

# LUCIDUM CIENCIA

Revista de **Divulgación Multidisciplinaria**  
del Centro Universitario de la Costa

*Ciencias Exactas • Medicina y Salud • Humanidades y Conducta  
Tecnología • Ciencias Sociales y Económicas  
Ciencias Naturales y Agropecuarias • Ciencias de la Tierra y de la Atmósfera*



## DIRECTORIO UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Karla Alejandrina Planter Pérez

*Rectora General*

Héctor Raúl Solís Gadea

*Vicerrector Ejecutivo*

Jaime Federico Andrade Villanueva

*Vicerrector Adjunto Académico y de Investigación*

María Guadalupe Cid Escobedo

*Vicerrectora Adjunta Administrativa*

César Antonio Barba Delgadillo

*Secretario General*

María Esther Avelar Álvarez

*Rectora del Centro Universitario de la Costa*

L. Rebeca Mateos Morfín

*Secretaría Académica*

María del Consuelo Delgado González

*Secretaría Administrativa*

Lino Francisco Jacobo Gómez Chávez

*Coordinador de Investigación y Posgrados*

### EDITOR EN JEFE

Fernando Vega Villasante

### CONSEJO EDITORIAL

María Esther Avelar Álvarez

L. Rebeca Mateos Morfín

María del Consuelo Delgado González

José Carlos Cervantes Ríos

Fabio Germán Cupul Magaña

Lino Francisco Jacobo Gómez Chávez

Fernando Vega Villasante

### EDITORES ASOCIADOS

Liza Danielle Kelly Gutiérrez

*Biología y Química*

Stella Maris Arnaiz Burne

*Turismo y Desarrollo Sustentable*

Jesús Cabral Araiza

*Ciencias Médicas y de la Salud*

Remberto Castro Castañeda

*Ciencias de la Conducta*

Luis Javier Plata Rosas

*Físico-Matemáticas y Ciencias de la Tierra*

Gabriela Andrea Scartascini Spadaro

*Educación y Humanidades*

Marco Antonio Delgadillo Guerrero

*Ciencias Sociales y Económicas*

Saúl Rogelio Guerrero Galván

*Biología y Ciencias Agropecuarias*

Jorge Ignacio Chavoya Gama

*Ingenierías y Arquitectura*

Olimpia Chong Carrillo

*Multidisciplinaria*

### EDITORES ASOCIADOS EXTERNOS

Héctor Gerardo Nolasco Soria

*Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. México*

Alfonso Álvarez González

*Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México*

Dora Luz Flores

*Universidad Autónoma de Baja California. México*

David Julián Palma Cancino

*Universidad Popular de La Chontalpa. México*

Eduardo Gómez Encarnación

*Benemérita Sociedad de Geografía y Estadística del Estado de Jalisco. México*

Cristina Chávez Chong

*Universidad de Potsdam. Alemania*

Alfonso Silva Lee

*Cuba*

Sergio Palma

*Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Chile*

### CUIDADO DE LA EDICIÓN

Laura Biurcos Hernández

### DISEÑO E ILUSTRACIÓN DE PORTADA

Francisco Gerardo Herrera Segobiano



REGISTRO DE ARTÍCULOS: fvillasante@cuc.udg.mx

LUCIDUM CIENCIA. Año 5, Núm. 9, enero-junio 2026, es una publicación semestral, editada por la Universidad de Guadalajara, a través de la Coordinación de Investigación y Posgrados, por la Secretaría Académica, del CUCosta. Av. Universidad #203, delegación Ixtapa, C.P. 48280, Puerto Vallarta, Jalisco, México; Tel: 322 2262200, <http://www.cuc.udg.mx/es/revista-lucidum-ciencia>, fvillasante@cuc.udg.mx. Editor responsable: Fernando Vega-Villasante. Reserva de derechos al uso exclusivo del título 04-2023-021411551400-102, ISSN: 2992-6807, otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Coordinación de Investigación y Posgrados, del CUCosta. Av. Universidad #203, delegación Ixtapa, C.P. 48280, Puerto Vallarta, Jalisco, México, Fernando Vega-Villasante. Fecha de la última modificación 17 de abril de 2026.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad de Guadalajara.

Publicación indizada en: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, Latindex.

## Contenido

Editorial	5
El langostino de río: retos y oportunidades en la acuicultura	
Susana Alejandra Frías Gómez y Luis Héctor Hernández Hernández	7
William Munny y el Chapulín: ¿héroes o antihéroes?	
Fabio G. Cupul-Magaña	12
Hablando de grillos, cucarachas y hormigas: ¿platos gourmet para la acuicultura?	
Yajaira Cabrera-Madrigal, Uriel Rodríguez-Estrada, Gloria Gertrudys Asencio-Alcudia, Carlos Alfonso Álvarez-González y Rafael Martínez-García	16
Pájaros, <i>Homo sapiens</i> ... y la paradoja de las «especies»	
Alfonso Silva Lee	23
El secuestro del agua: desde las civilizaciones antiguas hasta los sistemas actuales	
Víctor Manuel Almaraz Valle, Carlos Eduardo Aguilar Castillo, Rubén Santillán Castillo y Mayra Carolina Vieyra Alberto	33
El <i>Dormitator latifrons</i> : un gigante dormido en la acuicultura mundial	
Zinnia E. Aguirre-García, Fernando Barreto-Curiel, Kevin O. Ponce-Palomera y Daniel Badillo-Zapata	39

Estero El Salado: área natural protegida  
generadora de conocimiento y de vinculación académica

Xochitl Janeth Bolaños-Apaez,  
Sandra Quijas y  
Fabio G. Cupul-Magaña 44

Inteligencia artificial desde Latinoamérica.  
Diálogo y debate en permanente actualización

Gabriela Scartascini Spadaro 54

Microplásticos, la invasión silenciosa

José Luis García-Cruz,  
Gabriel Núñez-Nogueira,  
Francisco López-Villarreal,  
Rebeca Yasmín Pérez Rodríguez,  
Graciela María Pérez Jiménez y  
César Antonio Sepúlveda-Quiroz 62

¿Sabías que los materiales del futuro están en  
los residuos alimentarios?

Cinthy Ruíz Pardo,  
Waldo Argüelles Monal,  
José Javier Coca Hidalgo y  
Luisa Silva Gutiérrez 70

Obesidad: el puente entre la inflamación y  
la neurodegeneración

Marco Esau González-Navarro,  
María del Carmen Navarro-Rodríguez y  
Alma Rosa Raymundo-Huizar 76

Entre un piso pegajoso y un techo de cristal:  
un alojamiento injusto para las investigadoras del SNII

Michellet Acosta-Altunaga,  
Martín Alonso Aréchiga-Palomera y  
Olimpia Chong-Carrillo 85

## EDITORIAL

Hoy dedico esta Editorial, con profunda tristeza, para despedir a un colega, pero sobre todo a un amigo entrañable: el Dr. Saúl Rogelio Guerrero Galván.

Hablar de Saúl es evocar inmediatamente su sonrisa franca y ese buen humor que nunca le abandonaba, ni siquiera en los momentos más complejos. Tenía una forma muy suya de ver la vida: inteligente, aguda, siempre acompañada de un comentario preciso, muchas veces cargado de ironía fina, de esas bromas que no buscan herir, sino iluminar el momento. Su sentido del humor no solo aligeraba el trabajo cotidiano, sino que construía puentes entre quienes tuvimos la fortuna de compartir con él.

Nuestra relación se fortaleció profundamente cuando conjuntamos esfuerzos para integrar el Laboratorio de Calidad de Agua y Acuicultura Experimental. Ese proyecto no solo consolidó una visión académica compartida, sino que nos permitió estrechar aún más nuestra amistad y formar, junto con otros colegas y estudiantes, un grupo de trabajo de alta calidad, comprometido con la ciencia y con la formación de nuevas generaciones. En ese espacio, Saúl dejó una huella clara: su rigor, su claridad de pensamiento y su manera siempre generosa de colaborar.

Era, además, un hombre de cultura vastísima. Conversar con Saúl era abrir una enciclopedia viva: lo mismo transitaba por la ciencia con rigor impecable, que por la historia, la literatura o la música con una naturalidad admirable. Esa amplitud de pensamiento se reflejaba en su quehacer científico, donde el método no era solo una herramienta, sino una convicción profunda. Su manejo del método científico era sólido, preciso, casi elegante; en él, la ciencia encontraba no solo exactitud, sino también claridad y sentido.

Pero hay otra dimensión de Saúl que siempre me acompañará: su amor por la música. Violinista por vocación y sensibilidad, encontraba en la música clásica un espacio de expresión que complementaba su vida académica. En ese equilibrio entre razón y emoción, entre ciencia y arte, se revelaba plenamente su humanidad.

En *LUCIDUM CIENCIA*, donde también se desempeñó como Editor Asociado, su presencia fue igualmente valiosa. Su mirada crítica, siempre constructiva, y su compromiso con la calidad de los contenidos contribuyeron de manera significativa a consolidar el proyecto editorial. Su participación fue reflejo de su convicción por una ciencia rigurosa, pero también accesible y profundamente humana.

Hoy su ausencia deja un vacío difícil de nombrar. Se va un gran científico, sí, pero también un espíritu generoso, un conversador brillante, un amigo leal.

Me quedo con su risa, con sus historias, con sus notas –científicas y musicales– resonando en la memoria.

*Hasta siempre, querido Saúl.*



**Dr. Saúl Rogelio Guerrero Galván**

**1964 - †2026**

*Su legado y su memoria vivirán siempre en nosotros*

Dr. Fernando Vega-Villasante

*Editor en Jefe*

# El langostino de río: retos y oportunidades en la acuicultura

Susana Alejandra Frías Gómez<sup>1</sup> y  
Luis Héctor Hernández Hernández<sup>2</sup>

**RESUMEN.** El langostino de río es un crustáceo que habita zonas tropicales de todo el mundo y destaca por su valor ecológico y potencial en la acuicultura sustentable. Pertenecen al género *Macrobrachium*, son organismos omnívoros, resistentes a enfermedades y dulceacuícolas, características que los hacen ideales para el cultivo en comunidades rurales. En México existen al menos 20 especies nativas, entre ellas *M. carcinus*, *M. americanum*, *M. tenellum* y *M. acanthurus*, y en su mayoría las poblaciones silvestres han disminuido por la sobrepesca, contaminación y pérdida de hábitat. Uno de los principales retos para su cultivo es la nutrición, ya que aún se desconocen sus requerimientos nutricionales en casi todas sus etapas de desarrollo. Investigaciones recientes buscan comprender su metabolismo y respuesta a diferentes ingredientes en su

alimentación mediante el estudio de enzimas digestivas y técnicas como la nutrigenómica, con el fin de formular alimentos balanceados, económicos y sostenibles. El cultivo de las especies nativas de langostino representa una alternativa viable para diversificar la acuicultura, generar empleo y preservar las poblaciones naturales, contribuyendo así a la seguridad alimentaria del país.

*Palabras clave:* *Macrobrachium*, nutrición, sustentabilidad, especies nativas, nutrigenómica.

## INTRODUCCIÓN

En todas las aguas cálidas y templadas del mundo, habita un pequeño crustáceo conocido como langostino, que reparte su vida entre el río y los estuarios salobres, realizando un

Recibido: 04/11/2025

Aceptado: 10/01/2026

Publicado: 22/01/2026

<sup>1</sup> Programa Investigadoras e Investigadores COMECYT. Laboratorio de Producción Acuícola, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Correo electrónico: s.frias92@iztacala.unam.mx

<sup>2</sup> Laboratorio de Producción Acuícola. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Correo electrónico: luish3@yahoo.com

viaje cíclico cuyo inicio está marcado por la temporada de lluvias y el aumento de las temperaturas. Su aspecto es poco común: los machos poseen pinzas coloridas y más largas que su propio cuerpo, su color traslúcido le confiere uno de sus nombres comunes «camarón cristal», por el cual es conocido entre las localidades ribereñas que lo pescan y consumen como parte de su cultura gastronómica.

Sin embargo, no es solo por su inusual ciclo de vida y el papel que desempeña dentro de los ecosistemas por su naturaleza detritívora, por lo que ha despertado el interés de la comunidad científica: también posee un increíble potencial como especie de cultivo para la acuicultura sustentable debido a su adaptabilidad, valor económico y aporte nutricional para el consumo humano.

## LOS LANGOSTINOS Y SU POTENCIAL EN LA ACUACULTURA

Los langostinos o camarones de río pertenecen al género *Macrobrachium*, el cual incluye más

de 200 especies y es el más diverso de la familia Palaemonidae, caracterizados por la forma de sus branquias, el tamaño de sus pinzas ubicadas en el segundo par de pereopodos (o patas «caminadoras») y por habitar en aguas dulces y/o salobres a diferencia de sus primos más cercanos, los camarones, que suelen encontrarse en aguas marinas. Otra característica biológica importante es que las hembras al desovar mantienen sus huevos pegados al abdomen (Figura 1) y las crías eclosionan en una etapa larvaria que puede extenderse desde algunas semanas a varios meses, dependiendo de la especie.

Los juveniles y adultos son dulceacuícolas, características claves para que el cultivo pueda desarrollarse en zonas ribereñas alejadas del mar. Además, son organismos omnívoros lo que les permite alimentarse de una gran variedad de ingredientes de origen animal y vegetal que otros organismos acuáticos no pueden aprovechar, como la harina de insectos y los subproductos de la industria alimenticia (como el bagazo cervecero y los hidrolizados

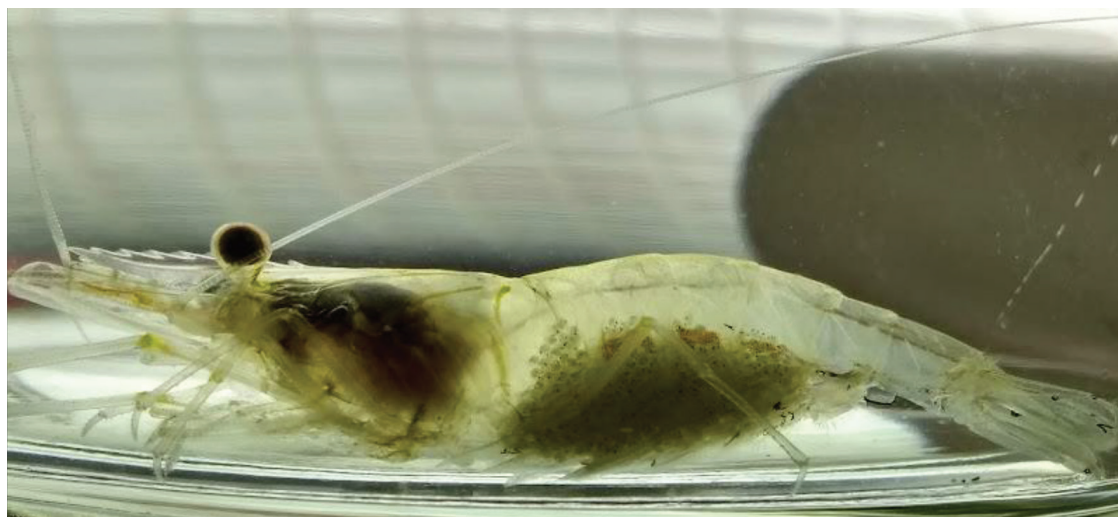


Figura 1. Hembra de langostino *M. acanthurus*. Los huevos se adhieren al abdomen donde se desarrollan los embriones hasta su eclosión.

de pescado y cabezas de camarón). Su tolerancia a una amplia variedad de condiciones acuáticas, como temperatura y calidad del agua, también lo hacen apto para sistemas acuáticos rurales y las especies nativas son resistentes a las enfermedades que suelen aquejar a otras especies de crustáceos como el camarón. También pueden cultivarse a la par con otras especies de peces y plantas acuáticas (policultivo), lo que representa un ingreso extra para los productores y contribuye a una acuicultura más sustentable. Por si todo esto fuera poco, su carne tiene un elevado contenido de proteína de alta calidad, lo que lo convierte en un excelente alimento en regiones donde los recursos y la infraestructura son limitados.

En nuestro país habitan al menos 20 especies de langostinos de río, entre las que destacan por su tamaño e importancia económica, la acamaya (*Macrobrachium carcinus*), cauque (*Macrobrachium americanum*), chacal (*Macrobrachium tenellum*) y el langostino prieto (*Macrobrachium acanthurus*). Este último tiene una amplia distribución a lo largo de la costa del Atlántico, que abarca desde Carolina del Norte, en EUA hasta Brasil. Presenta dimorfismo sexual: el macho se diferencia de la hembra por su mayor tamaño y por sus pinzas largas y coloridas (Figura 2). En México, se pesca principalmente en los estados de Veracruz y Tabasco. Sin embargo, debido a la sobre explotación, contaminación de su hábitat y construcción de presas que impiden su migración natural de los ríos a los estuarios para reproducirse, las poblaciones silvestres han disminuido críticamente hasta llegar a desaparecer en zonas donde anteriormente habitaba.

Es por ello, que el desarrollo de técnicas de producción sustentable no solo representa



Figura 2. Macho (derecha) y hembra (izquierda) de *M. acanthurus*.

una alternativa económica, sino también una herramienta para la conservación de los langostinos de río.

### ¿QUÉ COMEN LOS LANGOSTINOS? LA NUTRICIÓN COMO PIEZA CLAVE DEL CULTIVO

Aunque su potencial es grande, el cultivo del langostino enfrenta diversos desafíos. Uno de los más importantes es la nutrición. La fisiología digestiva de los langostinos que habitan en América ha sido poco estudiada y para poder diseñar alimentos balanceados que cumplan sus requerimientos es necesario comprender cómo metabolizan diferentes ingredientes y cuáles son sus requerimientos nutricionales.

En su hábitat, los langostinos se alimentan de restos orgánicos en el fondo de los ríos, de materia vegetal y también son depredadores de pequeños organismos. La versatilidad que poseen al alimentarse es una ventaja en la acuicultura ya que pueden procesar y apro-

vechar los nutrientes de una gran variedad de ingredientes, pero también representa un reto pues su dieta naturalmente variada dificulta estimar sus requerimientos nutricionales con precisión. Debido a que no se han realizado estudios suficientes para determinar estos requerimientos y, por lo tanto, no existen dietas comerciales para langostinos, tradicionalmente se les proporciona piensos para camarón que no cubren en su totalidad sus necesidades específicas. Un alimento mal balanceado afecta el crecimiento, la supervivencia, la reproducción y hasta el perfil nutricional de la carne.

Distintos grupos de investigación en México y América del Sur han empezado a abordar esta problemática en los últimos años al reconocer el potencial y la importancia de sus especies nativas. Los esfuerzos se han enfocado en estudiar su metabolismo digestivo, analizando diversos parámetros como la actividad de las enzimas digestivas, el crecimiento y la salud del sistema inmune –antioxidante con el fin de formular alimentos específicos para cada especie y etapa de desarrollo. Otras herramientas más avanzadas también se han utilizado, como la nutrigenómica, que analiza cómo cambia la expresión de genes clave para el metabolismo en función de los nutrientes que se proporcionan en el alimento, sustentando la afirmación de que «somos lo que comemos».

Gracias a estas investigaciones se ha visto que los langostinos pueden modificar las enzimas digestivas que producen para adaptarse a diferentes ingredientes y perfiles nutricionales. Por ejemplo, si se les proporcionan alimentos más ricos en proteína o carbohidratos, aumentarán la producción de proteasas o amilasas optimizando el aprovechamiento de los nutrientes disponibles. Al comprender los al-

cances y límites de esta adaptabilidad fisiológica, se pueden formular alimentos balanceados que promuevan su salud y crecimiento y que, al mismo tiempo, sean económicos y sustentables, reduciendo el uso de harinas de pescado y otros insumos costosos que normalmente se utilizan en la acuicultura.

A pesar de los avances logrados, aún se desconocen aspectos clave como los requerimientos nutricionales en la etapa larvaria y qué tipo de ingredientes (vegetal, marino o de insecto) pueden aprovechar mejor. Estas brechas en el conocimiento han dificultado la implementación de cultivos exitosos de langostinos de río nativos.

## CONCLUSIÓN: EL FUTURO DEL LANGOSTINO

El objetivo de los investigadores que trabajan con los langostinos de río nativos es desarrollar técnicas que permitan establecer cultivos exitosos de estas especies, ofreciendo una alternativa a la pesca tradicional sin afectar a las poblaciones silvestres que se ven amenazadas.

Otras ventajas del cultivo incluyen la oportunidad de diversificar la acuicultura mexicana, la generación de empleo en comunidades rurales y fortalecer la seguridad alimentaria de sectores económicamente vulnerables de la población. Además, al ser especies nativas, su producción representa un menor impacto ambiental que la introducción de especies exóticas, como el langostino gigante malayo (*Macrobrachium rosenbergii*) que fue introducido al país en la década de los 80 sin mucho éxito debido a la costosa infraestructura que requería su cultivo y a la dificultad que tuvo para adaptarse a las condiciones climáticas locales.

Esta experiencia permitió orientar los esfuerzos actuales en el aprovechamiento sustentable de nuestras especies nativas, que están mejor adaptadas a las condiciones regionales y que poseen un gran potencial productivo. Cada avance, por pequeño que parezca (ya sea en nutrición o en el conocimiento de su biología y fisiología) contribuye a la meta de desarrollar el cultivo de los langostinos y aprovechar nuestros recursos pesqueros garantizando el futuro alimenticio del país.

## LITERATURA RELEVANTE

- Chong-Carrillo, O., Vega-Villasante, F., Arencibia-Jorge, R., Akintola, S. L., Michán-Aguirre, L. y Cupul-Magaña, F. G. (2017). Research on the river shrimps of the genus *Macrobrachium* (Bate, 1868) (Decapoda: Caridea: Palaemonidae) with known or potential economic importance: strengths and weaknesses shown through scientometrics. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 43(4), 684-690.
- Frías-Gómez, S. A., Powell, M. S., Hernández Hernández, L. H. y Fernández-Araiza, M. A. (2025). Expression of lipid, carbohydrate, and antioxidant metabolism-related genes in juveniles of cinnamon freshwater prawn *Macrobrachium acanthurus*, fed diets with different levels of protein, lipids, and carbohydrates. *Aquaculture International*, 33(4), 308.
- García-Guerrero, M. U., Becerril-Morales, F., Vega-Villasante, F. y Espinosa-Chaurand, L. D. (2013). Los langostinos del género *Macrobrachium* con importancia económica y pesquera en América Latina: conocimiento actual, rol ecológico y conservación. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 41(4), 651-675.
- Hernández-Hernández, L. H., Powell, M. S., Gómez, S. A. F., Jacinto, E. C. y Villasante, F. V. (2024). Scientific knowledge of the Cinnamon River prawn *Macrobrachium acanthurus* and future perspectives for aquaculture. *Aquaculture International*, 32(7), 10215-10230.
- Lorán-Núñez, R. M. 2013. Aspectos poblacionales del langostino *Macrobrachium acanthurus* (Wiegman, 1836) en algunos lugares de la cuenca baja del río Papaloapan, Veracruz, México [tesis de maestría, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México]. México.

