo tema central sean la biotecnología o los bioprocessos. 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>