# William Munny y el Chapulín: ¿héroes o antihéroes?

Fabio G. Cupul-Magaña

**RESUMEN.** Los héroes encarnan sacrificio y bien común, mientras que los antihéroes, como William Munny o el Chapulín Colorado, reflejan defectos y valores alternativos, más cercanos a la realidad humana. Ambos personajes pueden generar empatía y admiración según el contexto cultural y social. Así, es posible demostrar que los conceptos de heroísmo y antiheroísmo son dinámicos y pueden transformarse con el tiempo. En este breve manuscrito, se realizan comentarios generales sobre las características de los héroes y los antihéroes.

*Palabras clave:* empatía, literatura, personaje, sociedad, *Unforgiven*.

## HÉROE POR NATURALEZA

El héroe es quien, de manera abnegada, realiza una gesta, una aventura o una batalla, en pro de un bien mayor y de manera (en principio)

desinteresada. Seguramente hemos leído que tal o cual persona, animal o institución son calificadas como héroes por sus virtudes o por sus acciones heroicas. Así, actualmente resulta familiar escuchar que se designa a los miembros de los servicios de salud del mundo como héroes; también, no dudamos del merecimiento de esta misma designación para Frida, la cántida rescatista, o para el reconocido y querido H. Cuerpo de Bomberos de cualquier localidad del mundo.

Tal vez, en algún momento de nuestras vidas, hemos sido héroes o anhelamos alcanzar ese nombramiento simplemente para sentirnos bien por el hecho de ayudar a otros. De hecho, se ha podido demostrar que la inclinación de asistir a un extraño surge en los humanos de manera espontánea y a muy temprana edad. Así, los bebés de apenas 18 meses de nacidos son capaces de apreciar cuándo un adulto necesita ayuda para alcanzar un objeto que

Recibido: 11/11/2025

Aceptado: 12/01/2026

Publicado: 22/01/2026

Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. fabio.cupul@academicos.udg.mx

se le ha caído, y se lo alcanzan. Sin embargo, cuando el adulto tira intencionalmente el objeto al suelo, los bebés no se lo alcanzan.

Parece que somos proclives a ser héroes por naturaleza, tanto que cuando escuchamos «Heroes» del desaparecido músico y compositor británico David Bowie (1947-2016), nos sentimos colmados de optimismo, a pesar que la esencia original de la canción es la historia de unos alcohólicos. Sin embargo, el mismo Bowie comentó alguna vez que «el único acto heroico de verdad consiste en disfrutar del simple placer de estar vivo un día más».

## ANTIHERO

Pero, a pesar de que contamos con esta estimada virtud innata, somos atraídos (experimentamos empatía) por tomar como modelos ejemplares a los antihéroes, quienes, al ser manifestaciones de lo negativo en la sociedad, todo les está permitido. Además, representan todo aquello que está ausente en los héroes. Para ellos, su primera preocupación es su propia persona y obsesiones. De hecho, en algunos casos es percibido como una especie de héroe moderno por su cercanía al ser humano de carne y hueso en contraposición a ese ideal que el héroe clásico transmite: sacrificio de lo individual en beneficio de lo universal, lo ético, el bien público.

### William Munny

Así, un antihéroe cinematográfico es William Munny, protagonista de la película *Unforgiven* (1992), quien, de ser un ladrón, vicioso por la bebida, agresivo y homicida, se transforma para bien al conocer a su futura esposa. Al morir su pareja de viruela, se dedicó a sus hijos y

a su granja, pero no resultó ser diestro en los quehaceres de esta última. Su mundo son los hijos y el melancólico recuerdo de su esposa; además, solo tiene un amigo. William es viejo y pobre, por lo que no aparenta ser el sanguinario que fue. Es seducido por una recompensa para darles una mejor vida a sus hijos, aunque es vulnerable al no montar a caballo y disparar como antes.

Además, William es un tipo deprimido que constantemente revive sus traumas. Tiene luchas internas por volver a ser quien era o seguir siendo quien es ahora. Su cambio para bien lo hace dudar constantemente sobre los asesinatos que cometerá, pero es la única manera posible para cobrar la recompensa, en favor de la prostituta que fue agredida por unos vaqueros. Aunque mata a sus víctimas, siente compasión por ellas. No es feliz, es una persona completamente triste y cada acción que realiza no remedia su sentir. El hecho de volver a matar se le hace muy problemático, pues ha envejecido de mala manera y su naturaleza es otra.

### El Chapulín

Asimismo, un querido antihéroe de la televisión latinoamericana es el Chapulín Colorado, dado sus rasgos nada heroicos de poca inteligencia, torpeza (lo más destacable de su personalidad) y cobardía. Este personaje es feo, pequeño y desgarbado. Su atuendo, recodifica el del famoso superhéroe norteamericano: mallas o leotardos de color rojo, trusa de baño amarilla, tenis de colores rojo y amarillo, capucha con un par de antenas de chapulín y un corazón amarillo en el pecho con las letras CH en color rojo, fuerte evidencia que su vestimenta es casi, de alguna manera, una burla a la de Superman.



Figura 1. Imagen generada con la IA ChatGPT.

La personalidad de El Chapulín, es opuesta a la del héroe tradicional, por sus defectos que lo acercan más a la manera de ser de un hombre ordinario (además de ser extraño y forastero de su realidad). A la vez, provoca nuestra simpatía por ser noble, bondadoso y moral: «Más rápido que una tortuga, más fuerte que un ratón, más noble que una lechuga, su escudo es un corazón». Es un antihéroe que dedica su vida a hacer el bien.

## PERSONAJE CAMBIANTE

Pero, desde el punto de vista literario, lo expresado anteriormente, la negación de las cualidades de héroe por parte del antihéroe es solo una de las posibles interpretaciones de lo que este último puede ser. Así, el héroe puede encarnar sin duda unos valores y el antihéroe no; luego, este último técnicamente llega a ser

un no-héroe con relación a tales valores patrón (es decir, a los de héroe), pero en absoluto esta circunstancia lo convierte en un malvado o en un bufón despreciable sino tan solo en un personaje que se rige por valores alternativos. Por lo que, tanto los conceptos de héroe como de antihéroe han llegado a considerarse como dinámicos, pues cambian con el paso del tiempo y se ajustan a las circunstancias prevalecientes de la sociedad. Nada impide que el héroe se transforme en antihéroe o viceversa.

## LITERATURA RELEVANTE

- Cohen, S. (2012). La picaresca y la manifestación del pícaro, anti héroe y súper anti héroe. *Neophilologus*, 96, 553-563.
- González-Escribano, J. L. (1981). Sobre los conceptos de héroe y antihéroe en la Teoría de la Literatura. *Archivum*, (31-32), 365-408.

- González-Sánchez, J. F. (2011). Héroes, antihéroes y villanos en el Western español. *Razón y Palabra*, 78. Consultado el 1 de noviembre de 2025. [www.redalyc.org/pdf/1995/199524192002.pdf](http://www.redalyc.org/pdf/1995/199524192002.pdf)
- Gómez-Valdez, L. I. (2018). *Arquetipo del anti-héroe y su representación en el relato cinematográfico en películas de la década del 90 con taquillas superiores a 100 millones de dólares* [tesis doctoral, Universidad de Sevilla]. España.
- Grand, D. (2019). Cómo Bowie convirtió una canción sobre alcohólicos en un himno a la esperanza. Consultado el 8 de noviembre de 2025. <https://www.revistavanitair.es/poder/articulos/david-bowie-heroes-historia-de-una-cancion-sobre-alcoholismo/23318>
- Quiceno-Vélez, A. M. (2010). *De Barthes al Chapulín Colorado. Una lectura de los héroes y antihéroes como configuraciones míticas* [tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Colombia.
- Rodríguez-Palacios, D. (2019). *Estética y ética de la ilustración de fantasía. Monstruos, universos, héroes y antihéroes* [tesis doctoral, Universidad de Vigo]. España.
- Silva-Lee, A. (2011). *La selva interna*. Editorial Científico-Técnica.

## Hablando de grillos, cucarachas y hormigas: ¿platillos gourmet para la acuicultura?

Yajaira Cabrera-Madrigal<sup>1</sup>, Uriel Rodríguez-Estrada<sup>1,2,3</sup>,  
Gloria Gertrudys Asencio-Alcudia<sup>1,3</sup>, Carlos Alfonso Álvarez-González<sup>1,3</sup>  
y Rafael Martínez-García<sup>1,3</sup>

**RESUMEN.** En el presente artículo hablaremos sobre la importancia y el potencial que tienen algunos tipos de insectos (asequibles a nivel nacional) como fuentes de proteína para dietas acuícolas. Este artículo se ha dividido en tres secciones. En la primera, hablaremos sobre los grillos, en específico del grillo doméstico (*Acheta domestica*), como alimento no solamente para la nutrición humana, sino también para la alimentación animal. En la segunda, hablaremos de cómo la cucaracha dubia (*Blaptica dubia*) y sus perfiles nutricionales

la hacen un ingrediente con alto potencial para dietas acuícolas. Finalmente, nos abocaremos a analizar la importancia en la culinaria mexicana y el potencial que tienen las hormigas chicanas (*Atta cephalotes*) en dietas para peces de cultivo. Esperamos que nuestros lectores disfruten este interesante artículo, sobre todo, porque el uso de harinas de insectos, es una alternativa promisorio para la sostenibilidad acuícola del futuro inmediato.

*Palabras clave:* alimento alternativo, proteína, insectos, artrópodos, peces.

<sup>1</sup> Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol), Laboratorio de Fisiología de Recursos Acuáticos (LAFIRA).

<sup>2</sup> Secretaría de Ciencias, Humanidades, Innovación y Tecnología (SECIH-TI)-IIxM.

<sup>3</sup> Cuerpo Académico de Innovación y Tecnología de Recursos Acuáticos (CITRA). Uriel Rodríguez-Estrada: rodriguez\_estrada\_uriel@yahoo.com; Yajaira Cabrera-Madrigal: 211G22145@alumno.ujat.mx; Asencio-Alcudia Gloria Gertrudys: yoya\_asencio@live.com.mx; Carlos Alfonso Álvarez-González: alvarez\_alfonso@hotmail.com; Rafael Martínez-García: biologomartinez@hotmail.com

Recibido: 10/01/2026

Aceptado: 26/01/2026

Publicado: 29/01/2026

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, ha surgido la necesidad inminente de utilizar fuentes proteínicas alternativas a las harinas tradicionalmente usadas –harina de pescado y harina de soya– para la formulación y manufactura de dietas acuícolas. Innumerables estudios han explorado otras fuentes nutricionales compatibles con las harinas *per se* utilizadas en las formulaciones para organismos acuáticos. Harinas vegetales, unicelulares, subproductos provenientes de la agroindustria han sido intensamente explorados. Sin embargo, en años recientes, hay un grupo que ha comenzado a llamar la atención de la academia y la industria alrededor del mundo y estamos hablando de las harinas de insectos.

Los insectos son animales invertebrados que se caracterizan por tener patas o miembros articulados. Pertenecen al grupo de los artrópodos, el más numeroso y diverso que existe. Hay más de un millón de especies descritas; sin embargo, se estima que existen alrededor de 10 millones de especies aún por descubrir. México se encuentra entre los 5 países con mayor diversidad de insectos, junto con Brasil, Indonesia, Colombia y Perú. Nuestro país cuenta con un aproximado de 47,853 especies descritas. Los insectos son potenciales ingredientes para dietas en la acuicultura, ya que son fuentes ricas en proteínas, grasas, aminoácidos, ácidos grasos, vitaminas y minerales. Esto, sin mencionar que los insectos forman parte de la dieta natural de peces omnívoros y carnívoros. La importancia del uso de harinas de insectos en dietas acuícolas, favorece la integración entre la acuicultura y la sostenibilidad. A nivel mundial, se ha explo-

rado intensamente el uso de ciertas especies de insectos (tenebrios, mosca soldado, entre otros) como ingredientes de dietas acuícolas. En países con economías similares a la nuestra, se han investigado especies disponibles a nivel nacional, ya sea *per sé* en la naturaleza o cultivos. Entre los que tenemos, el grillo doméstico (*Acheta domestica*), la cucaracha dubia (*Blattella dubia*) y la chicatana (*Atta cephalotes*).

## EL GRILLO DOMÉSTICO

El grillo doméstico, destaca por su alto contenido de proteína y micronutrientes. Para el consumo humano, la forma más común de comerlo es frito con limón y chile o como harina seca incorporada en productos cotidianos. El grillo doméstico supera el contenido proteico de carnes tradicionales como la res o el pollo, las cuales poseen entre un 18 y un 25%. Este tipo de insectos tiene diversos beneficios nutricionales y para la salud: son de fácil digestión, contienen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antidiabéticas. La harina de grillo doméstico es un alimento nutritivo y sostenible que, actualmente, se produce (para consumo humano) a nivel industrial en



Figura 1. La harina de grillo, es una rica fuente de proteína. Fuente: Uriel Rodríguez-Estrada, PhD (archivo personal).

el centro del país. Sin embargo, en el caso de la nutrición de animales cultivados (acuáticos), es escasa. Se ha demostrado que la harina de grillo doméstico posee entre un 55 y un 70% de proteína. Contiene, además, todos los aminoácidos esenciales que son necesarios para el crecimiento y el desarrollo de los peces. Contiene también ácidos grasos como los omega-3 y omega-6. La harina de grillo es rica en minerales (calcio, fósforo, potasio y magnesio) esenciales para el desarrollo de los peces. Podemos decir entonces que la producción y el consumo de este tipo de harina es más sostenible que aquel de proteínas animales tradicionales debido a que requiere menos agua y tierra (para su producción en masa). La producción semiindustrial e industrial de grillo doméstico, también es una alternativa más económica y genera menos gases de efecto invernadero, así como menos residuos (subproductos agroindustriales).

Es de esta forma, que el uso de la harina de grillo doméstico (*Acheta domestica*) como ingrediente para dietas acuícolas es una de las áreas más prometedoras en la búsqueda de fuentes de proteína sostenibles para reemplazar la harina de pescado y la harina de soya. En investigaciones previas, se ha mostrado resultados muy positivos en cuanto a las dietas formuladas con harina de grillo, en una variedad de especies acuícolas: en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), se han logrado sustituciones desde un 25 hasta un 50% de la harina de pescado con harina de grillo. Lo anterior demuestra que se puede obtener un crecimiento similar o incluso mejorado de las truchas, incluyendo una alta palatabilidad y sin efectos negativos en la salud. En la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), la suplemen-

tación con harina de grillo en dietas ha demostrado ser un excelente reemplazo, con buenos resultados en el crecimiento y la utilización del alimento. Mientras que en el salmón del Atlántico (*Salmo salar*), a pesar de que la harina de grillo no compromete el desempeño de esta especie acuícola, el reto es lograr niveles de sustitución muy altos sin afectar el perfil de ácidos grasos omega-3 (EPA y DHA). En especies como los camarones peneidos, la harina de grillo ha demostrado ser un atrayente eficaz y una buena fuente de proteína.

## LA CUCARACHA DUBIA

Las cucarachas, históricamente, han sido ampliamente usadas para consumo humano en países asiáticos. En países como China, están siendo investigadas, como fuente de proteína para peces de cultivo. En nuestro país, las cucarachas del género *Blaberidae*, están siendo cultivadas para fines de alimentación de mascotas. La cucaracha dubia, *Blaptica dubia*, es una de ellas. Esta especie es también conocida como cucaracha naranja o cucaracha manchada. Es una cucaracha grande que puede llegar a medir 45 cm de longitud. Son especies dimórficas sexualmente. No es una cucaracha «común» como las que infestan las casas, sino que se trata de una especie criada específicamente en granjas de insectos. La cucaracha dubia posee altos valores de proteína (45-60%) en peso seco e incluso puede llegar a más de 70% (dependiendo de la dieta). Tiene, por lo tanto, un perfil de aminoácidos esenciales muy completo y equilibrado. Lo que la convierte en una proteína de alta calidad para peces y camarones. Respecto a los lípidos, contiene grandes cantidades de estos (20 -25%). Por lo tanto, se

puede decir que esta especie es una muy buena fuente de energía para nuestros peces.

Respecto a su cultivo, la cucaracha dubia, tiene una eficiente tasa de conversión del alimento (FCR). Por lo que es extremadamente eficiente, convirtiendo una pequeña cantidad de desperdicios (alimento) en mucha biomasa. La cucaracha dubia es ovovivípara (lo que facilita su reproducción en cautiverio) y asegura su rápido crecimiento en colonia. Esta especie necesita muy poco espacio para su cultivo, poca agua y es relativamente fácil de mantener en condiciones controladas. Esta especie, presenta otras ventajas. Por ejemplo, no es trepadora ni voladora. Porque no necesita protecciones extras durante su producción. Una de las principales ventajas ecológicas de la cucaracha dubia es que, a diferencia de las cucarachas domésticas, no es una especie invasora.

La cucaracha dubia es una de las especies más estudiadas y utilizadas en la producción de harina de insectos para acuicultura. Los estudios donde se ha reemplazado harina de pescado por harina de dubia, han arrojado resultados muy positivos en especies como la tilapia. Donde se ha demostrado que se puede reemplazar hasta el 100% de la harina de pescado con harina de *Blaptica dubia* sin efectos negativos en el crecimiento y, en algunos casos, incluso mejorando parámetros inmunológicos. La harina derivada de esta especie de cucaracha también ha demostrado cierto potencial como ingrediente para piensos de especies carnívoras como la trucha arcoíris y otros salmónidos. En donde, por la naturaleza alimenticia de estas, los niveles de reemplazo son más bajos (generalmente entre 25% y 50%), pero igualmente efectivos. En estos casos, la principal limitante es el perfil de ácidos grasos,

que debe ser suplido con aceite de pescado o fuentes alternativas de omega-3. La cucaracha dubia, también ha sido utilizada para alimentar camarones con resultados alentadores, por lo que es una especie de alta producción ampliamente utilizada por su perfil nutricional, su docilidad para la cría en cautiverio y su capacidad para reciclar desechos orgánicos la convierten en una de las especies candidatas principales para liderar la revolución de los ingredientes a base de insectos en la acuicultura sostenible. Es una especie con un enorme potencial para cerrar el ciclo de nutrientes y



Figura 2. El cultivo masivo de cucaracha, no requiere grandes espacios ni una gran inversión. Fuente: Uriel Rodríguez-Estrada, PhD (archivo personal).

reducir la presión sobre los océanos, siempre y cuando se críe bajo los más estrictos estándares de seguridad y calidad.

## LA HORMIGA CHICATANA: SU VALOR CULTURAL Y ALIMENTICIO

Las hormigas están distribuidas en todo el mundo. Es un grupo de insectos fascinante y abundante en casi todos los ecosistemas del planeta. Por su importancia nutricional, cultural, ecológica y económica en el sureste mexicano, en este texto, nos abocaremos a estudiar a las hormigas aladas llamadas chicatanas, científicamente conocidas como *Atta cephalotes*. El término Chicatana proviene del náhuatl y se usa predominantemente en el sur de México (especialmente en Oaxaca, Chiapas, y Veracruz) para referirse a las reinas de hormigas cortadoras de hojas que salen en enjambres durante la temporada de lluvias. Más que una especie, es una etapa de vida. Estas son hormigas grandes, robustas y con alas. Una vez que se aparean, la reina pierde sus alas y se convierte en la fundadora de un nuevo hormiguero. Salen en grandes enjambres, casi siempre después de las primeras lluvias fuertes de la temporada (mayo-junio en México), siendo un espectáculo natural impresionante. Las chicatanas son muy apreciadas como alimento para humanos. Se recolectan, se tuestan y se usan para hacer salsas, moles o se comen enteras como botana. Tienen un sabor único, ahumado, grasoso y ligeramente picante. Son una fuente importante de proteínas y una tradición gastronómica centenaria. Las chicatanas se distribuyen, desde el sur de México hasta Brasil. Presentan un polimorfismo externo. Las más pequeñas cuidan el jardín de hongos,

las medianas cortan y transportan hojas, y las soldados, con sus enormes cabezas, defienden la colonia. Estas hormigas, no comen las hojas directamente. Las cortan y las llevan a su nido para usarlas como sustrato y cultivar un hongo específico, que es su verdadera fuente de alimento. Este es un ejemplo clásico de simbiosis. Un hormiguero de *Atta cephalotes* puede albergar millones de individuos y extenderse por decenas de metros cúbicos bajo tierra. Tienen una división del trabajo muy estricta entre la reina, las obreras (de distintos tamaños) y los machos reproductores.

Los contenidos nutricionales de las chicatanas varían mucho entre las castas (es decir, si son obreras o reinas). Las chicatanas secas



**Figura 3.** Las hormigas chicatanas, representan una rica fuente de proteína para consumo humano y también para consumo animal.

Fuente: Uriel Rodríguez-Estrada, PhD (archivo personal).

son un alimento muy rico en proteínas y grasas (lípidos) con un bajo contenido de carbohidratos. Se ha reportado que tienen un valor de entre 40 y 60% de proteína, 30-45% de grasas, 450-600 kcal de energía, 5-10 g de carbohidratos, 5-15% de fibra (quitina) y de 5-10% de cenizas (incluyendo minerales, tales como hierro, zinc, calcio, magnesio, potasio y fósforo). Las chicatanas, además, contienen vitaminas liposolubles (vitaminas E y A) y vitaminas hidrosolubles (riboflavina, ácido pantoténico, ácido fólico y cobalamina). Estudios previos también han revelado que las chicatanas contienen ciertos compuestos bioactivos con actividad antimicrobiana y antioxidante.

A la fecha, no se conocen estudios que utilicen harina de chicatanas como ingrediente en alimentos formulados para la alimentación animal (terrestres o acuáticos). Sin embargo, dados sus contenidos nutricionales, hacen de la harina de chicatanas, un potencial ingrediente para dietas acuícolas formuladas, como reemplazo de harina de soya o pescado.

## ESTUDIOS ACTUALES EN LA UJAT-DACBioI-LAFIRA

Actualmente, en las instalaciones de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco [UJAT], División Académica de Ciencias Biológicas [DACBioI], Laboratorio de Fisiología de Recursos Acuáticos [LAFIRA], se están llevando a cabo una serie de estudios utilizando diferentes harinas de insectos (grillo doméstico, cucaracha dubia y chicatana), reemplazando harina de pescado o harina de soya en dietas para dos de las especies de mayor importancia económica en el estado de Tabasco: tilapia (*Oreochromis niloticus*) y pejelagarto (*Atrac-*



**Figura 4.** Bioensayo con harina de grillo, cucaracha y hormiga, como sustituto de harina de soya, ha sido conducido en LAFIRA (Laboratorio de Fisiología de Recursos Acuáticos), DACBioI (División Académica de Ciencias Biológicas), UJAT (Universidad Juárez Autónoma de Tabasco). Fuente: Uriel Rodríguez-Estrada, PhD (archivo personal).

*osteus tropicus*). Los resultados han revelado información alentadora respecto a crecimiento, eficiencia del alimento, utilización de la proteína, supervivencia, parámetros somáticos, actividades enzimáticas (digestivas y antioxidantes) e integridad intestinal.

## CONCLUSIONES

A pesar de que, a nivel mundial, ciertas especies de insectos (mosca soldado, tenebrios, mosca doméstica) han sido ampliamente estudiadas para su utilización como ingredientes en dietas acuícolas, en nuestro país, ciertas especies de insectos (como el grillo doméstico, la cucaracha dubia y la hormiga chicatana) poseen gran potencial para la acuicultura. Ya que, como se ha visto en el presente artículo,

son una excelente alternativa para lograr una acuicultura circular (mediante la gestión de residuos orgánicos con la producción de proteína de alta calidad), para mejorar la resiliencia (mediante la reducción de la dependencia de ingredientes volátiles como la harina de pescado y la harina de soya), y para optimizar la salud acuícola (mediante el aprovechamiento de los beneficios funcionales, como la quitina y los compuestos bioactivos presentes en las harinas de insectos).

El presente trabajo, forma parte de un estudio de tesis de pregrado, de la División Académica de Ciencias Biológicas [DACBiol], Universidad Juárez Autónoma de Tabasco [UJAT] y del proyecto 311 (Fortalecimiento de la línea de investigación de fisiología digestiva y nutrición en peces) del SECIHTI (Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación), Programa IIXM (Investigadores e Investigadoras por México).

## LITERATURA RELEVANTE

- Avendaño, C., Sánchez, M. y Valenzuela, C. (2020). Insectos: ¿Son realmente una alternativa para la alimentación de animales y humanos? *Revista Chilena de Nutrición*, 47(6), 1029-1038. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182020000601029>
- Dena-Dos Santos, L. (2025). Harina de insectos para alimentación sostenible en acuicultura. *All Aquaculture Magazine*. <https://www.allaquaculture.com/entrada/harina-de-insectos-para-alimentacion-sostenible-en-acuicultura--55437>
- Marín, L. (2025). Proteínas alternativas para un futuro sostenible: el papel de los grillos y las *soldier fly* en la seguridad alimentaria global. *Panorama Acuícola*. <https://panoramaacuicola.com/2025/01/29/proteinas-alternativas-para-un-futuro-sostenible-el-papel-de-los-grillos-y-las-soldier-fly-en-la-seguridad-alimentaria-global/>
- Melechón, F., De Mercado, E., Pula, H. J., Cardenete, G., Barroso, F. G., Fabrikov, D., Lourenço, H. M., Pessoa, M., Lagos, L., Weththasinghe, P., Cortés, M. y Tomás-Almenar, C. (2022). Fishmeal Dietary Replacement Up to 50%: A Comparative Study of Two Insect Meals for Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animals*, 12(2), 179. <https://doi.org/10.3390/ani12020179>
- Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., Kierończyk, B. y Józefiak, A. (2018). Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1080-1103. <https://doi.org/10.1111/raq.12281>

## Pájaros, *Homo sapiens*... y la paradoja de las «especies»

Alfonso Silva Lee

**RESUMEN.** El artículo propone un recorrido divulgativo por la historia evolutiva de las aves y de los seres humanos para cuestionar una de las nociones más arraigadas en la biología: el concepto de «especie». A partir del origen del vuelo y de la transición de dinosaurios plumados a aves modernas, se muestra cómo características hoy familiares –como las plumas, las alas o el dominio del aire– surgieron de manera gradual y, en muchos casos, con funciones distintas a las actuales. De forma paralela, se explora la evolución del ser humano como el resultado de una larga sucesión de innovaciones heredadas de múltiples antepasados: peces, anfibios, reptiles, mamíferos y primates. El crecimiento del cerebro, el bipedismo, la reducción del pelo corporal y la presencia de rasgos vestigiales se presentan como huellas vivas de ese pasado profundo, aún reconocible en nuestra anatomía y en el desarrollo embrionario. El eje central del texto plantea que las

«especies» no son entidades fijas ni claramente delimitadas en la naturaleza, sino construcciones humanas útiles pero artificiales. Lejos de ser categorías estáticas, los organismos forman parte de un continuo evolutivo dinámico que se extiende sin rupturas desde el último ancestro común universal hasta la biodiversidad actual. El artículo invita así a comprender la evolución como un proceso permanente de cambio, en el que la aparente claridad de las clasificaciones contrasta con la complejidad y fluidez de la vida.

*Palabras clave:* evolución, aves, ser humano, dinosaurios, origen del vuelo, rasgos vestigiales, diversidad biológica.

### LAS AVES NO INVENTARON EL VUELO

A ellas se les anticiparon los insectos..., y los enormes y ya extintos pterosaurios. Pero hoy ellas son quienes más color, dinamismo y en-

Recibido: 10/11/2025

Aceptado: 15/01/2026

Publicado: 05/02/2026

Alfonso Silva Lee. La Habana, 1945. Master of Sciences, biólogo-zoólogo (ictiología), 1970, Universidad Estatal de Moscú (Lomonosov). Autor o coautor de libros y numerosos artículos científicos. [alfonsosl45@gmail.com](mailto:alfonsosl45@gmail.com)



Figura 1. Imagen generada con la IA ChatGPT.

canto le ponen a los escenarios terrestres... y quienes más envidia nos han dado. Han dado tanta envidia, que fueron el modelo para fantasear decenas de poderosas figuras volantes: el Ruc, Garuda, los dragones, el basilisco, las hadas, los grifos, Pegaso..., más los djinn (o genios) de la mitología árabe... y los ángeles de las mitologías islámica y cristiana.

Las aves sobrevuelan todos los paisajes, ya sean el océano abierto, los desiertos, o los picos de Los Andes. Aun a quienes no miran mucho en dirección al cielo y las nubes, el canario en su jaula y la gallina en el arroz les recuerdan repetidamente la existencia de estos vertebrados. Es difícil imaginar que pudieran no existir. Sin embargo, durante más del 99% de su historia, nuestro planeta viajó por el espacio sin pájaros. Su actual universalidad, así como el dominio del vuelo de cada cuervo, cotorra

y colibrí, deberían ser motivo de constante asombro. Nosotros no podemos volar.

### QUIÉNES FUERON LOS PRECURSORES DE LAS AVES

Numerosos fósiles encontrados en los últimos decenios muestran por las claras que el comienzo de la pajaridad estuvo plagado de dinosaurios con unas pocas características de aves. No sabemos –y quizás nunca podremos esclarecer con precisión– cuál de las criaturas dio lugar al linaje de las aves. Aquellas primas y hermanas vistieron plumas..., y las de las extremidades eran particularmente largas. El esqueleto y la pobre musculatura de sus protoalas sugieren que fueron incapaces de batirlas..., pero debieron haber sido, cuanto menos, excelentes planeadoras.

Uno de aquellos seres con características intermedias fue *Microraptor*, cuyo fósil, de ciento veinte millones de años de antigüedad, fue encontrado en China. De encontrarlo hoy posado en un árbol, diríamos que se trata de un cuervo de plumaje muy estrafalario. A pesar de su pinta de ave, *Microraptor* tenía mucho de dinosaurio. Si hubiéramos alcanzado a tenerlo en la mano, hubiéramos notado que su larguísima cola no se debía a plumas extralargas, sino a un látigo como el de los lagartos, compuesto por vértebras más y más chicas; y que por el borde de sus mandíbulas tenía dientes curvos y puntiagudos.

Dije «cuervo», porque un estudio de las marcas dejadas en las rocas por sus plumas con un modernísimo microscopio electrónico permitió definir que su traje era, al igual que el de los cuervos, negro... y capaz de emitir reflejos tornasolados.

Otros fósiles, encontrados en Europa y Asia, indican que el linaje de los dinosaurios plumados poco a poco dio lugar a criaturas más diestras en el arte de moverse por el aire. Se ha conocido, además, que la versión original de las plumas –delgadas y débiles– había sido desarrollada por ancestros aun más antiguos, y no para volar, pues aquellas criaturas poseían cuatro patas muy ordinarias... y algunas eran monumentales. La conclusión es que las plumas surgieron para retener el calor del cuerpo y protegerlos del frío... y solo después fueron modificadas –estiradas, ensanchadas, reforzadas– a fin de volar.

El vuelo ofrece inmensos beneficios: permite desaparecer al instante del campo visual de un carnívoro; atrapar insectos voladores y, en las aguas superficiales, peces; alimentarse en una región y reproducirse en otra muy

distante. Las alas contribuyen a mantener el balance al saltar de una rama a otra, permiten cruzar el cielo a velocidades prodigiosas, planear durante horas y horas, atravesar mares y océanos, sostenerse en el aire frente a una flor... y hasta encantar a una novia potencial. Más adelante, el beneficio de alcanzar peces dentro del agua hizo que las alas de ciertas aves fueran acortadas y endurecidas hasta transformarlas en aletas; y, a ellas mismas, en seres casi por entero marinos, incapaces de volar: los pingüinos.

Una característica de los reptiles que ha sido retenida por la totalidad de las aves es evidente en su exterior: la piel de las patas. Pocas personas soportan ver en una sopa las patas de una gallina, y el motivo es que resultan una contradicción flagrante: parecen pertenecer a un lagarto.

El plan básico de los huesos del ala aviar es idéntico al de las patas delanteras de su antepasado reptil; y el de sus tripas, esqueleto, musculatura y sistema nervioso resultó de modificaciones al plan básico de un tatarabuelo de cuatro patas y colilargo, cuya gruesa piel aparentaba ser escamuda. Las encantadoras



Figura 2. Imagen generada con la IA ChatGPT.

plumas de las aves derivaron de alteraciones que la evolución logró hacer en aquella piel. Los canarios, colibríes y cacatúas son agentes encubiertos de los reptiles, descendientes de uno que desarrolló un pico y se volvió apto para el vuelo..., y que eventualmente produjo criaturas propensas a dar voces y serenatas. Las aves no son dinosaurioides, sino auténticos dinosaurios. ¿Puede haber algo más pasmoso que eso?

### QUIÉNES NOS PRECEDIERON

Si el vuelo de las aves nos resulta tan habitual como para no despertar el deseo de admirarlas en profundidad, más aún lo son nuestra propia anatomía y habilidades. No obstante lo natural y vulgares que resulten ser nuestros atributos, es importante saber que cada uno fue, en su época inaugural, una novedad sin par. Las

ventajas de aquellas innovaciones permitieron que pasaran de una generación a la siguiente. Al igual que cualquier otro ser viviente, los humanos somos, de pies a cabeza, almacenes palpitanes de una larguísima ristra de desviaciones genéticas que resultaron provechosas.

Examinémoslas una a una, poco más o menos según su antigüedad...

El incremento de tamaño del cerebro comenzó hace unos pocos millones de años, cuando la dispersión de nuestros antepasados aún se limitaba a África. El volumen de nuestra materia pensante empezó a aumentar a medida que se lanzaron a la aventura de buscar alimento en las sabanas. Un mayor bulto de neuronas, más algún que otro reajuste en la manera en que estaban enlazadas, les permitió derribar cuadrúpedos, y descubrir la riqueza nutricional de los moluscos que abundan a la orilla del mar. Aprendieron a hacer fogatas y



Figura 3. Imagen generada con la IA ChatGPT.

a cocer ciertos bultos de las raíces de algunas plantas. A fin de protegerse mejor de los grandes carnívoros, comenzaron a vivir en grupos de varias decenas. Una comunicación verbal más y más compleja permitió la coordinación de toda suerte de actividades... y la transmisión de las experiencias de los más viejos (y de los más astutos...) al resto de la banda. Así despegaron la sensibilidad artística, las culturas, el interés por asociar causas a toda suerte de fenómenos..., y la posibilidad de ser pícaros, algo que consiguió alcanzar, en una considerable proporción de individuos, filo de navaja.

Poco antes de que nuestros antepasados comenzaran a ser cabecigrandes, consiguieron moverse todo el tiempo sobre dos extremidades, sin jamás apoyarse en los nudillos. La ventaja era doble: 1) Se ahorra energía (esto ha sido demostrado mediante experimentos), y 2) Liberaba las manos, que entonces podían ser dedicadas a cargar los más disímiles objetos: críos, lanzas, herramientas de piedra. Al ajustarse a andar todo el tiempo sobre las piernas, los pies perdieron el antiguo talento prensil (del cual queda algo: algunas personas, luego de haber perdido los brazos, consiguen hacer maravillas con la capacidad remanente).

Mientras tanto, el pelo de la cabeza adquirió una propiedad singular: crecía sin parar a lo largo de toda la vida. Si el cambio se perpetuó, no fue por accidente; el colchón de hebras retorcidas en espiral resultó un sombrero perfecto para mantener la cabeza fresca bajo el intenso sol de las sabanas. Es muy posible que, de paso, la novedosa prenda se haya convertido en un anuncio: si estaba limpia y acicalada, era señal de preocupación por el aseo... y de la ausencia de piojos, pulgas y otros animalejos capaces de dar picazón y de transmitir enfermedades.

Los ojos en la parte anterior de la cabeza (en vez de a los lados), las uñas (en vez de garras) y la habilidad para asir los objetos firmemente con las manos, son una herencia de un antepasado mucho más lejano. Estas innovaciones derivaron de un predecesor primate pequeño, *Darwinius masillae* (o de algún primo suyo), que vivió hace cuarenta y siete millones de años. A aquella criatura las tres características le resultaron ventajosas para moverse por las ramas en busca de frutas, y para manipularlas con suma destreza. Antes saltar de una rama a otra, la visión binocular le permitía estimar la distancia con gran precisión.

Otras cualidades nuestras, comunes a las zarigüeyas, murciélagos, musarañas, elefantes, gorilas y ballenas, surgieron hace unos doscientos millones de años, cuando un reptil (distinto al que dio origen a las aves) desarrolló la habilidad de alimentar a sus críos con jugos de su propio cuerpo; y la de generar calor, a fin de mantener el cuerpo a una temperatura alta, óptima para cualesquiera ejercicios sin importar la frialdad del aire. Por el camino, sus escamas dieron lugar a pelos y su mordida se hizo muchísimo más eficiente, pues desarrolló una diversidad de dientes digna de una ferretería.

Aquellos primeros mamíferos, al igual que su predecesor reptil, no tenían orejas. Sin embargo, las ventajas de poseer un oído fino fueron tales, que no demoraron en desarrollarlas. Si pasas uno de tus dedos por el filo superior de tu oreja (la parte que está curvada hacia afuera y hacia abajo) quizás notes una protuberancia muy pequeña..., y completamente inútil. No es un defecto. El mínimo chichoncito persiste en la mitad de los seres humanos y en las orejas de los gorilas y los chimpancés, y es una herencia de un antepasado primate cuyas pantallas audi-

tivas eran tan puntiagudas como las de un macaco... Ese no es nuestro único rasgo atávico (o vestigial): de los monos que nos antecedieron arrastramos ciertas muelas (las llamadas «de juicio») y un remanente del apéndice (ambas cosas a menudo dan problemas... y tienen que ser extirpadas). Desde mucho más lejos, desde algún pez, nos queda un residuo de la llamada membrana nictitante, que servía de paño para eliminar partículas pequeñas de la superficie del ojo (la conservan, perfectamente funcional, las ranas, y algunas aves y mamíferos de vidas extravagantes).

Nuestra actual cubierta de pelos es miserable, pero nuestros antepasados mamíferos vistieron, a lo largo de doscientos veinticinco millones de años, una densa pelambre que los protegía del sol, la lluvia y el frío. Todos los mamíferos vivos, excepto los más acuáticos (como los cetáceos y los manatíes) y uno que vive bajo el suelo en los más calurosos terrenos del este de África (la rata topo desnuda, *Heterocephalus glaber*), siguen siendo velludos. Nuestra pilosidad alcanzó la reducción actual hace unos 75.000 años, cuando nuestros antepasados, en plena Edad de Hielo, se vieron obligados a curtir pieles y confeccionarse abrigos. La vieja pelambre y la nueva ropa hacían una mala combinación: transformaba a todos en hoteles ambulantes para toda suerte de hongos, bacterias y bichos. Podemos suponer que a los infestados (y a los de la cabellera sucia) no les resultaba fácil vivir... ni conseguir pareja. Eso debió contribuir a que los menos peludos tuvieran más hijos... y poco a poco alcanzaran a predominar.

Nuestras cuatro extremidades son herencia de un antepasado anfibio que vivió hace unos trescientos setenta millones de años, y fueron

generadas a partir de los pares de aletas que salían de su pecho y vientre, en cuya gruesa base escondían los huesos y músculos que le permitían andar por las charcas de escasa profundidad... y aventurarse por las orillas.

El plan básico de nuestra anatomía –craneo, columna vertebral, costillas (que es idéntico al de los gorilas y chimpancés; al del jaguar, la jirafa y el ratón; y también al de los lagartos, cocodrilos, tortugas, salamandras y ranas)–, nos llega de un protopez que vivió hace alrededor de quinientos treinta y cinco millones de años. Acerca de la identidad y la pinta de aquel superabuelo no se tiene idea; los fósiles solo indican que fue de escasos centímetros y probablemente translúcido.

Tú y yo no tenemos branquias (o agallas), aletas ni escamas. Esas cosas desaparecieron por el camino (a los miembros del linaje que las retuvo les seguimos llamando peces). Cuando mastiques, cantes, escuches una canción o tragues tu alimento, acuérdate que esas bondades derivan de modificaciones del arco de las agallas. La prueba está en el desarrollo de nuestros embriones...

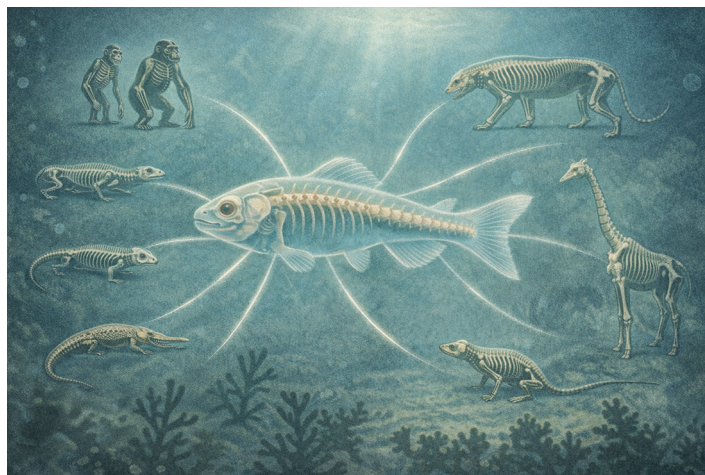


Figura 4. Imagen generada con la IA ChatGPT.

A los 20-25 días de concebido, nuestro feto se parece muchísimo al embrión de un tiburón, y al de un pargo guachinango: los tres presentan unos curiosos pliegues en la región de la garganta. Al seguir el curso del desarrollo de los embriones, queda claro que en los aletudos dichos pliegues dan lugar a las mandíbulas y las rojísimas agallas...; pero los de nuestro embrión (al igual que los de cualquier otro mamífero) se transforman en los huesos de nuestras mandíbulas, en los tres huesillos del oído medio, y en la laringe y la faringe. Las piezas de la región de la garganta se convierten en los huesos dedicados a morder y portar dientes; en los músculos que controlan el delicado paso de líquidos y sólidos hacia el estómago; en el bulto cartilaginoso de la garganta encargado de generar voces; y en los minihuesillos que nos permiten escuchar y disfrutar la *Tocata y fuga en re menor* (JS Bach). La fantástica aventura de los arcos branquiales quedó plasmada, además, en los fósiles: la confirma el estudio comparado del cráneo de los peces, anfibios, reptiles y mamíferos del pasado.

La colita de nuestros embriones es una herencia de los reptiles; y su traje de pelos largos y sedosos (conocido como lanugo, que visten desde el cuarto hasta el séptimo u octavo mes de desarrollo) es herencia de antepasados primates. Tú tuviste cola y pelambre, y yo también. Más adelante, cada feto recoge el apéndice y larga la vellosidad. (Cuando en nuestro código genético se activan ciertos genes atávicos, nacen bebitos ¡con rabo, o con una pelambre propia de un mandril [tiene un nombre: hipertricosis]).

Nuestra cabeza entera y la segmentada columna vertebral también tuvieron su origen, que es compartido con el del corazón, el hígado,

los riñones, el páncreas, el bazo, los intestinos, los órganos reproductivos, y con el de cada uno de nuestros sentidos.

Nuestros órganos se originaron a partir de un animalejo muy simple que vivió hace unos quinientos cuarenta millones de años. Navegaba –pues a todas luces, fue acuático– en una sola dirección: hacia donde tenía la boca, un puñado de branquias muy elementales y una pequeña concentración de células sensibles al tacto y a los olores. Ese era su lado de «la cabeza». De ahí vino la cabeza del pez martillo, la de los cocodrilos, la de las ballenas y la nuestra. A manera de esqueleto poseía una varilla elemental, el *notocordio*, una pieza que arrastramos todos los mamíferos durante las primeras semanas de vida embrionaria, que luego es transformada en vértebras. Las vértebras de los tiburones siguen siendo simplísimas y de puro cartílago; y las de una ballena azul pueden ser moles de puro hueso tan altas como una bicicleta. Cuando comas pollo, podrás ver que las de las aves son casi irreconocibles: las del cuello, debido a su enredo de protuberancias; y muchas de las del tórax y el abdomen, por estar fundidas entre sí.

Ciertos primos de la tripilla nadadora que dio lugar a los vertebrados cambiaron muy poco su anatomía y forma de vida... y llegaron hasta nuestros días: los *anfioxos*. A pesar de su pequeñez (alcanzan entre cinco y siete centímetros), en ciertas partes de China (y solo allí) son tan abundantes que se les captura y consume con regularidad.

Nuestra formidable aglomeración de células nerviosas, el cerebro, nos llega de los gusanos. Y nuestras urgencias más básicas –las de comer, reproducirnos y evitar ser devorados–

tienen una historia tan tremendamente larga, que apenas podemos entrever su origen.

Suponemos, a partir de cierta evidencia fósil, que otra de nuestras más importantes cualidades, la multicelularidad, fue inaugurada hace unos 570 m.a. por bacterias que, al asociarse, pudieron vivir mejor; y la capacidad para formar una célula es herencia de alguna protobacteria. Por último, el origen de nuestro fenomenal código genético, que es casi idéntico al de un chimpancé, y en principio similar al de cualesquiera otros seres vivos, es sinónimo de la vida misma...

## LAS «ESPECIES» SOLO EXISTEN EN NUESTRA CABEZA

Los seres humanos tenemos una desmedida inclinación a fantasear héroes, alabar vencedores e identificar pioneros... pero jamás hubo una primera ave, ni un primer *Homo sapiens*. Al igual que los demás seres vivos, no surgimos de golpe, ni en este o aquel lugar... sino a lo largo de períodos que abarcan millones de años; y en vastos espacios imposibles de delimitar.

Todo el tiempo hablamos de esta y aquella «especie», les damos nombres muy serios, y las contamos.

Se han reconocido, por ejemplo, cuarenta y una especies de félidos vivos..., y de eso (casi) no hay duda. Cuando en 1928, Ernst Mayr, uno de los ornitólogos más agudos y perspicaces del siglo XX, visitó las selvas de la península de Doberai, en Nueva Guinea, notó que los aborígenes Arfak reconocían y daban nombre a los ciento treinta y seis tipos de aves que vivían en sus entornos. Esas eran sus «especies». Su única equivocación estaba



Figura 5. Imagen generada con la IA ChatGPT.

en dos especies (de las nuestras) que, por ser en extremo parecidas, tenían por un mismo pájaro.

Nuestra inclinación a distinguir especies es algo natural y en extremo útil, pero completamente artificial. Y eso crea un problema... pues jamás son fijas; son fenómenos, y tan dinámicos como el agua de un arroyo, como el fuego de una fogata, o como las nubes de una tormenta. Generación tras generación, la anatomía y las costumbres de cada una palpitan. Son tan inquietas como las hormigas.

Los taxónomos son un mal necesario, y llevan una vida difícil, pues su tarea equivale a segmentar y petrificar el agua de los arroyos. El concepto «especie» es, pues, una entelequia; según los diccionarios, «una idea que transforma una fantasía en algo real»... «algo

que solo existe en la imaginación»... «una noción cuya razón de ser radica en su propio enunciado». Como ejemplo de entelequia están la línea ecuatorial, las razas, las brujas (la noción de «personas con poderes mágicos, y en particular malignos», que le costó la vida, entre los siglos XIII y XIX, a miles de personas) y la propia alma que desde hace muchos nos autoadjudicamos (los miembros de algunas culturas creen tener siete; y los de otras van mucho más allá, y consideran que las plantas y las piedras también tienen la suya).

El mundo de los biólogos es, pues, una gran paradoja: todo el tiempo hablan de criaturas que tienen un nombre muy serio (tanto, que a menudo es impronunciable), y una anatomía, talla y color bien definidos. Sus «especies» hasta tienen patrones exactos guardados con celo en las trastiendas de los museos e instituciones científicas (se les llama *tipos*; y vienen en varios sabores: holotipos, isotipos, paratipos, lectotipos...). Pero cada una de ellas no es más que una fotografía de un continuo proceso de cambios.

Es de suponer que, al igual que en la actualidad, en cada instante del pasado las poblaciones de los seres vivientes también hayan sido algo discretas; y que cada una debe haber estado compuesta por individuos que presentaban diferencias marcadas con los de otras poblaciones. No obstante, es bueno tener presente que todas se han comportado como intranquilos hilos de agua. La idea de que son fijas y de que estuvieron separadas de las «especies» que le precedieron es puro humo...

Hacia atrás, con muchos enredos y sin interrupción alguna, las larguísimas hebras de la historia de los seres vivientes llegan hasta el famoso LUCA (*Last Universal Common Ancestor*;



Figura 6. Imagen generada con la IA ChatGPT.

o «último antepasado común universal»), un ser muy microscópico que debió haberse formado, de manera por entero espontánea, hace unos cuatro mil millones de años.

Los ojos y las manos nos dicen que hay un millón cuatrocientos mil variedades de organismos vivientes; pero la cabeza nos indica que son pura agua. La evolución ha hecho que hayan sido un agua magnífica y misteriosa; un agua que fluye sin parar; ... y que a menudo se lanza en las direcciones más inesperadas.

Todas las «especies» palpitan. Palpitan sin descanso.

*La claridad es una propiedad exclusiva de los cadáveres. El mundo está repleto de mensajes embrollados, cartas sin acabar, archivos mutilados.*

Paul Feyerabend

## LITERATURA RELEVANTE

- Anderson, J. S. y Sues, H. D. (Eds.) (2007). *Major Transitions in Vertebrate Evolution*. Indiana University Press.
- Attenborough, D. (1998). *The Life of Birds*. Princeton University Press.
- Clack, J. A. (2002). *Gaining Ground. The Origin and Evolution of Tetrapods*. Indiana University Press.
- Park, D. (2007). *The Grand Contraption. The World as Myth, Number, and Chance*. Princeton University Press.
- Shubin, N. (2008). *Our Inner Fish. A Journey Into the 3.5 Billion-year History of the Human Body*. Pantheon Books.
- Wilson, E. O. (1992). *The Diversity of Life*. The Belknap Press of Harvard University Press.

# El secuestro del agua: desde las civilizaciones antiguas hasta los sistemas actuales

Víctor Manuel Almaraz Valle<sup>1</sup>, Carlos Eduardo Aguilar Castillo<sup>1</sup>,  
Rubén Santillán Castillo<sup>2</sup> y Mayra Carolina Vieyra Alberto<sup>1</sup>

**RESUMEN.** Desde los albores de la humanidad, el agua ha marcado el destino de las civilizaciones. A orillas de ríos y manantiales surgieron ciudades, se domesticaron plantas y se trazaron los primeros caminos de la agricultura. Allí donde fluía el agua, florecía la vida y también el poder.

Hoy, ese mismo recurso sostiene nuestros campos, pero su escasez y contaminación amenazan el futuro. Entre presas, pozos y tinacos, el agua sigue siendo el hilo invisible que conecta pasado y presente, recordándonos que cuidar cada gota es proteger nuestra propia historia.

*Palabras clave:* agua, civilización, sostenibilidad.

## INTRODUCCIÓN

El agua es, ha sido y será un recurso esencial para la vida en la Tierra y fundamental para el desarrollo humano. A lo largo de la historia, se ha observado la estrecha relación entre el agua y la humanidad y es de vital importancia ya que este elemento puede impulsar o frenar el progreso de cualquier sociedad. Desde los primeros asentamientos de los grupos humanos en la prehistoria, las fuentes de agua fueron clave para la supervivencia y el crecimiento de las civilizaciones; las primeras comunidades se establecieron cerca de ríos, lagos y manantiales cuyo recurso contribuyó a satisfacer las necesidades primarias como la alimentación y el establecimiento de la agricultura, hace unos 10 mil años.

Recibido: 10/01/2026

Aceptado: 27/01/2026

Publicado: 05/02/2026

<sup>1</sup> Posgrado en Fitosanidad - Entomología y Acarología, Colegio de Postgraduados. México. almaraz.victor@colpos.mx, aguilar.carlos@colpos.mx, vieyra.mayra@colpos.mx

<sup>2</sup> Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Colegio de Postgraduados. México. santillan.ruben@colpos.mx

## EL AGUA COMO EJE DE PODER Y DESARROLLO EN LAS CIVILIZACIONES ANTIGUAS

Como sucede en cualquier sociedad, a lo largo de la historia de la vida de los seres humanos en la Tierra, el agua ha sido una vía de poder y control político y económico. Asimismo, en las civilizaciones antiguas, dio paso al desarrollo de avanzadas técnicas de ingeniería hidráulica, como canales de riego y acueductos, que permitían desviar el agua desde su origen hacia los centros urbanos. Un ejemplo de esto es la civilización Mesopotámica, que prosperó por su cercanía con los ríos Tigris y Éufrates, facilitando su desarrollo y expansión agrícola y económica. En Egipto, el río Nilo fue clave para enfrentar muchos desafíos, como el riego y fertilización de los cultivos, la disposición de agua potable, el transporte de personas y mercancías e incluso desempeñó un papel como división territorial. En el Medio Oriente, los sistemas de *qanats* permitieron llevar agua subterránea a través de túneles hacia zonas áridas; mientras que los romanos perfeccionaron los acueductos, extendiendo su capacidad para abastecer de agua a ciudades distantes. A medida que las poblaciones crecían y los asentamientos se extendían hacia zonas alejadas de las fuentes naturales de agua, la necesidad de garantizar un suministro hídrico constante seguía siendo primordial.

### LOS POZOS Y EL APROVECHAMIENTO DE ACUÍFEROS EN LA EXPANSIÓN DE ASENTAMIENTOS HUMANOS

Aunado a las importantes ventajas que aportaba el agua por sí misma, la construcción de po-

zos de agua representó un avance significativo en la historia de la humanidad. En regiones sin fuentes superficiales de agua, perforar el suelo para cavar pozos profundos facilitó el acceso a acuíferos subterráneos, una técnica que aún se utiliza en la actualidad. Estas estructuras permitieron la expansión de asentamientos humanos en zonas áridas y semiáridas, como el desierto del Negev y partes de Arabia, donde el agua subterránea fue esencial para el establecimiento de comunidades humanas.

### MANEJO HIDRÁULICO Y DESARROLLO AGRÍCOLA EN LA CIVILIZACIÓN AZTECA

En México, diversos pueblos indígenas desarrollaron sistemas avanzados de manejo del agua con un notable enfoque técnico y organizativo. En particular, para los aztecas el acceso y control del recurso hídrico fue un factor determinante en su sedentarismo, incluso por encima de la propia agricultura, ya que el agua no solo permitió el transporte y la comunicación, sino que también impulsó la creación de sistemas agrícolas altamente productivos como las chinampas, las cuales constituyeron un pilar fundamental de la economía prehispánica.

### CALIDAD DEL AGUA Y SU IMPACTO EN SISTEMAS AGRÍCOLAS MODERNOS

Además de la cantidad disponible, la calidad del agua es vital para la agricultura y para la eficacia de los agroquímicos. El agua que se usa para regar o aplicar productos no solo hidrata a las plantas, sino que también actúa como medio para disolver y transportar formulaciones

químicas, por lo que propiedades como el pH, la dureza y la presencia de contaminantes pueden alterar la actividad de estos productos.

Por ejemplo, altos niveles de calcio y magnesio en el agua pueden interactuar con los ingredientes activos de plaguicidas, reduciendo su disponibilidad y eficacia. De igual manera, aguas con residuos industriales o urbanos pueden contener sustancias que generan fitotoxicidad o afectan la salud del suelo, comprometiendo el rendimiento de los cultivos.

Dado que muchas zonas agrícolas dependen de fuentes de agua de calidad variable, es necesario implementar análisis y manejo de la calidad del agua, considerando características como dureza, pH y contaminantes, para asegurar un uso más eficiente y sostenible del recurso y de los insumos agrícolas aplicados.

## FUENTES DE AGUA ACTUALES Y FORMAS DE ALMACENAMIENTO

De la totalidad de agua presente en la Tierra, solo el 2.5% es agua dulce y, de esta, cerca del 80% se encuentra en glaciares, nieve y capas de hielo polares, mientras que el 19% corresponde a agua subterránea y solo el 1% es agua superficial. Esta pequeña fracción de agua accesible se encuentra principalmente en lagos, ríos y humedales.

El aprovechamiento del agua concentrada en las fuentes de almacenamiento superficiales depende de las reservas geográficas, aunque en muchas regiones la demanda supera la disponibilidad del recurso. En estos casos, se recurre a prácticas no convencionales como la recolección de agua de lluvia, la desalinización del agua de mar y el tratamiento de aguas residuales. Asimismo, se ha incrementado el uso

de técnicas de almacenamiento subterráneo gestionado, que consiste en inyectar agua en los acuíferos durante periodos de abundancia para recuperarla en momentos de escasez, lo que reduce las pérdidas por evaporación y permite conservar el agua en mejores condiciones. Las presas y embalses son los métodos más utilizados para almacenar agua en la superficie, pues permiten acumular grandes cantidades de agua, controlar el flujo de los ríos y producir energía hidroeléctrica. No obstante, presentan importantes desventajas, como la sedimentación, que disminuye su capacidad de almacenamiento con el tiempo, y los impactos ambientales, que incluye la alteración de ecosistemas acuáticos y la fragmentación de hábitats, lo que perjudica a una cantidad importante de especies, particularmente animales y vegetales.

En las ciudades modernas, el almacenamiento de agua se realiza mediante tanques y cisternas domésticas, que permiten conservar pequeñas cantidades de agua para el uso cotidiano, especialmente en zonas urbanas y rurales donde el suministro es irregular o poco confiable (Figura 1). Aunque estas técnicas



Figura 1. Tinacos plásticos de almacenamiento de agua de diversas capacidades para suministrar agua de riego a un invernadero. Texcoco, Estado de México.

son útiles para el manejo a pequeña escala, no solucionan los problemas relacionados con el suministro en grandes poblaciones.

## BENEFICIOS Y RIESGOS DEL ALMACENAMIENTO DE AGUA EN SISTEMAS MODERNOS

El agua ofrece importantes beneficios, no solo para el consumo humano y las necesidades básicas que esta nos ayuda a cubrir, además de la aplicación agrícola que es básica para la producción de alimentos, sino también tiene un importante impacto en otras áreas como la generación de energía hidroeléctrica, que es una fuente de energía renovable y relativamente limpia. Además, el almacenamiento de agua a gran y pequeña escala garantiza el suministro constante durante períodos de sequía, reduce el impacto de esta y facilita el riego en zonas agrícolas (Figura 2). No obstante, los grandes embalses pueden tener efectos negativos, como el desplazamiento de comunidades locales, alteración de los ecosistemas naturales que resultan en la pérdida de la biodiversidad, la emisión de gases de efecto invernadero por la descomposición de la materia orgánica y la acumulación de sedimentos que, con el tiempo, disminuyen la capacidad y vida útil de los embalses. Otro aspecto importante a tener en cuenta es que requieren de mantenimiento para evitar colapsos prematuros, lo cual resulta costoso.

Desafortunadamente, en cuanto al uso del agua en los diferentes sectores, el agrícola es uno de los principales consumidores y el que menor regulación de gasto de agua tiene. A pesar de que, en la actualidad se tiene un gran avance en el aprovechamiento y uso más efi-

ciente del agua, como es el caso de los invernaderos ampliamente tecnificados, con sistemas de riego que únicamente suministran el gasto de agua que la planta necesita, los elevados volúmenes de agua utilizados en riegos por inundación son elevados, y su aprovechamiento puede ser mínimo, ya que la mayor parte del agua se infiltra o se evapora, y a esto le debemos sumar el hecho de que la superficie de riego a nivel mundial se ha quintuplicado en los últimos años, lo que conlleva a un menor aprovechamiento del recurso hídrico y esto ha generado períodos de sequía en diferentes zonas urbanas, conurbadas y agrícolas que dependen de este recurso para sus actividades.

Otro factor importante para considerar es la contaminación de los cuerpos de agua por



Figura 2. Torre de agua para almacenamiento y suministro de agua a inmuebles en el colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México.

residuos químicos, industriales y domésticos. Entre las fuentes de contaminación destacan el uso inadecuado de agroquímicos, la disposición incorrecta de envases vacíos de plaguicidas y fertilizantes, así como la presencia de residuos como aceites y grasas, los cuales no solo degradan el suelo, sino que, con frecuencia, son arrastrados hacia ríos, arroyos y cuerpos de agua cercanos. De igual forma, la mala gestión de los residuos sólidos urbanos, tanto provenientes de hogares como de establecimientos comerciales, contribuye a la presencia de basura en caminos, cauces naturales y fuentes hídricas, sobre todo en áreas donde no existe un sistema eficiente de recolección y tratamiento de desechos.

Por otro lado, encontramos las infraestructuras hídricas, como los pozos y tanques de almacenamiento que, si bien pueden ser una fuente importante de agua fresca o almacenada en cualquier época del año, también pueden presentar problemas de sostenibilidad a largo plazo debido a la sobreexplotación y contaminación de los acuíferos. En algunas regiones, el uso excesivo de estas reservas subterráneas ha llevado a una disminución significativa de los niveles de agua en los mantos acuíferos, lo que compromete el suministro y abastecimiento de agua en el futuro.

## CONCLUSIÓN

El agua ha sido esencial para el desarrollo de las civilizaciones, al permitir el establecimiento de asentamientos, la agricultura y el avance de la ingeniería hidráulica. Actualmente, solo una fracción mínima del agua del planeta es accesible, lo que ha impulsado el uso de fuentes alternativas y sistemas de almacenamiento.

Sin embargo, el sector agrícola continúa siendo el mayor consumidor y el menos regulado, con prácticas ineficientes que contribuyen a la escasez hídrica. A esto se suma la contaminación por agroquímicos y residuos urbanos, así como la sobreexplotación de acuíferos.

Estos factores ponen en riesgo la sostenibilidad del recurso, por lo que es urgente fortalecer la gestión integral del agua, mejorar la eficiencia en el riego y reducir la contaminación para garantizar el abastecimiento futuro.

## REFERENCIAS

- Baines, J. (1988). El gran río del tiempo. *El Correo de la UNESCO: una ventana abierta sobre el mundo*, 41(9), 4-7.
- Gude, V. G. (2017). Desalination and water reuse to address global water scarcity. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 16(4), 591-609. <https://doi.org/10.1007/s11157-017-9449-7>
- Malakar, A., Snow, D. D. y Ray, C. (2019). Irrigation water quality. A contemporary perspective. *Water*, 11(7), 1482. <https://doi.org/10.3390/w11071482>
- Mithen, S. (2010). The domestication of water: Water management in the ancient world and its prehistoric origins in the Jordan Valley. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 368(1931), 5249-5274. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0191>
- Patro, M. y Zubala, T. (2023). Use of different forms of retention as the condition of sustainable management of water resources in rural environment. *Journal of Water and Land Development*, 44(I-III), 126-135. <https://doi.org/10.24425/jwld.2019.127053>

Pietz, D. A. y Zeisler-Vralsted, D. (2021). *Water and human societies: Historical and contemporary perspectives*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-67692-6>

Rey-Hernández, C. y Bobbink, I. (2022). Chinampas agriculture and settlement pat-

terns: The contemporary relevance of Aztec floating gardens. *Blue Papers*, 1(2), 90-99. <https://doi.org/10.58981/bluepapers.2022.2.09>

## El *Dormitator latifrons*: un gigante dormido en la acuicultura mundial

Zinnia E. Aguirre-García<sup>1,2</sup>, Fernando Barreto-Curiel<sup>3</sup>,  
Kevin O. Ponce-Palomera<sup>2</sup> y Daniel Badillo-Zapata<sup>2,4</sup>

**RESUMEN.** Comemos mucho, pero ¿nos nutrimos bien? La ciencia sugiere que no. El exceso de grasas pesadas y la falta de aceites saludables en la dieta moderna nos están pasando una factura costosa en salud. Ante este panorama, la respuesta no está en productos importados, sino en nuestras propias aguas. El *Dormitator latifrons* conocido regionalmente como chopopo, chame o puyequé es un recurso que, aunque hoy permanece a la sombra de los mercados masivos, posee un perfil nutricional que debería convertirlo en la próxima joya biológica de México. Más que un alimento, el *D. latifrons* representa una inversión en

salud, su filete provee nutrientes que la dieta actual suele omitir, permitiendo que nuestras células funcionen con una eficacia que pocos recursos nativos pueden ofrecer.

*Palabras clave:* chopopo, especie nativa, nutrición, grasas buenas.



¿Sabías que la clave para una salud de hierro podría estar nadando, ignorada, en nuestras propias lagunas costeras? En un mundo saturado de alimentos procesados, nuestro cuerpo requiere nutrientes esenciales que la dieta moderna suele omitir. Aunque solemos buscar

<sup>1</sup> Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa, Programa de Doctorado en Ciencias en Biosistemática, Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas (BEMARENA).

<sup>2</sup> Laboratorio de Calidad de Agua y Acuicultura Experimental, Departamento de Ciencias Biológicas del Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara.

<sup>3</sup> Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Facultad de Ciencias Marinas.

<sup>4</sup> Investigadoras e Investigadores por México. Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI).

Recibido: 09/01/2026

Aceptado: 12/02/2026

Publicado: 13/02/2026

en el salmón importado o en suplementos costosos el cuidado del corazón y el cerebro, la ciencia ha puesto la lupa sobre un recurso nativo con un potencial extraordinario: el *Dormitator latifrons*. Conocido regionalmente como chopopo, chame o puyequé; este pez, habitante resiliente de los sistemas estuarinos y lagunares del Pacífico, es un verdadero atleta de la supervivencia. Su biología parece desafiar los límites de lo que consideramos un pez común. Al ser un organismo eurihalino, posee la capacidad de «navegar» entre dos mundos, adaptando su fisiología para transitar del agua dulce a agua salada sin que sus células colapsen. Pero su verdadero «superpoder» reside en su resistencia a la asfixia. A diferencia de la mayoría de las especies, el *D. latifrons* es capaz de realizar una respiración aérea facultativa. Esto significa que, cuando el oxígeno escasea en los densos lodos de los manglares, este pez puede



Figura 1. Imagen generada con la IA ChatGPT.

captar aire directamente de la superficie. Esta robustez no es casualidad; es el resultado de una evolución adaptada a entornos cambiantes y hostiles. Comprender cómo este pequeño titán gestiona su energía en condiciones tan extremas es la clave para entender por qué, hoy en día, se perfila como uno de los candidatos más prometedores para la acuicultura sostenible en toda América Latina.

A nivel internacional, el *D. latifrons* ya no es un secreto. Ecuador es el referente mundial en su aprovechamiento, especialmente en la provincia de Manabí, donde el cultivo de esta especie es una industria consolidada. Su éxito radica en una rusticidad asombrosa: tolera aguas con muy poco oxígeno y posee la capacidad única de sobrevivir en ambientes con poca agua durante varias horas. Esta ventaja permite a los productores transportarlo vivo a los mercados sin necesidad de costosas cadenas de frío, convirtiéndolo en un modelo de eficiencia económica y sostenibilidad.

En México, este pez históricamente, ha sido un pilar silencioso en la dieta de las comunidades ribereñas del Pacífico mexicano. Sin embargo, a diferencia del modelo sudamericano, en nuestro país su presencia en las mesas sigue dependiendo casi exclusivamente de la pesca artesanal. Revalorizarlo no es solo un rescate culinario, sino una estrategia de soberanía alimentaria frente a especies exóticas e introducidas.

Más allá de su valor en la cocina tradicional, el *D. latifrons* se perfila como una verdadera «farmacia natural» en nuestras costas. Aunque solemos elegir pescados comerciales por su fama nutritiva, esta especie nativa destaca por una carne blanca de excelente digestibilidad, superando el aprovechamiento que ofrecen



Figura 2. Imagen generada con la IA ChatGPT.

especies comunes como la tilapia o el bagre. Es una fuente excepcional de proteínas de alta calidad para el desarrollo muscular y aporta minerales clave como fósforo, calcio y zinc. Sin embargo, su mayor tesoro es su perfil de grasas buenas: a diferencia de otros peces tropicales, aporta vitaminas (A, B, D y E) y ácidos grasos esenciales que actúan como protectores del corazón y aliados del cerebro. Esta riqueza biológica lo posiciona como un «superalimento» capaz de competir con especies de exportación, ofreciendo nutrición de primer nivel directamente desde nuestras lagunas.

### EL DILEMA DE LAS GRASAS BUENAS «ESENCIALES» PARA EL CUERPO: ¿POR QUÉ NO PODEMOS FABRICARLAS?

Seguramente has escuchado que los Omega-3 son «esenciales», pero ¿qué significa eso real-

mente? En el mundo de la nutrición, cuando decimos que algo es esencial, es porque nuestro cuerpo, aunque es una máquina increíble no tiene las herramientas para fabricarlos por sí solo.

Imagina que tu cuerpo es una fábrica de construcción. Para armar ciertas grasas saludables, necesitas unas «tijeras» especiales (llamadas enzimas desaturasas). Estas tijeras sirven para cortar y doblar las cadenas de grasa en puntos muy específicos. El problema es que los humanos no nacimos con las «tijeras» necesarias o si y en el pasar de los siglos las perdimos y ahora no podemos crear el Omega-3. Como no podemos fabricarlos, dependemos totalmente de lo que ponemos en nuestro plato. Aunque nuestro cuerpo intenta «improvisar» con fuentes vegetales (como la chía), la conversión es muy baja (menor al 5%). Por eso, el *D. latifrons* es vital: él ya hizo el traba-

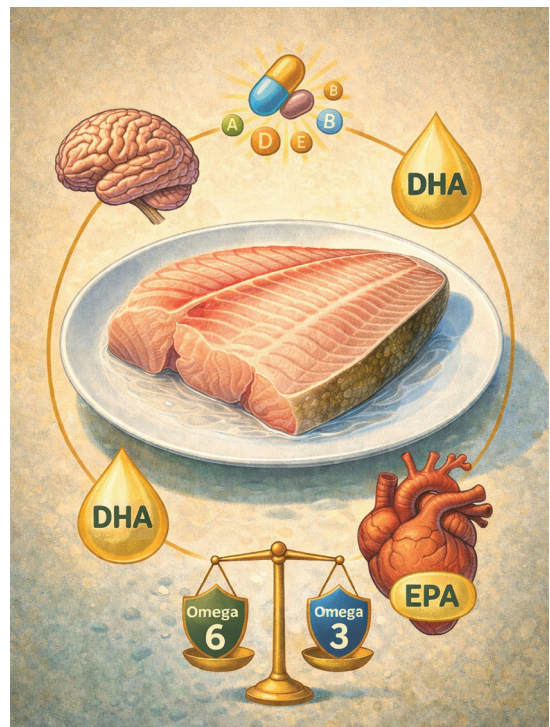


Figura 3. Imagen generada con la IA ChatGPT.

jo pesado y nos entrega el nutriente listo para usarse.

## EL *D. LATIFRONS* BAJO LA LUPA CIENTÍFICA: ¿POR QUÉ ES UN «SUPERALIMENTO»?

A diferencia de otros peces que tienen grasas «pesadas», el *D. latifrons* tiene un perfil de grasas funcionales. Aquí sus tres grandes poderes:

- Arquitecto de tu cerebro (DHA): El DHA es como el «cemento» de nuestras neuronas. Hace que las membranas cerebrales sean más flexibles, facilitando la comunicación entre ellas (sinapsis). Comer *D. latifrons* ayuda a que tu memoria esté al cien y protege tu cerebro del paso del tiempo.
- Escudo para tu corazón (EPA): El EPA es un «limpiador» natural. Ayuda a que el hígado no produzca tantos triglicéridos (la grasa que tapa arterias) y reduce la inflamación sistémica.
- El termómetro de la salud (Equilibrio Omega-6 / Omega-3): Hoy comemos demasiado Omega-6 (inflamatorio) y poco Omega-3. El *D. latifrons* ayuda a inclinar la balanza de vuelta a su lugar, actuando como un «botón de reinicio» para equilibrar tu organismo.

## CONCLUSIÓN

El estudio de este «guerrero» nativo trasciende el interés biológico para convertirse en una estrategia clave de seguridad alimentaria. Al revalorizar al *D. latifrons*, México tiene la oportunidad de reducir su dependencia de especies introducidas y suplementos costosos, apostando por un recurso que ya domina nuestro entorno.



Figura 4. Imagen generada con la IA ChatGPT.

Apostar por el *D. latifrons* es integrar la resiliencia de la naturaleza con la precisión de la ciencia aplicada. En última instancia, reconocer el valor de este tesoro en nuestras lagunas no es solo una cuestión de nutrición, sino un paso decisivo hacia un sistema alimentario más soberano, saludable y accesible para todos.

¡Es hora de darle a este gran pez el lugar que se merece en nuestra mesa!

## LITERATURA RELEVANTE

Badillo-Zapata, D., Zaragoza, F. D. J., Vega-Villasante, F., López-Huerta, J. M., Herrera-Resendiz, S., Cueto-Cortés, L., Guerrero-Galvan, S. R., Badillo-Zapata, D., Zaragoza, F. D. J., Vega-Villasante, F., López-Huerta, J. M., Herrera-Resendiz, S., Cueto-Cortés, L. y Guerrero-Galván, S. R. (2018). Requerimiento de proteína y lípidos para el

- crecimiento de juveniles del pez nativo *Dormitator latifrons* (Richardson, 1844). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(14), 345-351. <https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1554>
- Burdge, G. C. y Calder, P. C. (2014). Introduction to fatty acids and lipids. *World Review of Nutrition and Dietetics*, 112, 1-16. <https://doi.org/10.1159/000365423>
- López-Huerta, J. M., Vega-Villasante, F., Viana, M. T., Carrillo-Farnés, O., Badillo-Zapata, D., López-Huerta, J. M., Vega-Villasante, F., Viana, M. T., Carrillo-Farnés, O. y Badillo-Zapata, D. (2018). First report of nutritional quality of the native fish *Dormitator latifrons* (Richardson, 1844) (Perciformes: Eleotridae). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46(4), 849-854. <https://doi.org/10.3856/vol46-issue4-fulltext-24>

# Estero El Salado: área natural protegida generadora de conocimiento y de vinculación académica

Xochitl Janeth Bolaños-Apaez<sup>1</sup>, Sandra Quijas<sup>2</sup> y Fabio G. Cupul-Magaña<sup>3</sup>

**RESUMEN.** Dentro de la mancha urbana de Puerto Vallarta, Jalisco, México, se localiza el Área Natural Protegida (ANP) estero El Salado. Se trata de un humedal costero que ha sido un importante laboratorio natural para la generación de conocimiento científico, con más de dos décadas de investigación, colaboración interinstitucional y estudios sobre biodiversidad y ecología. Lo anterior se ha reflejado en la publicación de 96 trabajos académicos (entre artículos, tesis, memorias y reportes), en la que intervinieron 133 autores de 16 instituciones educativas y gubernamentales. Las publicaciones presentaron resultados sobre aspectos ecológicos e inventarios taxonómicos de 10 grupos de seres vivos (principalmente aves, insectos y vegetación). Durante 23 años, los resultados de las investigaciones realizadas

en El Salado, antes y después de su declaratoria como ANP en el año 2000, destacan, además de su relevancia biológica y social, la potencial presión desestabilizadora del crecimiento urbano sobre la continuidad de su condición protegida a largo plazo.

*Palabras clave:* autores, publicaciones, instituciones, aves, insectos, vegetación.

## HUMEDALES COSTEROS: ZONAS DE CONVERGENCIA DEL SISTEMA ACUÁTICO Y TERRESTRE

De los diversos ecosistemas naturales y transformados del planeta, los humedales costeros son ejemplo de sistemas altamente productivos, generadores de una amplia gama de servicios ecosistémicos, con contribución directa

<sup>1</sup> Organización para la Conservación de los Árboles, Puerto Vallarta, Jalisco, México. janethb.apaez@gmail.com

<sup>2</sup> Herbario PV, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. sandra.qfonseca@academicos.udg.mx

<sup>3</sup> Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. fabio.cupul@academicos.udg.mx

Recibido: 19/02/2026

Aceptado: 24/02/2026

Publicado: 27/02/2026

al bienestar humano. Son zonas donde convergen dos sistemas contrastantes; es decir, son áreas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres. Dentro de los humedales costeros se encuentran los esteros, canales de mareas que comunican con un río u otra laguna costera, e incluyen a la vegetación de manglar y de marisma. Los manglares son el tipo de vegetación dominante en los bordes de lagunas costeras y esteros con influencia de inundaciones de mareas; además, son reconocidos por albergar gran biodiversidad y ser ecosistemas altamente productivos (por encima de las zonas de surgencias: áreas del océano donde ascienden aguas profundas frías y ricas en nutrientes). Si bien los humedales solo cubren el 6.5% del territorio mexicano, su importancia como generadores de servicios ecosistémicos es ampliamente reconocida y está documentada en diversos estudios a nivel global.

### HUMEDALES COSTEROS: SUS CONDUCTORES DE CAMBIO

Los humedales costeros enfrentan presiones significativas, las cuales derivan de conductores de cambio directos e indirectos que comprometen su integridad ecológica y la provisión de servicios ecosistémicos.

Entre los conductores directos destacan los asentamientos humanos y la actividad agrícola, incentivados por la disponibilidad de agua dulce. Estas dinámicas transforman la cobertura vegetal y alteran los regímenes de escurrimiento hídrico. A esto se suma el desarrollo turístico e inmobiliario que, frecuentemente, conlleva la desecación de humedales para el establecimiento de infraestructura, así como

la contaminación por vertidos residuales e industriales y la sobreexplotación de recursos.

Por otra parte, los conductores indirectos, vinculados a los modelos de cambio climático, incluyen el aumento del nivel del mar y las variaciones en la temperatura y los patrones de precipitación. La convergencia de estos factores deriva en impactos críticos como la pérdida de biodiversidad taxonómica, genética y funcional, la disminución en la regulación de la calidad y cantidad del agua, el deterioro del valor paisajístico, así como la reducción de la protección natural frente a eventos climáticos extremos como huracanes e inundaciones.

### HUMEDALES COSTEROS: VALORACIÓN A PARTIR DEL CONOCIMIENTO ACUMULADO

Ante este panorama, la valoración basada en el conocimiento empírico acumulado permite medir las ganancias que tiene para la sociedad la conservación, la protección, la restauración o la recuperación de los ecosistemas y su ambiente asociado o, por el contrario, los costos e impactos que causan la contaminación, la sobreexplotación o el deterioro de los mismos. Así, se afirma que la ausencia de conocimiento y la valoración de los beneficios que ofrecen los humedales, es una de las principales causas de su deterioro y pérdida en el mundo.

En la actualidad, los humedales no se toman como activos que se intercambian en los mercados financieros porque no se les reconoce una utilidad individual que los haga bienes económicos. Asimismo, el conocimiento empírico acumulado sobre los humedales costeros podría ser información de utilidad para los tomadores de decisiones encargados de la

conservación de este tipo de ecosistemas, pues la biodiversidad que contienen y los múltiples servicios ecosistémicos que proporcionan son vitales para el bienestar y el desarrollo socioeconómico de poblaciones locales y regionales. Además, se reconoce que debe haber una generación de conocimiento ecológico, el cual será necesario en los próximos 50 años si se quiere conservar estos ecosistemas para el futuro, sobre todo para ecosistemas altamente amenazados como los manglares.

## CONSERVACION DE LOS HUMEDALES COSTEROS DENTRO DE LAS CIUDADES

Actualmente, diversas instituciones académicas y gubernamentales desarrollan estudios para analizar la biodiversidad, el funcionamiento y los servicios ecosistémicos que proveen los humedales costeros del Pacífico y Golfo de México. Estos estudios se han enfocado en los manglares de mayor extensión como los de Campeche, Nayarit y Veracruz, dejando de lado a los manglares de superficies pequeñas; es decir, de unas cuantas hectáreas.

Para este último tipo de manglares, su importancia sólo es reconocida por los gobiernos estatales y universidades locales, tal como ocurrió con el estero El Salado, un humedal costero con manglar asociado que acaparó la atención de investigadores y de la sociedad civil de Puerto Vallarta, desde la década de los años noventa del siglo pasado, por su biodiversidad (Figura 1). El estero El Salado, junto el humedal Xochimilco y San Gregorio en la Ciudad de México, el Sistema de Lagunas Interdunares en la ciudad de Veracruz, la Laguna de las Ilusiones en Villahermosa, Tabasco y la

Laguna La Escondida en Reynosa, Tamaulipas, es uno de los cinco humedales enclavados en zonas urbanas de México.

La importancia principal de las áreas naturales protegidas o ANP, radica en preservar la biodiversidad y las funciones ecosistémicas que en ellas ocurren. El conocimiento sobre estos dos aspectos principales es generado en gran medida por la investigación científica desarrollada por la comunidad académica. La investigación, además de generar conocimiento básico de las ANP, permite vincular a las instituciones involucradas en este quehacer: las académicas, las de gobierno, las asociaciones civiles, las organizaciones no gubernamentales y los ciudadanos. La relevancia de las ANP, más allá de su función en favor de la conservación, es la de facilitar la vinculación interinstitucional y entre generadores del conocimiento, quienes desarrollan una amplia gama de trabajos en diversas áreas y tienen por objeto de estudio a distintos grupos de seres vivos y ambientes.

El ANP estero El Salado está prácticamente rodeada por la marcha urbana de Puerto Vallarta. Esta situación la mantiene en constante presión por los cambios de uso de suelo de su entorno próximo, así como eventos de contingencia ambiental. De estos últimos, se ha documentado el vertimiento de turbosina en 2012 y aguas residuales en 2019 sobre áreas extensas de vegetación y cauces, con potenciales efectos ecotóxicos sobre organismos acuáticos y terrestres e, inclusive, la afectación de la turbosina sobre vegetación de manglar continúa hasta el día de hoy. Este panorama desfavorable, lleva a realizar una revisión del conocimiento empírico generado y acumulado por más de dos décadas sobre el ANP estero El

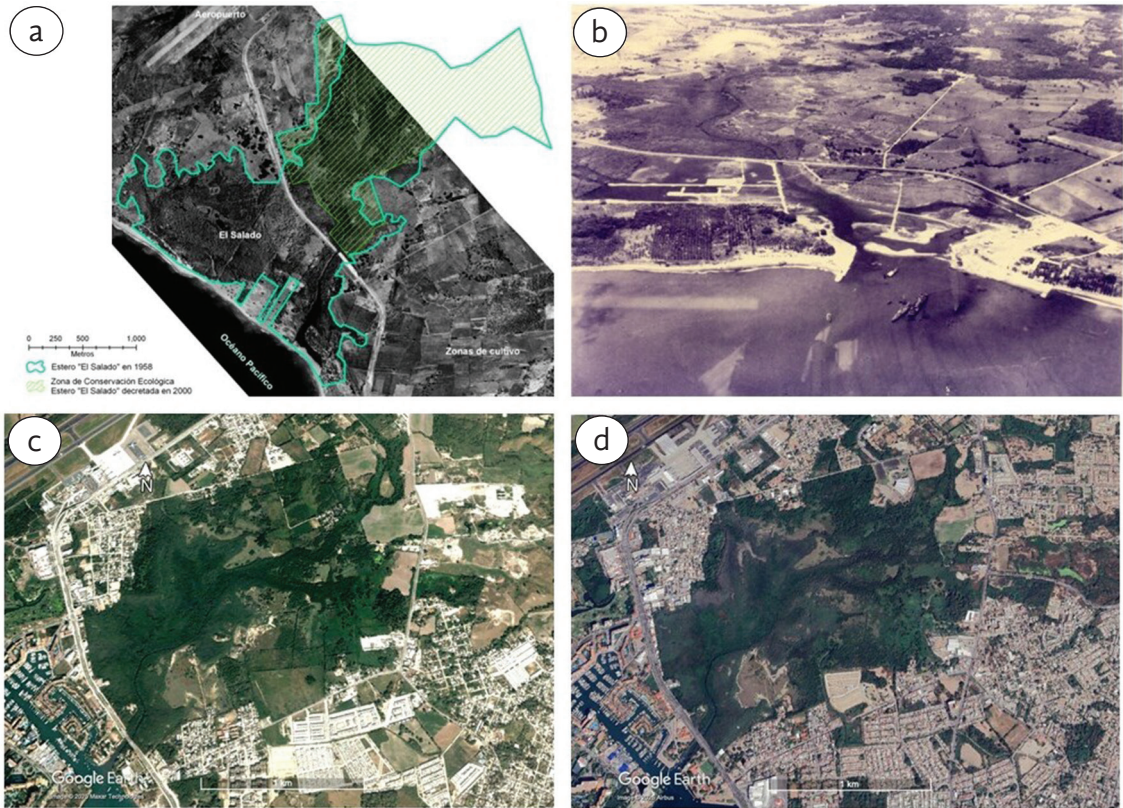


Figura 1. Vista aérea que muestra una secuencia de los cambios sufridos en el paisaje del estero El Salado en los años de 1958 (a), 1980 (b), 2003(c) y 2025 (d). Fuentes: (a) Instituto de Información Territorial (2013), (b) Fabio G. Cupul-Magaña y (c, d) Google Earth.

Salado. A partir de esta revisión documental y de su análisis correspondiente, se espera generar información de referencia que se utilice como elemento de juicio para quienes tomen las decisiones sobre futuras acciones de manejo y planificación dentro de este tan particular humedal urbano. Además, se busca que los resultados de la revisión comprueben, a partir de la identificación de las principales áreas de las ciencias biológicas y principales grupos de organismos que se han estudiado, la importancia biológica de la zona y su contribución al desarrollo estructural de una red de colaboración inter y transdisciplinaria.

## ÁREA NATURAL PROTEGIDA ESTERO EL SALADO

El ANP estero El Salado (Figura 1) tiene un canal principal de 2 km de largo, 20 m de ancho y una profundidad promedio de 2 m. En la década de 1960 su boca fue modificada por la rada portuaria (área de dársena de 155,000 m<sup>2</sup>) y al final de la década de 1980 casi un 50% de la cobertura original del manglar se desmontó para construir la marina, un campo de golf y áreas residenciales. En el estero inciden 14 escurrimientos fluviales continuos e intermitentes a lo largo del año, donde los máximos aportes son en la época de lluvias que abarca los meses de junio a noviembre.

El Salado fue decretado por el Gobierno del Estado de Jalisco como Área Natural Protegida el 27 de julio de 2000. Esta acción protegió inicialmente una superficie de 168 ha, de las que aproximadamente 125.6 ha correspondían a vegetación de manglar y marisma. Para la zonificación del Área Natural Protegida se decretaron tres usos: zona de conservación (67% de la superficie), zona de uso público (15%) y zona de restauración (8%). A partir de la consulta pública con mesas de trabajo y cuestionarios presenciales o digitales, así como la creación del plan maestro para el rescate del Estero, la superficie protegida se incrementó a 208.2 ha en el año 2020, con 85% para conservación, 14% para uso público y 0.5% para restauración. El Salado tiene estatus de Zona de Conservación Ecológica y se rige de acuerdo con su Plan de Manejo y lineamientos del Fideicomiso Estero El Salado (FIDEES). Es administrado por la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET), dependencia del Gobierno de Jalisco. Las áreas del FIDEES comprenden 280 ha que incluye la zona de amortiguamiento, un espacio muy importante para el desarrollo del estero. Entre la vegetación presente en el ANP, al igual que en los terrenos del FIDEES, están la vegetación de humedal que representa el 85% de la superficie total del ANP y corresponde a manglar (65.18%), vegetación halófila (9.35%) y vegetación acuática (3.75%). También, se tienen coberturas significativas de bosque tropical caducifolio y subcaducifolio, bosque espinoso, vegetación secundaria, pastizal y zonas de uso urbano y suelo desnudo. En el ANP se han registrado 224 especies de plantas, 162 de mariposas, 134 de aves, 29 de mamíferos, 23 de herpetofauna, 12 de hormigas y 12 de peces.

Dentro del estero se restringen las actividades de caza y pesca. Las actividades como el cambio de uso de suelo, el vertimiento de aguas residuales, el desvío de cauces y la creciente infraestructura ponen en riesgo su funcionamiento.

## CONOCIMIENTO ACUMULADO SOBRE EL ANP ESTERO EL SALADO

Entre 1994 y 2016, el ANP estero El Salado ha sido un espacio para la investigación científica, la cual se refleja en las 96 publicaciones encontradas en revistas científicas, bibliotecas de universidades, memorias de reuniones académicas, informes para instituciones locales y de gobierno (Figura 2). La revisión de estos trabajos permitió establecer que la colaboración científica entre autores e instituciones ha sido importante para su realización, ya que en el 67% de estos se reporta a más de un autor y más de una institución. De hecho, la mayor proporción de estas publicaciones (68%) corresponden a tesis de licenciatura, memorias de congresos nacionales y artículos científicos (Figura 3).

Las investigaciones publicadas fueron desarrolladas principalmente por estudiantes y académicos de la Universidad de Guadalajara (UDG) con un enfoque hacia el conocimiento de los seres vivos y su biología (Figura 4). De hecho, la UDG fue quien elaboró el Plan de Manejo, aprobado en el año 2000 por el Gobierno del Estado de Jalisco, para la declaratoria del ANP. A partir del decreto, el número de trabajos de investigación se incrementó, donde se destaca la edición en el 2014 de los libros «Biodiversidad del estero El Salado» y «Guía de aves más comunes del estero». Sin embar-

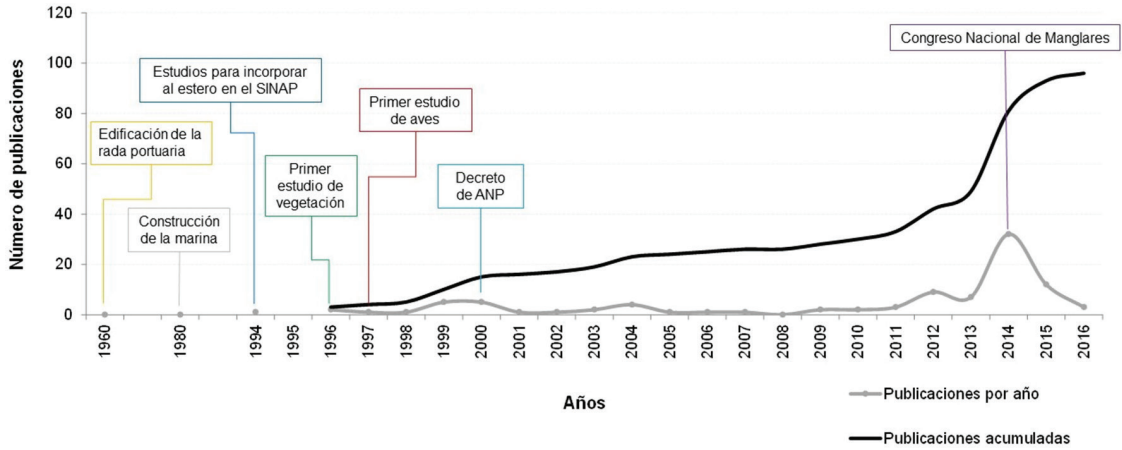


Figura 2. Número de publicaciones y eventos relacionadas con el quehacer académico en el estero El Salado desde 1960 hasta el 2016. SINAP= Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Elaboración propia.

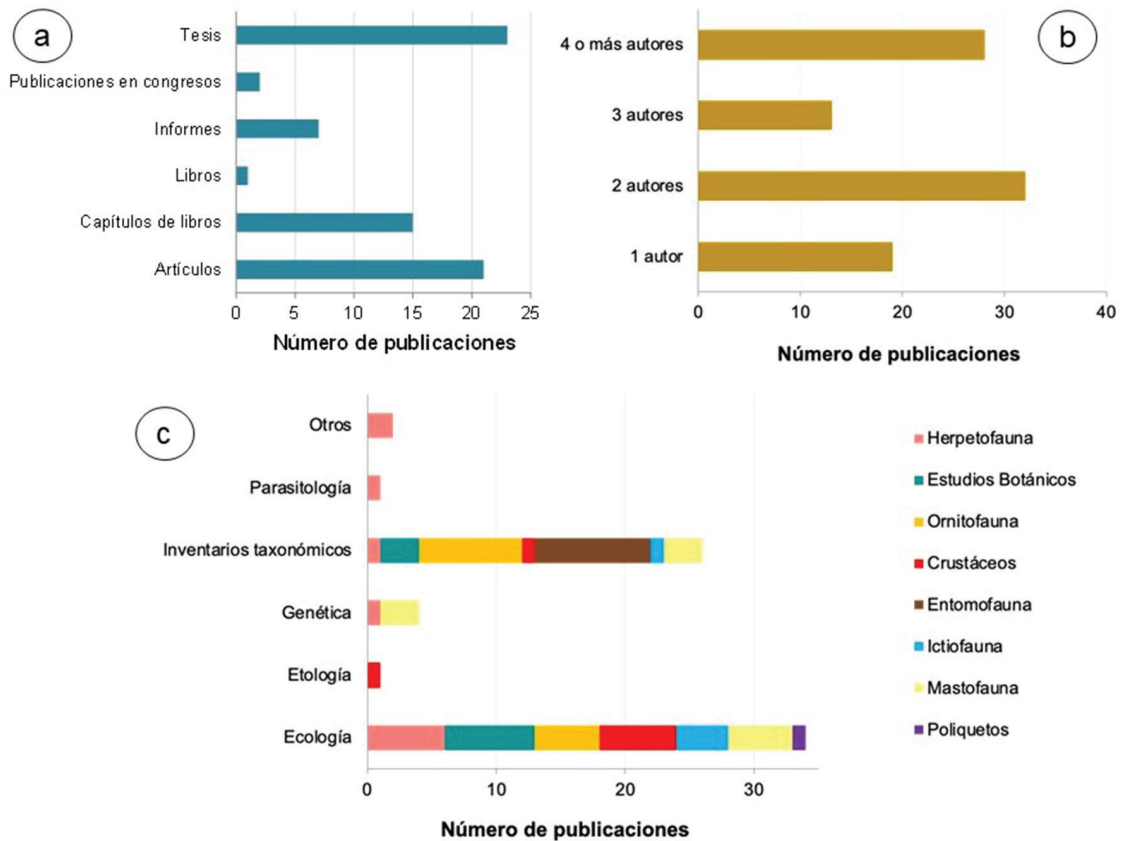


Figura 3. Número de publicaciones por tipo de documento (a), por número de autores (b) y área de investigación en la ciencia biológica (c) relacionadas con el estero El Salado. Elaboración propia.

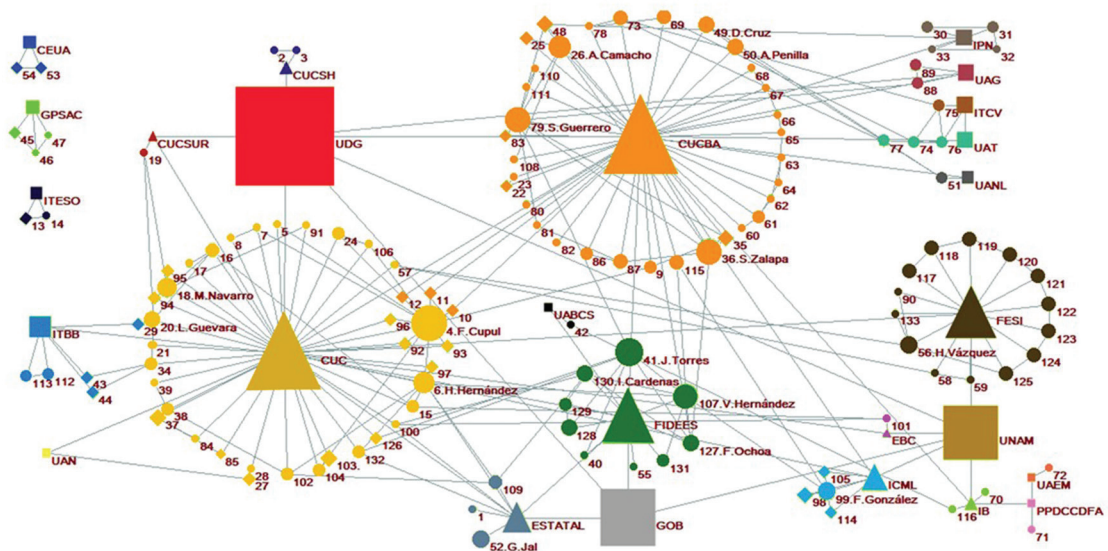
go, a partir del 2015 la publicación disminuyó drásticamente, tal vez como resultado del desinterés en la investigación en el área, tendencia que se conserva hasta la actualidad.

La investigación dentro del El Salado ha involucrado a 16 instituciones y 133 autores (Figura 4). Entre las instituciones se encuentra una extranjera (Center of the California

Department of Food & Agriculture), una asociación civil (Guacamayas para siempre A.C.) y dependencias del Gobierno del Estado de Jalisco. Solo el 20% de los estudios fue generado por un autor, por lo que en el resto se destacó la colaboración entre autores e instituciones (Figura 3). El perfil de los autores correspondió a investigadores (69%), estudiantes (21%),

Tipos de autores	Total
Investigadores	92
Estudiantes	29
Trabajadores del ANP	9
Independientes	3

- Autores con más publicaciones**
- 4. F. G. Cupul-Magaña (20 publicaciones)
  - 41. J. Torres-Guerrero (12)
  - 79. S. Guerrero-Vázquez (10)
  - 36. S. Zalapa-Hernández (10)
  - 107. V. Hernández-Santos (10)



**Instituciones con mayor cantidad de publicaciones**






-  Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA-UDG)
-  Centro Universitario de la Costa (CUC-UDG)
-  Fideicomiso para la protección del Estero del Salado y desarrollo de las áreas Colindantes (FIDEES)
-  Facultad de Estudios Superiores Iztacala (FESI-UNAM)
-  Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML-UNAM)

Figura 4. Redes de colaboración entre autores e instituciones relacionadas con el estudio del estero El Salado. Elaboración propia.

trabajadores del ANP (7%) y autores de asociaciones independientes o de gobierno (2%).

Del total de las publicaciones, el 72% aborda la biodiversidad y, de esta proporción, el 82% corresponden a temas de ecología e inventarios taxonómicos (Figura 3). Los grupos de seres vivos más frecuentemente citados como objeto de estudio en artículos científicos y tesis son los insectos (mariposas, abejas, hormigas y otros), las aves y la vegetación. Los nematodos y el zooplancton se investigaron con menor frecuencia. Los estudios sobre el funcionamiento y servicios que generan los ecosistemas del estero fueron escasos. Por ejemplo, solo se encontró un estudio de evaluación de los servicios culturales proporcionados por el estero, servicios relacionados con las actividades de recreación y turismo de naturaleza.

La revisión sistemática presentada líneas arriba, aunada al reciente anuncio de las autoridades locales de gobierno sobre la construcción de un complejo deportivo y de usos múltiples de gran tamaño, traen de nuevo a la discusión el hecho de que el plan de manejo del ANP. Estero El Salado presenta una dicotomía crítica entre los esfuerzos de conservación y la presión incesante del desarrollo urbano circundante. El estero El Salado ha fungido como un laboratorio vivo esencial para la generación de conocimiento científico y la vinculación inter y transdisciplinaria. Desde su creación como ANP, se realizan actividades de difusión y divulgación ambiental para los habitantes de la región de Bahía de Banderas, así como para visitantes nacionales y extranjeros (Figura 5). En 2020, se amplió la superficie protegida a 208.2 ha, derivada de una consulta pública y la implementación de un Plan Maes-

tro, lo que representó un avance significativo en el reconocimiento social y gubernamental de su biodiversidad y los servicios ecosistémicos que provee como humedal urbano (por ejemplo: protección contra inundaciones y regulación climática). Sin embargo, la propuesta de construcción del «Estadio Metropolitano El Salado» en las inmediaciones del estero, introduce un escenario de antagonismo ecológico que merece una reflexión sobre sus efectos en el corto, mediano y largo plazo.

En el corto plazo, la fase de construcción del estadio generará contaminación acústica y lumínica, afectando a la fauna residente, particularmente a las aves y mariposas, grupos biológicos que históricamente han sido de los más estudiados y que sirven como bioindicadores de la salud del estero. Asimismo, el movimiento de tierras amenaza con obstruir o alterar los 14 escurrimientos fluviales que alimentan el humedal, repitiendo patrones históricos de desecación y modificación hidrológica que ya han reducido la cobertura original del manglar en un 47%. A mediano plazo, la operación del estadio intensificará la presión antropogénica sobre la zona de amortiguamiento administrada por la SEMADET. El incremento del flujo vehicular y humano eleva la probabilidad de contingencias ambientales, con impactos similares a los causados por el vertimiento de turbosina y aguas residuales que, aun hoy en día, son abordados con acciones de restauración por parte del personal del ANP. A largo plazo, la consolidación de infraestructura gris, como el estadio y fraccionamientos, contradice los objetivos del Plan Maestro y la reciente ampliación del polígono protegido a 208.2 hectáreas. La urbanización adyacente compromete irreversiblemente la provisión de servi-



**Figura 5.** El estero El Salado es una ANP en donde se realizan prácticas de campo para estudiantes de licenciatura (a), así como actividades de educación ambiental para visitantes y estudiantes de la región de Bahía de Banderas (b, c, d). Fuente: Sandra Quijas.

cios ecosistémicos críticos, como el hábitat para especies silvestres, la protección contra inundaciones, la regulación de la calidad de agua y la regulación climática, degradando la resiliencia del humedal frente a eventos extre-

mos y socavando el esfuerzo de conservación que por décadas se ha fomentado desde la academia y las organizaciones de la sociedad civil en beneficio del estero El Salado, el ANP y el humedal de importancia nacional.

## CONCLUSIONES

El ANP estero El Salado es un reservorio indispensable de biodiversidad y proveedor de servicios ecosistémicos para Puerto Vallarta, acciones validadas por más de dos décadas de investigación científica y colaboración inter y transdisciplinaria. A partir de las publicaciones revisadas y recientes anuncios locales y estatales sobre inversión en infraestructura gris en los márgenes del estero, a pesar del incremento de área protegida y consolidación de un Plan Maestro de manejo, es posible plantear la existencia de una desconexión significativa entre el conocimiento académico acumulado y la toma de decisiones políticas, factor crítico de deterioro para este humedal.

A pesar de la biodiversidad documentada, el funcionamiento del estero depende estrictamente de mantener sus conexiones hidrológicas y áreas de vegetación, las cuales son altamente vulnerables a la fragmentación por el desarrollo de infraestructura masiva. Por consiguiente, es recomendable impulsar la realización de estudios más amplios en el área, con la finalidad de conocer a profundidad el impacto de la declaratoria de protección a más de 25 años de su decreto. Asimismo, es transcendental garantizar la permanencia de este humedal urbano de importancia nacional, al demandar que la gestión pública trascienda el discurso de protección y detenga la autorización de obras que contradigan la vocación de conservación del ANP, asegurando que la biodiversidad, funcionamiento y servicios ecosistémicos que genera el estero El Salado prevalezcan sobre los intereses económicos.

## LITERATURA RELEVANTE

- Cupul-Magaña, F. G. y Cupul-Magaña, A. L. (1996). «El Salado»: ¿Vale la pena su estudio? *Suplemento Presencia Universitaria del Periódico El Informador*, (13),14-15.
- Falfán, I. y Zambrano, L. (2024). Urban wetlands for sustainable cities in Mexico. En C. Rojas Quezada (Eds.), *Urban Wetlands in Latin America* (pp. 33-48). Springer.
- Fideicomiso para la Protección del Estero El Salado y Desarrollo de las Áreas Colindantes. (2021). Área Natural Protegida zona de conservación ecológica Estero El Salado. Actualización del Plan de Manejo ANP, ZCE Estero El Salado. Consultado el 15 de enero de 2026. [https://transparencia.jalisco.gob.mx/informacion\\_fundamental/326](https://transparencia.jalisco.gob.mx/informacion_fundamental/326)
- Gómez-Graciano, F. S. y Cupul-Magaña, F. G. (2001). La técnica de análisis de amenazas como herramienta de diagnóstico ambiental: caso Estero El Salado. *Ciencia y Mar*, 5(14), 32-42.
- Guerrero, S., Navarrete-Heredia, J. L. y Contreras-Rodríguez, S. H. (Coords.). (2014). *Biodiversidad del Estero El Salado*. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa.
- Instituto de Información Territorial. (2013). *En poco más de medio siglo, el estero El Salado ha perdido 150 hectáreas de su superficie*. Gobierno del estado de Jalisco. Consultado el 30 enero de 2026. [https://iieg.gob.mx/contenido/GeografiaMedioAmbiente/iterritorial\\_notatecnica\\_06\\_2013.pdf#page=7.00](https://iieg.gob.mx/contenido/GeografiaMedioAmbiente/iterritorial_notatecnica_06_2013.pdf#page=7.00)

# Inteligencia artificial desde Latinoamérica. Diálogo y debate en permanente actualización

Gabriela Scartascini Spadaro

**RESUMEN.** Desde la pandemia, la hibridación –clase presencial y digital (a distancia)– en los formatos de procesos de enseñanza-aprendizaje forma parte cotidiana de la planificación de las actividades curriculares. Es un método que podríamos describir como estrategia pedagógica para dar continuidad al aprendizaje más allá del aula.

En la búsqueda por fortalecer el pensamiento crítico, la creatividad, la resolución de problemas o la capacidad para el razonamiento coherente y cohesivo –todas habilidades y competencias que buscan el desarrollo del sujeto–, se generan actividades sincrónicas y asincrónicas para el aprendizaje continuo. A partir del regreso a la presencialidad, y aun cuando los docentes están reacomodando el proceso de comprensión de la hibridación, un nuevo recurso emerge como estrategia educativa: la inteligencia artificial (IA). Y, nuevamente, por la inercia de este proceso

tecnológico, los docentes deben apropiarse de esta herramienta tan cotidiana para los estudiantes. Por ello, es el tiempo para que los docentes e investigadores se involucren en el fortalecimiento de su propio pensamiento crítico, creatividad y resolución de problemas para entender los mecanismos que fundamentan el uso de la IA en docencia y ciencia. El mundo ya está en el debate. América Latina también tiene propuestas para el diálogo y el debate. Sobre eso estaremos reflexionando.

*Palabras clave:* transición social, educación, investigación científica, complejidad, globalidad.

## LA IA EN ESCENA MUNDIAL

Imaginar coexistiendo y dialogando, consultando y acatando las sugerencias de una voz que nos llega desde una laptop, un *chatbot*, también parecía de ciencia ficción; sin embar-

Recibido: 21/02/2026

Aceptado: 25/02/2026

Publicado: 27/02/2026

Profesora Investigadora del Centro Universitario de la Costa de la Universidad de Guadalajara. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI) de México.

go, el uso de la inteligencia artificial está instalado en nuestro entorno y, por ello, como en cualquier situación dialógica, hay que saber escuchar y, como seres humanos, pensar en lo que nos dicen para la acción posterior. Este es uno de los desafíos de la complejidad de la globalidad tecnológica del siglo XXI.

Si estuviéramos hablando entre personas, escucharíamos y, luego, veríamos qué hacer o decir. Hagamos lo mismo. No al condicionamiento clásico de Pavlov de estímulo-respuesta o, en cuanto al aprendizaje, la teoría conductista de Skinner. No al plagio. Sí al conocimiento de la herramienta tecnológica que llegó para quedarse.

Como ejemplo, desde hace varios años, la Unión Europea ha destacado, en documentos, el camino para lograr el progreso humano a través del potencial de la IA. Y América Latina está enfocándose en un trabajo conjunto.

Tal es la presencia de la IA a nivel mundial que, en estos días de febrero de 2026, se realizó la «Cumbre de Impacto» en Nueva Delhi, India, la cual constituye el acuerdo diplomático más respaldado por los países sobre el uso de la IA. La «Declaración de Delhi» fue firmada por más de ochenta países con intereses económicos y geopolíticos en disputa, pero que, estratégicamente, logran cohesión en este tema. Entre los países firmantes, figuran Estados Unidos, China, Rusia, Irán, así como la Unión Europea. México es uno de los países latinoamericanos signatarios. El documento se basa en el establecimiento de un marco ético global y la implementación responsable bajo la supervisión última realizada por seres humanos.

La Universidad de Guadalajara (UdeG) publicó en 2023 la Guía práctica para la aplicación de la IA generativa en actividades académicas. En cuanto a reflexiones y análisis de



Figura 1. Imagen generada con la IA ChatGPT.

los investigadores e investigadoras de la UdeG, el Centro Universitario de la Costa, publicó, en 2025, un volumen de su serie «México en el mundo» que expone sobre los desafíos de la implementación de la IA en diversas áreas del desarrollo humano. El mismo Centro ya se cuenta, también, con un «Diplomado en IA generativa aplicada a la industria creativa».

El concepto está sobre la mesa de diálogo a la espera de, al menos, debatir sobre cómo lo consumiremos.

## REFLEXIONES A DEBATE

Adentrarse en la investigación del fenómeno conceptual, complejo y global de la IA es un camino que abre numerosas brechas hacia las diversas dimensiones que lo han abordado y lo aplican en su cotidianidad. En cuanto al ámbito de la educación y la ciencia, lograr un pensamiento razonado coherente sobre el tema, ya sea para apropiarse del recurso tecnológico o encontrar la forma de ponerle un límite en las clases o en las investigaciones académicas, requiere avanzar en su conocimiento de manera continua pues es probable que, sobre este tema, estemos «en una carrera contra el tiempo» si no decidimos qué haremos y cómo lo entendemos. Para ello, puede ser pertinente una guía sobre espacios de lectura y reflexión en el cual surgirá, tal vez, un debate y, también, por qué no, la propia fundamentación para su uso que no es dable desechar pues, en cuanto a la IA: ALEA IACTA EST, «La suerte está echada».

La Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales –FLACSO– es una de las instituciones que fortalece su perspectiva sobre la IA a través del debate, el diálogo, la investigación y la reflexión.

Valeria Odetti es Coordinadora del Programa de Educación a Distancia de FLACSO, Argentina y Coordinadora de FLACSO Virtual, Uruguay. Es Profesora asociada e investigadora de la Universidad de la Ciudad de Buenos Aires y uno de los miembros fundadores de la Red Académica de Educación e Inteligencia Artificial –RAEIA–, sitio web del cual hablaremos en este artículo. Con ella, se realizó esta entrevista.

En México hablamos del formato presencial enriquecido que es un viaje hacia la virtualidad en Educación. ¿Cómo se denomina en el sur de América?

En FLACSO, fuimos una universidad pionera en implementar la educación a distancia. Llevamos más de veinte años con campus virtual. El 80% de nuestra oferta es a distancia.

A partir de la pandemia, se empezó a hablar de diferentes maneras de articular la presencialidad con la distancia. Una de ellas, la llamamos «aula aumentada» que son propuestas donde la presencialidad es el espacio más importante, pero que están enriquecidas con



Figura 2. Imagen generada con la IA ChatGPT.

aulas virtuales con actividades asincrónicas, cuestiones que trascienden el límite del aula.

En el año 2023, hicimos una evaluación institucional sobre un modelo que tenía FLACSO Ecuador y, a partir de ahí, construimos una serie de categorías y tenemos en Argentina una normativa para todo el sistema universitario que establece qué es la presencialidad, la virtualidad y cuáles son las formas de integrarlas con diversas estrategias ya que esto impacta en la acreditación de las carreras que, aunque sean provinciales, quien acredita es la Nación; por ello, hay que establecer en qué modalidad. En este sentido, tenemos bastante desarrollo en este tema sobre las dos grandes formas del trabajo en clase y sus estrategias de hibridación. La decisión sobre cómo se trabajará en determinada carrera, debe quedar registrado en el Ministerio de Educación de la Nación.

### ¿Cómo se incorpora la IA a esta metodología?

Todavía no hay nada institucionalizado sobre la IA. En principio, la discusión universitaria se basa en si es posible construir algún tipo de normativa sobre su uso.

Hay estudios exploratorios. Hay un estudio de FLACSO México para todas las sedes que se está trabajando.

### Con base en la utilización de la IA, ¿cómo pensar el plagio?

Hay toda una discusión. En general, las instituciones afirman que hay que penalizar el uso de IA porque lo asimilan al plagio. El uso de la IA no es lo mismo que plagio. En la institución tenemos otro criterio en el Programa de Educación a Distancia de FLACSO, estamos trabajando sobre la transparencia en el uso; es decir,

si yo la uso, digo que la utilicé. Y para qué y qué herramientas usé, tanto para los estudiantes como para el cuerpo docente porque hay muchos casos de penalización sobre el trabajo de los estudiantes, pero no sobre el trabajo de los docentes.

Entonces, creemos que la norma ética debe ser para todos y, entonces, cuando yo escribo clases para un seminario, informo «esta clase fue hecha con asistencia de» y menciono qué IA usé y para qué; lo mismo los artículos académicos que producimos. Lo que pasa es que todavía hay un vacío normativo. Empieza a ser cómo construir formas de uso, pero no es que hay una norma que regule.

### Abrir el debate, mover la reflexión puede ser la manera de ir definiendo y definiéndonos como sujetos frente a la herramienta tecnológica

Entre varias instituciones educativas, creamos una red que se llama «Red Académica de Educación e Inteligencia Artificial» –RAEIA–. Somos docentes e investigadores que trabajamos sobre las relaciones de la IA y la Educación en distintos niveles educativos. Se creó con investigadores de Argentina y Uruguay, pero se empezó a extender y tiene 200 miembros de toda Latinoamérica y hay de España también. La página es [www.raeia.org](http://www.raeia.org)

La idea de la Red es, por un lado, tener una voz latinoamericana sobre el tema porque, en general, casi todas las publicaciones están en otro idioma y llegan desde otros lugares geográficos y tuvimos dos acciones: la primera, tener un catálogo digital sobre IA que está disponible y abierto en la Red y la otra es un estudio latinoamericano sobre el uso educativo en las prácticas de enseñanza de la IA en

## Temas en los que trabajamos y preguntas que nos hacemos:

### **IA y equidad**

¿Cómo evitar que las herramientas de IA reproduzcan y amplifiquen las desigualdades ya existentes en nuestros sistemas educativos latinoamericanos?

### **Aulas heterogéneas**

¿Qué criterios pedagógicos deberían guiar las decisiones sobre cuándo la IA contribuye a la creación de experiencias educativas comunes?

### **Construcción de conocimiento con IA:**

¿Cómo distinguir entre la facilitación genuina del aprendizaje y la mera delegación de la construcción de conocimiento a la IA?

¿Estamos preparados para enseñar a los estudiantes a identificar cuándo NO usar IA?

¿Qué significa «ser original» en la era de la IA generativa?

### **IA y formación docente**

¿Qué nuevas competencias necesitan desarrollar los docentes para mantener su rol de mediadores pedagógicos en este contexto?

¿Cómo evitar que los docentes se conviertan en meros «operadores» de sistemas de IA?

### **IA y toma de decisiones**

¿Qué nuevos marcos éticos y pedagógicos necesitamos para distribuir responsablemente la toma de decisiones sobre el uso de IA entre los diferentes actores educativos?

Figura 3. Imagen tomada de [www.raeia.org](http://www.raeia.org).

todos los niveles. Ese estudio está armado con el concepto de ciencia abierta para que cualquiera pueda tomarlo pues queremos, de verdad, mapear y saber qué se está haciendo y eso va a poder orientar sobre las normas que hay que construir y también sobre las capacitaciones que faltan porque que tal vez lo estemos haciendo de manera espontánea y debemos pensarlo de forma más sistemática.

### ¿Quiénes conforman la Red?

Entre los miembros fundadores, por Argentina, contamos con docentes e investigadores en universidades de distintos estados provinciales; puedo mencionar, entre otros, a Graciela Paula Caldeiro, Marcela Ordiz, Celeste Cifre, Fabiana Grinsztajn y Diego Craig; de Uruguay, a Domingo Borba Franco y José Miguel García.

Somos educadores, investigadores y especialistas en educación y tecnología de universidades públicas y privadas que generamos un espacio para reflexionar, generar conocimiento y proyectos en relación con las transformaciones en los procesos de enseñanza-aprendizaje que se están produciendo a partir de la IA.

### ¿Cuál podríamos decir que es una idea fundacional?

Tenemos una premisa que compartimos con la gente que pertenece a la Red que es «el docente solo no va a poder con esta tecnología»; hay que acompañarlo, formándolo y dándole marcos legales, normativos, éticos y pedagógicos sobre el uso porque no es algo que pueda realizarlo una persona sola ya que es una transformación muy profunda.

Intentamos poder brindar herramientas concretas. Ya sean videos como artículos académicos con sentido de divulgación para que los docentes se formen y empiecen a mirar con mayor pensamiento crítico estas herramientas. En general, todas las publicaciones te dicen cómo usarla. Creemos que hay que dar un paso previo y pensar qué implica ese uso, qué cuestiones se ponen en juego cuando yo decido usar una IA porque hay cuestiones no solamente éticas, sino de sesgo pedagógico y procesos

cognitivos que se dejan de hacer con el uso de la IA y eso va a tener un impacto en las nuevas generaciones por eso, sería pertinente mirar «con mayor lupa» qué hacemos con esto.

### ¿En qué temas se centra la biblioteca de la RAEIA?

Es valioso comentar que es un espacio de ciencia abierta. En general, hay mucho material sobre cómo realizar actividades se centran en cómo para diseñar sobre cómo le doy las

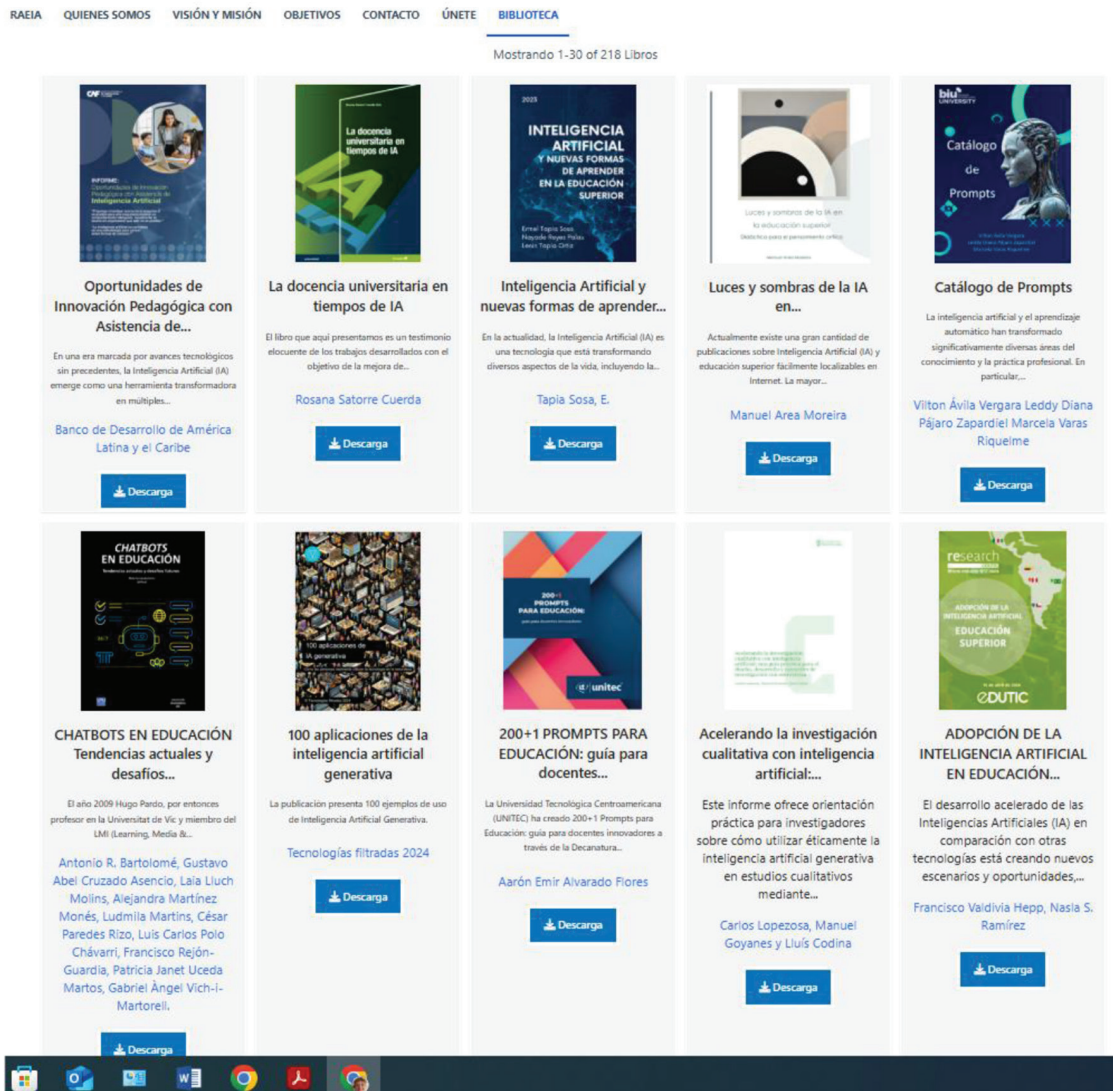


Figura 4. Imagen tomada de www.raeia.org.

indicaciones a la herramienta para que lo haga y no cómo indagar acerca de cuál es el modelo pedagógico con el que se entrenó a esa IA.

El problema puede ser que los prompts (esas indicaciones) no tienen en cuenta el modelo pedagógico. Depende desde uno se posicione: si desde el modelo pedagógico que la genera o si la actividad sirve. La cuestión de la IA es que, en apariencia es formal, lógica y perfecto; en consecuencia, es difícil ver que detrás de eso existen decisiones didácticas que se tomaron que no necesariamente van en la línea de lo que uno quiere hacer y que no alcanza con un prompt (nosotros lo llamamos «prompt ingenio») porque hay un modelo de entrenamiento de la herramienta que te va llevando todo el tiempo en otra dirección y el tema es que te lleva en otra dirección de manera tan lógica que se «cae en la trampa».

Hay mucha bibliografía sobre cómo diseñar actividades y falta aquella que habla sobre desde qué modelo pedagógico está posicionada la IA. Ya contamos con más de doscientos libros en nuestra biblioteca abierta y gratuita y, a medida que vaya incrementándose, seguramente entraremos en aspectos asociados a la pedagogía y los sesgos conceptuales, ya sea en educación e investigación.

Continuaremos con el debate de idea y el diálogo reflexivo pues ya nos adaptaremos, así como fue, de un día para el otro, entrar a las plataformas como Classroom o Moodle y conectar con estrategias para lograr contacto a pesar de la distancia y un proceso de enseñanza-aprendizaje efectivo y real. Sabemos que el diálogo, el intercambio de experiencias y el debate sobre aspectos aso-

ciados a esta temática, están asociados a una compleja interrelación con las dimensiones política, económica, legal, social y, por supuesto, educativa. Por eso, vale la pena seguir reuniéndonos, reflexionando y divulgando las propuestas académicas que surgen para mantener activo y fructífero el debate sobre IA en la Educación y la investigación científica.

## LITERATURA RELEVANTE

- Arcos, A. (2026). *Declaración de Nueva Delhi en IA promueve 7 pilares para democratizar y confiar en la IA; México entre los 88 signatarios*. <https://revistafortuna.com.mx/2026/02/21/declaracion-de-nueva-delhi-en-ia-promueve-7-pilares-para-democratizar-y-confiar-en-la-ia-mexico-entre-los-88-signatarios/>
- Krishnan, M. (2026). *El impulso a la gobernanza de la IA en India ocupa un lugar central en la cumbre*. <https://www.dw.com/en/indias-ai-governance-push-takes-center-stage-at-summit/a-76058826#:~:text=India%20is%20the%20first%20developing,2023%2C%20centred%20on%20existential%20risks>
- Rodríguez Melchor, V., Talavera Curiel, M. y Marcial, J. (coords.) (2025). *México en el mundo. Inteligencia artificial. Nuevas fronteras y desafíos*. <https://www.cuc.udg.mx/publicaciones/mexico-en-el-mundo-inteligencia-artificial-nuevas-fronteras-y-desafios>
- Unión Europea (2018). *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones Inteligencia artificial para Europa*. <https://>

eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0237

Universidad de Guadalajara (2023). *Universidad de Guadalajara Sistema de Universidad Virtual Orientaciones y definiciones sobre el uso de la inteligencia artificial generativa en los procesos académicos* Guía práctica.

[https://www.udgvirtual.udg.mx/sites/default/files/adjuntos/guia\\_ia\\_udg.pdf](https://www.udgvirtual.udg.mx/sites/default/files/adjuntos/guia_ia_udg.pdf)

— (2026). *Diplomado en Inteligencia Artificial generativa aplicada a la industria creativa*. <https://www.cuc.udg.mx/oferta-academica/diplomado-en-inteligencia-artificial-generativa-aplicada-la-industria-creativa>

# Microplásticos, la invasión silenciosa

José Luis García-Cruz<sup>1</sup>, Gabriel Núñez-Nogueira<sup>2</sup>,  
Francisco López-Villarreal<sup>1</sup>, Rebeca Yasmín Pérez Rodríguez<sup>3</sup>,  
Graciela María Pérez Jiménez<sup>4</sup> y César Antonio Sepúlveda-Quiroz<sup>1</sup>

**RESUMEN.** La contaminación por microplásticos es una crisis ambiental global. Este artículo revisa su ciclo completo, desde su origen como productos de consumo masivo que, al degradarse, generan partículas microscópicas de larga persistencia, hasta su dispersión por todos los ecosistemas acuáticos. Estas partículas actúan como vectores de contaminantes químicos y patógenos bacterianos, entrando inevitablemente en la cadena alimenticia a través de la ingestión por la fauna marina. La exposición crónica puede provocar daños multisistémicos en los organismos, incluyendo disfunción digestiva, estrés hepático, alteraciones reproductivas, neurotoxicidad y daño genético. La evidencia concluye que los microplásticos representan una amenaza

compleja para la salud de los ecosistemas y potencialmente para los humanos, exigiendo acciones urgentes para reducir su flujo hacia el medio ambiente.

## INTRODUCCIÓN

Imagina un material tan útil y barato que lo usamos para casi todo: desde envases de comida hasta componentes de nuestros celulares. Ese material es el plástico, y su éxito es también su mayor problema. Cada año, producimos más de 350 millones de toneladas, un peso equivalente a millones de ballenas azules apiladas. Pero aquí está la trampa: cuando los desechemos, no se van. Su durabilidad, una de sus grandes virtudes, se convierte en una pesa-

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Villahermosa.

<sup>2</sup> Laboratorio de Contaminación Acuática y Toxicología, División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

<sup>3</sup> Laboratorio de Servicios de Espectroscopía, Cromatografía y Calorimetría DCNyE, Departamento de Química. Universidad de Guanajuato.

<sup>4</sup> Laboratorio de Fisiología en Recursos Acuáticos, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Recibido: 10/02/2026

Aceptado: 01/03/2026

Publicado: 03/03/2026

dilla ambiental, ya que algunos pueden persistir en la naturaleza ¡hasta mil años!

¿Qué les sucede entonces? El sol, el viento y las olas los atacan lentamente, rompiéndolos en pedazos cada vez más pequeños. Así nacen los microplásticos (partículas casi imperceptibles, menores a 5 mm) y los nanoplásticos (tan diminutos que son como motas de polvo microscópicas, menores a la milésima parte de un milímetro).

Lo más alarmante es que estas partículas han invadido hasta el último rincón del planeta. No solo flotan en nuestros mares: se han encontrado en las fosas oceánicas más profundas, en la nieve remota del Ártico e incluso en el aire de montañas como el Tíbet. Son viajes globales e invisibles.

En ríos, lagos y océanos, su presencia es especialmente peligrosa. Los animales marinos, desde el plancton más pequeño hasta los grandes peces, pueden confundirlos con comida o absorberlos sin darse cuenta. Así, estos fragmentos van subiendo por la cadena alimenticia, amenazando la salud de los ecosistemas en todos sus niveles. Un problema creado por nosotros, que ahora afecta a toda la vida en el agua.

## ¿CÓMO LLEGAN LOS MICROPLÁSTICOS AL MAR? UN VIAJE IMPARABLE

La cantidad de plástico que desemboca en los océanos cada año es abrumadora: se calcula que entre 5 y 13 millones de toneladas. Para visualizarlo, sería como vaciar un camión de basura lleno de plástico en el mar cada minuto.

Pero ¿cómo logran estos plásticos, y sobre todo los microplásticos invisibles, llegar hasta

allí? Su viaje comienza en tierra firme y tiene varias «carreteras» principales:

1. *Por el desagüe*: muchas microesferas de productos cosméticos o las fibras que sueltan nuestras prendas al lavarlas escapan de las plantas de tratamiento y llegan a ríos y mares a través de las aguas residuales.
2. *Por la lluvia y el viento*: la escorrentía superficial arrastra desde los campos agrícolas (donde se usan plásticos en invernaderos y acolchados) hasta la basura mal gestionada de las ciudades. Además, partículas ligeras son levantadas por el viento y transportadas por la atmósfera, cayendo luego con la lluvia o el polvo en lugares remotos.
3. *Por la mala gestión*: la erosión de suelos, los vertederos incontrolados y los residuos industriales mal manejados son fuentes masivas que, tarde o temprano, son arrastradas por tormentas o vientos hacia la red fluvial.

## UN VIAJE SIN FIN DENTRO DEL AGUA

Una vez que estas partículas llegan a un río, lago o mar, su viaje no termina. Se convierten en «pasajeros» del agua, y su destino depende de una compleja combinación de factores:

- *De la propia partícula*: su tamaño, densidad (si flota o se hunde) y composición química.
- *Del entorno acuático*: la temperatura, la salinidad, las corrientes y la turbulencia del agua.

Esta interacción determina dónde acabarán. Algunas, como las fibras o microesferas poco densas, pueden viajar flotando a la deriva durante miles de kilómetros. Otras, más pesadas o que se adhieren a materia orgánica, terminarán hundiéndose y acumulándose en

los sedimentos del fondo, desde las desembocaduras de los ríos hasta las llanuras abisales más oscuras. Así, los microplásticos no se quedan en un solo lugar; se distribuyen por toda la columna de agua, desde la superficie hasta el lecho marino, colonizando literalmente cada nivel del ecosistema acuático.

## TIPOS DE MICROPLÁSTICOS: ¿DE DÓNDE VIENEN Y CUÁNTO DURAN?

Para entender el problema de los microplásticos, primero debemos clasificarlos según su origen. No todos nacen iguales:

- *Microplásticos primarios*: son aquellos que se fabrican ya con tamaño microscópico para un propósito específico. Los encuentras como microesferas en exfoliantes, pastas dentales o algunos cosméticos, y como abrasivos en ciertos productos industriales. Se diseñaron para ser diminutos desde el inicio.
- *Microplásticos secundarios*: estos son la mayoría y nacen de la «muerte lenta» de obje-

tos plásticos más grandes. Son el resultado de la fragmentación, por efecto del sol y la erosión, de botellas, bolsas, neumáticos, redes de pesca abandonadas y, muy notablemente, de las fibras textiles que se desprenden de nuestra ropa sintética (como el poliéster o el nylon) cada vez que lavamos una carga.

## LOS SOSPECHOSOS HABITUALES: UNA GALERÍA DE MATERIALES CASI ETERNOS

La gran mayoría de los plásticos que inundan nuestro entorno pertenecen a unas pocas familias de polímeros. Su «superpoder» es también su mayor defecto: una resistencia extrema que se traduce en una degradación increíblemente lenta. La Tabla 1 nos muestra los tipos más comunes, su uso cotidiano y su persistencia estimada en el ambiente:

Como vemos, los plásticos más comunes en nuestro día a día y, por tanto, los que con mayor frecuencia terminan como microplásticos

Tabla1. Principales microplásticos distribuidos en el ambiente

Tipo de plástico	Nombre químico	¿Dónde se encuentran?	Fórmula química	Tiempo estimado de degradación
PET	Polietileno tereftalato	Botellas de bebidas, envases de alimentos.	$(C_{10}H_8O_4)_n$	450 años
HDPE	Polietileno de alta densidad	Botellas de leche, detergentes, juguetes, tuberías.	$(C_2H_4)_n$	100 - 600 años
PVC	Policloruro de vinilo	Tuberías, persianas, marcos de ventanas, cables.	$(C_2H_3Cl)_n$	100 - 1000 años
LDPE	Polietileno de baja densidad	Polietileno de baja densidad	$(C_2H_4)_n$	500 - 1000 años
PP	Polipropileno	Polipropileno	$(C_3H_6)_n$	100 - 500 años
PS	Poliestireno	Poliestireno	$(C_8H_8)_n$	50 - 500 años

en el agua son el polietileno (PE) de las bolsas, el polipropileno (PP) de los envases y tapas, y el PET de las botellas. Su legado en el planeta se mide no en décadas, sino en siglos, lo que significa que cada fragmento que generamos hoy será un problema para incontables generaciones futuras.

## LOS MICROPLÁSTICOS: AUTOBUSES PARA GÉRMESES PELIGROSOS

Una de las amenazas más invisibles y preocupantes de los microplásticos es su papel como transportistas de enfermedades. Estos diminutos fragmentos no viajan vacíos; por el contrario, se convierten en auténticos «micro-transatlánticos» para patógenos, creando un nuevo ecosistema que los científicos han bautizado como la «plastisfera».

## ¿POR QUÉ LES GUSTA TANTO A LOS GÉRMESES VIAJAR EN PLÁSTICO?

La superficie de la mayoría de los plásticos es perfecta para que los microorganismos se adhieran y formen comunidades. Su textura y propiedades químicas (son hidrofóbicos, es decir, «repelen» el agua) facilitan que bacterias, virus y otros microbios se anclen y formen rápidamente una capa viscosa y resistente llamada biofilm (una especie de «ciudad microbiana» en miniatura).

Lo alarmante es que entre estos pasajeros indeseables se han identificado bacterias peligrosas para la salud, como:

- *Vibrio*, asociada a infecciones gastrointestinales y común en estuarios.
- *Escherichia coli* (*E. coli*), algunos tipos pueden causar enfermedades graves.

- *Stenotrophomonas maltophilia* y *Bacillus cereus*, que pueden ser problemáticas en entornos hospitalarios o en intoxicaciones alimentarias.

## EL RIESGO DEL VIAJE SIN FRONTERAS

Al adherirse a los microplásticos, estos patógenos logran algo que de otra forma les sería muy difícil dispersarse a largas distancias. Las corrientes oceánicas y fluviales transportan estas partículas contaminadas a miles de kilómetros, llegando a áreas geográficas y ecosistemas nuevos. Esto supone un riesgo doble:

1. Para la fauna marina: animales como peces, tortugas o ballenas, que ingieren los microplásticos, pueden exponerse directamente a estas bacterias, aumentando el riesgo de enfermedades en poblaciones locales.
2. Potencial riesgo humano: a través de la cadena alimenticia (por ejemplo, al consumir pescado o marisco que ha ingerido estos

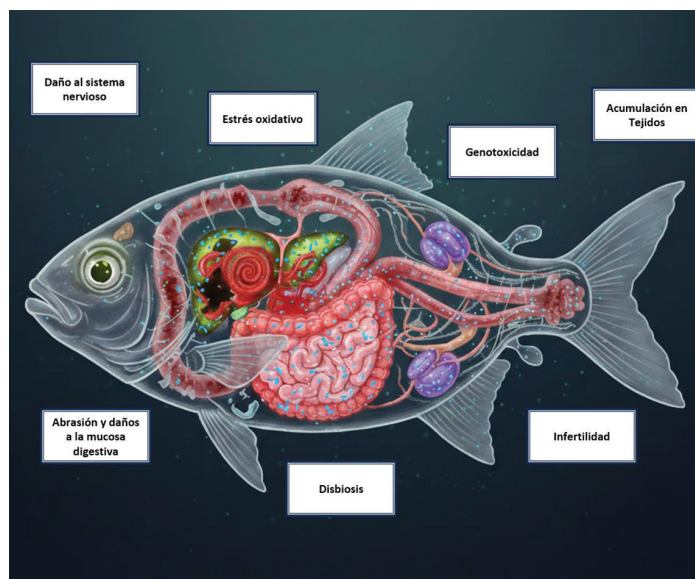


Figura 1. Principales afectaciones de los microplásticos en peces.

plásticos), existe una ruta potencial de exposición para los seres humanos.

## UN PELIGRO ADICIONAL: LA FARMACIA DE LA PLASTISFERA

Investigaciones recientes apuntan a un peligro aún más sutil: la plastisfera puede actuar como un «laboratorio» para la resistencia a los antibióticos. En el biofilm que recubre el plástico, las bacterias están muy próximas y en condiciones que favorecen el intercambio genético. Esto facilita que los genes que confieren resistencia a los antibióticos se pasen de una bacteria a otra, potenciando la creación y dispersión de «superbacterias» difíciles de tratar.

## MICROPLÁSTICOS EN EL MENÚ: CÓMO ENTRAN EN NUESTRA CADENA ALIMENTICIA

La invasión de los microplásticos ha llegado a la base misma de la vida en los océanos: la cadena alimenticia. Su ingreso en este sistema es casi inevitable, y ocurre de formas engañosas y alarmantes.

### El engaño perfecto: un menú tóxico

Para muchos animales marinos, distinguir entre comida y plástico es imposible. Por su tamaño, forma y colores comunes (como el blanco y transparente), los microplásticos se confunden fácilmente con el plancton, los huevecillos de peces u otras presas naturales. Este camuflaje tóxico engaña principalmente a los peces forrajeros (pequeños y abundantes, como las anchovetas o sardinas), que son el alimento clave de especies más grandes.

### Tres rutas principales de entrada:

1. *Ingestión directa*: los peces y otros organismos tragan activamente los microplásticos al confundirlos con comida. Una vez dentro, las partículas pueden atascarse en sus branquias, causando daños físicos y dificultando la respiración, o acumularse en su tracto digestivo, generando una falsa sensación de saciedad que puede llevarlos a la desnutrición.
2. *Filtración pasiva*: sin necesidad de tragarlos, los animales que filtran grandes cantidades de agua para respirar y alimentarse (como muchos peces que capturan plancton) pueden absorber microplásticos directamente a través de sus delicadas branquias durante el proceso de respiración.
3. *Transferencia trófica*: el ascenso en la pirámide alimenticia. Este es el proceso más preocupante. La contaminación no se queda en un solo nivel:
  - Comienza cuando el fitoplancton (microalgas) absorbe nanopartículas.
  - El zooplancton (como el krill) ingiere ese fitoplancton contaminado o directamente los microplásticos.
  - Un pez pequeño se come a ese zooplancton.
  - Finalmente, un depredador superior, como un atún, un pez grande o incluso un crustáceo como la langosta, se come a ese pez pequeño.

Así, los microplásticos bioacumulan, pasando de un eslabón a otro y concentrándose cada vez más a medida que suben en la cadena alimenticia.

## EL EFECTO «CABALLO DE TROYA»

Los microplásticos son más que basura inerte. Actúan como esponjas químicas, absorbiendo y concentrando contaminantes peligrosos que ya están en el agua, como:

- Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP): pesticidas y químicos industriales que no se descomponen.
- Metales pesados: como mercurio, plomo y cadmio.

Cuando un animal ingiere un microplástico contaminado, este hace de «Caballo de Troya». Los contaminantes adheridos a la partícula pueden liberarse dentro de sus tejidos, intoxicando al organismo y añadiendo una carga química letal a los daños físicos que ya causa el plástico.

## EL ATAQUE SILENCIOSO: CÓMO LOS MICROPLÁSTICOS DAÑAN A LOS PECES DESDE ADENTRO

La amenaza de los microplásticos va mucho más allá de atorar estómagos. La exposición crónica a estas partículas, especialmente a las nanométricas (las más pequeñas), desencadena un daño profundo y generalizado en los peces, afectando prácticamente todos sus sistemas vitales. Es un ataque lento e interno con consecuencias devastadoras.

### Un recorrido por el cuerpo afectado:

- Estómago e intestinos (sistema gastrointestinal): las partículas causan abrasiones, inflamación y úlceras en la delicada mucosa digestiva. Pueden bloquear físicamente el tracto, impidiendo la absorción de nutrien-

tes. El resultado es una desnutrición crónica, pérdida de peso y, en casos graves, la muerte por inanición, incluso con el estómago lleno de plástico.

- El hígado (centro de desintoxicación): este órgano vital, encargado de filtrar toxinas, es uno de los más afectados. Allí, los plásticos desencadenan estrés oxidativo (una forma de envejecimiento y daño celular acelerado), alteran el metabolismo de las grasas y la energía, y pueden provocar la muerte de células hepáticas (necrosis), comprometiéndose gravemente la salud del pez.
- Los músculos (tejido): estudios recientes han confirmado algo preocupante: los nanoplasticos pueden acumularse directa-



Figura 2. El camino de los microplásticos hacia el ambiente. Imagen generada con IA Gemini (2026).

mente en el tejido muscular. Esto no solo plantea un riesgo directo para los consumidores (incluidos los humanos), sino que afecta la calidad de la carne y limita la capacidad de crecimiento del animal.

- Fertilidad y hormonas (sistema reproductivo y endocrino): los plásticos son «Caballos de Troya» químicos. Llevan adheridos disruptores endocrinos (como el bisfenol A de los envases o los ftalatos de los PVC), que imitan o bloquean las hormonas naturales. Esto altera todo el sistema reproductivo, reduce la calidad de los huevos y el espermatozoides, disminuye la tasa de fertilidad y causa malformaciones en los embriones, amenazando la supervivencia de futuras generaciones.
- Cerebro y conducta (sistema nervioso): el daño llega al cerebro. Los plásticos inhiben enzimas clave para la transmisión de señales nerviosas, causando neurotoxicidad. Esto se traduce en cambios de comportamiento anormales: los peces se muestran hiperactivos, ansiosos, menos curiosos por explorar su entorno y tienen interacciones sociales alteradas, lo que los hace más vulnerables a los depredadores y menos capaces de encontrar comida o pareja.
- El daño invisible (genotoxicidad): el peligro más insidioso ocurre a nivel celular. La exposición crónica causa daño en el ADN y anomalías en los núcleos de las células sanguíneas. Esto sugiere que las partículas más diminutas podrían llegar al núcleo celular, teniendo un potencial mutagénico y cancerígeno. Es una amenaza que puede manifestarse a largo plazo, afectando la salud de poblaciones enteras.

## CONCLUSIONES

La evidencia expuesta pinta un panorama alarmante pero claro: los microplásticos han trascendido el problema de la basura visible para convertirse en una contaminación invisible, ubicua y de efectos profundos. Su viaje, que comienza en nuestros hogares, ciudades y campos, termina infiltrando cada rincón de los ecosistemas acuáticos, desde la superficie hasta los sedimentos más profundos. El verdadero núcleo de la crisis radica en la combinación de persistencia, movilidad y toxicidad activa. Estos materiales, diseñados para durar, se fragmentan, pero no desaparecen, por lo que viajan sin fronteras. En su recorrido, no solo causan daño físico por ingestión, sino que se transforman en vehículos de un «cóctel tóxico» que transporta químicos peligrosos y patógenos, facilitando incluso la propagación de resistencia a antibióticos. El impacto en la fauna es sistémico y severo, comprometiendo la nutrición, la reproducción, el comportamiento y la integridad genética de las especies, con consecuencias en cascada para toda la red trófica.

Este ciclo perverso cierra un círculo preocupante: un problema creado por la actividad humana, a través de la producción y el consumo desmedido, regresa a nosotros mediante la contaminación de los recursos hídricos y los alimentos que obtenemos del mar. Los microplásticos son, por tanto, un espejo de nuestro modelo de usar y tirar. La conclusión es ineludible: exige una transformación radical en la gestión de los plásticos a lo largo de todo su ciclo de vida: desde la reducción en la producción de plásticos innecesarios y de un solo uso, el rediseño de productos y textiles, la mejora

drástica de los sistemas de gestión de residuos y tratamiento de aguas, hasta la investigación e innovación en materiales verdaderamente biodegradables. La solución está en cortar el flujo en su fuente. El legado tóxico que estamos creando hoy será el desafío ambiental y de salud de muchas generaciones futuras.

## LITERATURA RELEVANTE

- Banaee, M., Multisanti, C. R., Impellitteri, F., Piccione, G. y Faggio, C. (2025). Environmental toxicology of microplastic particles on fish: A review. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*, 287, 110042. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2024.110042>
- Brandts, I., Cánovas, M., Tvarijonaviciute, A., Llorca, M., Vega, A., Farré, M., Pastor, J., Roher, N. y Teles, M. (2022). Nanoplastics are bioaccumulated in fish liver and muscle and cause DNA damage after a chronic exposure. *Environmental Research*, 212, 113433. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113433>
- Bucci, K., Bayoumi, M., Stevack, K., Watson-Leung, T. y Rochman, C. M. (2024). Microplastics may induce food dilution and endocrine disrupting effects in fat-head minnows (*Pimephales promelas*), and decrease offspring quality. *Environmental Pollution*, 345, 123551. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123551>
- Gunaalan, K., Almeda, R., Vianello, A., Lorenz, C., Iordachescu, L., Papacharalampos, K., Nielsen, T. G. y Vollertsen, J. (2024). Does water column stratification influence the vertical distribution of microplastics? *Environmental Pollution*, 340, 122865. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122865>
- Yi, J., Ma, Y., Ruan, J., You, S., Ma, J., Yu, H., Zhao, J., Zhang, K., Yang, Q., Jin, L., Zeng, G. y Sun, D. (2024). The invisible Threat: Assessing the reproductive and transgenerational impacts of micro- and nanoplastics on fish. *Environment International*, 183, 108432. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108432>
- Zink, L. y Wood, C. M. (2024). The effects of microplastics on ionoregulatory processes in the gills of freshwater fish and invertebrates: A prospective review. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*, 295, 111669. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2024.111669>

## ¿Sabías que los materiales del futuro están en los residuos alimentarios?

Cinthya Ruiz Pardo, Waldo Argüelles Monal,  
José Javier Coca Hidalgo y Luisa Silva Gutiérrez

**RESUMEN.** Las reacciones de química click permiten construir de manera rápida, sencilla y amigable con el medio ambiente grandes estructuras químicas a partir de bloques básicos que se ensamblan como piezas de rompecabezas. Estas reacciones producen materiales que pueden experimentar cambios rápidos y reversibles cuando se someten a estímulos externos, como, por ejemplo, cambios en la temperatura o la luz. A estos materiales se les conoce como «inteligentes». La reacción de Diels-Alder es una famosa reacción de química click en la que dos moléculas compatibles se ensamblan con exactitud para producir grandes estructuras. Esta clase de unión hace que los materiales se reparen solos, «autoreparándose» en caso de sufrir daños o rupturas, sin que su resistencia, elasticidad o aspecto se modifiquen considerablemente. Estas propiedades tan interesantes permiten el diseño de materiales inteligentes con un gran potencial

para convertir residuos en materiales innovadores de utilidad para la salud, la industria y el cuidado del medio ambiente.

*Palabras clave:* química click, reacción de Diels-Alder, residuos agrícolas, materiales inteligentes, hidrogeles, furfural, biopolímeros.



¿Sabes cómo los organismos vivos producen energía y mantienen sus funciones en equilibrio? Todo se debe a las reacciones químicas. Las reacciones químicas son como pequeños interruptores que ponen en marcha al mundo con tan solo oprimirlos. Suceden en todos lados, desde el nivel más pequeño dentro de la célula hasta a gran escala en los procesos industriales. En una reacción química, los átomos de una o más sustancias se reacomodan para formar un nuevo producto con cualidades y estructuras químicas distintas a las originales.

Recibido: 31/10/2025

Aceptado: 04/03/2026

Publicado: 12/03/2026

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. cinthya.ruiz@ciad.mx; waldo@ciad.mx; jcoca221@ciad.mx; lsilva@ciad.mx

En la naturaleza existen moléculas de distintos tamaños. Algunas son pequeñas y simples. Otras, en cambio, son estructuras gigantescas y complejas. En química conocemos estas grandes estructuras como polímeros, moléculas formadas por muchas piezas pequeñas que se repiten y se unen como eslabones en una cadena. A los polímeros de origen natural los llamamos biopolímeros. Algunos ejemplos de biopolímeros son los carbohidratos, las proteínas y el ADN, los cuales, además de ser estructuras complejas, están formados por enormes cadenas que participan en muchos de los procesos químicos que suceden en los organismos vivos.

Estas enormes estructuras se construyen a partir de la unión de muchísimos bloques de construcción, que no son más que moléculas más pequeñas, que se arman con la precisión de una pieza de rompecabezas. Este concepto fue descrito por Sharpless y su equipo en el 2001 para designar un grupo de reacciones con el nombre de química click. Estas son reacciones químicas tan específicas que siguen un camino directo y sencillo, para lograr en poco tiempo un único resultado. Estas reacciones destacan por usar sustancias seguras y amigables con el ambiente, a diferencia de las reacciones químicas tradicionales que pueden necesitar de sustancias tóxicas o difíciles de manejar. En muchos casos, incluso se puede requerir únicamente agua como solvente, una opción mucho más accesible, económica y de bajo impacto ambiental.

Las reacciones de química click permiten diseñar materiales inteligentes que son capaces de modificar su apariencia y estado físico de forma rápida y reversible al recibir un estímulo externo como la luz, la temperatura o el

pH. Estas cualidades son útiles para la ciencia y la tecnología, especialmente en la biomedicina y en el diseño de fármacos. De hecho, ya existen en el mercado varias innovaciones que dan solución a problemas médicos. Un ejemplo, son los lentes de contacto diseñados por Johnson & Johnson que se adaptan a los cambios en la intensidad de la luz, oscureciéndose o aclarándose para asegurar la comodidad del paciente. Otro caso son los stents autoexpandibles con «memoria de forma» comercializados por Boston Scientific Corporation y Abbott Laboratories. Estos son unos pequeños tubos que se introducen en las arterias para mantenerlas abiertas, lo que es ideal para el tratamiento de enfermedades cardíacas y la prevención de infartos.

La reacción de Diels-Alder es una de las reacciones más destacadas de la química click que permite obtener materiales inteligentes. Fue descubierta por Otto Diels y Kirk Alder en 1928 y en 1950 ambos recibieron el Premio Nobel de Química por este hallazgo. Esta es una reacción en la que dos moléculas compatibles se ensamblan para formar una nueva estructura en forma de anillo. En la Figura 1 se muestra un ejemplo típico entre un dieno, una molécula con dos dobles enlaces (en rosa) y un dienófilo, una molécula atraída por esos enlaces (en azul). Durante la reacción, algunos enlaces se rompen y otros se forman de manera simultánea y muy específica, lo que da lugar a una nueva sustancia en forma de anillo (cicloadducto). El furano y las maleimidias son los dienos y dienófilos más empleados en el estudio de esta reacción.

La reacción de Diels-Alder es de gran importancia por su capacidad para obtener hidrogeles, materiales blandos y flexibles for-

mados por redes capaces de retener grandes cantidades de agua. Estas redes están formadas por largas cadenas poliméricas que se unen entre sí, para crear materiales con propiedades únicas que los hacen perfectos para aplicaciones biomédicas debido a que los hidrogeles imitan ciertos rasgos de los tejidos vivos. En



**Figura 1.** En la reacción de Diels-Alder dos moléculas complementarias se ensamblan de manera específica para formar una nueva estructura en forma de anillo.

esta reacción, la temperatura desempeña un papel muy importante. A medida que aumenta la temperatura de reacción, se pueden obtener hidrogeles con mayor resistencia en un menor tiempo. Sin embargo, a muy altas temperaturas, la unión de estas piezas tiende a deshacerse y ocurre la reacción inversa, conocida como retro-Diels-Alder. En este caso, la red polimérica se desensambla y vuelve a dar lugar a sus componentes originales, el dieno y el dienófilo (Figura 1). Esta capacidad de formarse y deshacerse en respuesta a la temperatura es lo que convierte a estos hidrogeles en materiales inteligentes.

En la reacción de Diels-Alder pueden emplearse distintos dienos, pero el furfural, un compuesto derivado del furano, es una de las materias primas más utilizadas para obtener estructuras que actúan como dienos en esta reacción. El furfural se obtiene a partir de desechos agrícolas como maíz, trigo, sorgo y avena mediante el uso de tecnologías limpias y eficientes. A partir de esta molécula pueden generarse grupos con furano capaces de reaccionar con maleimidas, el dienófilo de la reacción. Estos componentes pueden reaccionar directamente para formar nuevas redes o incorporarse a cadenas poliméricas o biopoliméricas. Cuando estas cadenas se ensamblan, se crean puntos de unión que permiten que las cadenas se «entrecruzen» para construir redes tridimensionales. Cada polímero y biopolímero posee características propias como la longitud de sus cadenas, su rigidez o la presencia de otros grupos que determinan la forma en que se organiza la red.

Las maleimidas son especialmente versátiles, ya que pueden anclarse a una o a varias cadenas poliméricas de distintos tamaños. Esto

determina cómo se conectan las cadenas entre sí y define la arquitectura del material. Al controlar estos parámetros es posible diseñar a la medida redes más compactas y resistentes o más abiertas y flexibles, según lo requiera su aplicación. Un ejemplo claro de esta influencia lo presentamos en nuestro trabajo publicado en la revista *Polymers*, en donde presentamos la introducción de furano en las cadenas de la quitosana, un biopolímero que se obtiene principalmente de las cáscaras de camarón. En este trabajo estudiamos cómo el largo de la cadena polimérica y el número de grupos de maleimida afectan la resistencia y flexibilidad de los hidrogeles, así como el tiempo necesario para la formación de los hidrogeles. En general, observamos que pequeños cambios en la arquitectura de los hidrogeles pueden traducirse en grandes diferencias en sus propiedades.

Otra cualidad muy interesante de los hidrogeles formados por la reacción de Diels-Alder es que tienen la capacidad de «autorepararse». Esto sucede porque las cadenas del hidrogel se ensamblan de manera dinámica, lo que facilita que se unan y se separen, si el material se fractura. El proceso de «autoreparación» puede darse de manera natural o inducida por la temperatura (Figura 2). Estos hidrogeles son capaces de «autorepararse» múltiples veces sin que sus propiedades originales sean afectadas, es decir, siguen siendo igual de suaves, elásticos o resistentes.

Los materiales basados en furfural tienen el potencial de reemplazar los derivados del petróleo y dar origen a biocombustibles, materiales inteligentes y otros compuestos de alto valor. Esto demuestra el gran potencial que tienen los residuos agrícolas para transformarse en recursos estratégicos para la economía cir-

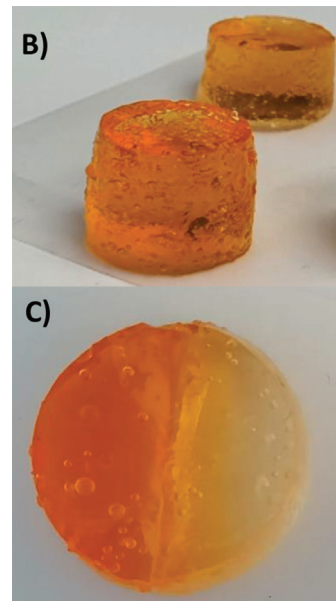
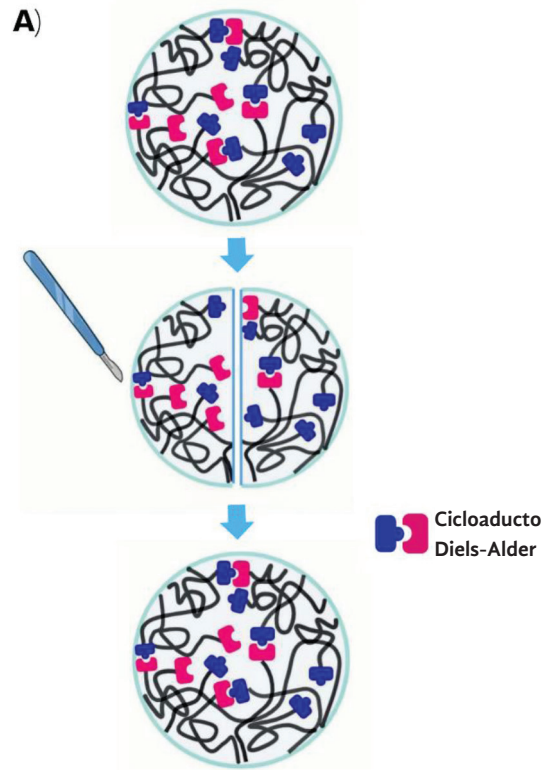
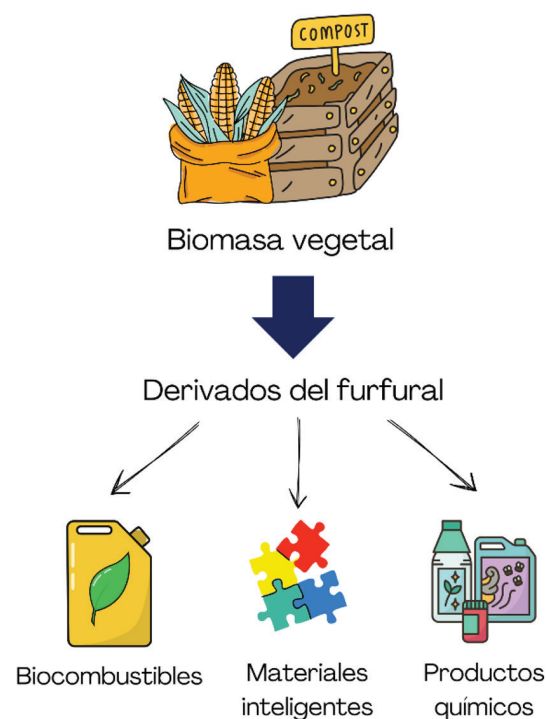


Figura 2. Al cortar el hidrogel, algunos de sus enlaces dinámicos se rompen, pero si se une y aplica temperatura, el material se autorepara (A). Fotografías del hidrogel antes y después del proceso de autoreparación, en las que se observa una «cicatriz» en la zona de unión (B y C).

cular (Figura 3). Sin embargo, a pesar del gran potencial que tiene el furfural, entre el 10% y el 30% de la producción mundial de cereales se desperdicia antes de llegar a la mesa, principalmente por malas prácticas de manejo y almacenamiento. Para ponerlo en perspectiva, casi una de cada tres toneladas de maíz, trigo, sorgo y avena producidas nunca se aprovecharán. A esto se suman los desperdicios generados durante su procesamiento que pueden llegar hasta un 13% adicional. Más que un problema, estas cifras representan una oportunidad para transformar estos desechos en sustancias valiosas como el furfural y sus derivados.

A nivel mundial, son tres países los principales productores de furfural. China encabeza la lista con cerca del 70% de la producción global, seguida por República Dominicana y Sud-

áfrica con el 13% y el 7%, respectivamente. En conjunto, estos tres países producen 280,000 toneladas anuales, lo que equivale a aproximadamente el 90% de la capacidad de producción mundial de furfural. Aun así, esta cifra representa sólo una fracción del enorme potencial que nos ofrece la naturaleza, ya que comúnmente estos residuos terminan descomponiéndose o incinerándose, en lugar de transformarse en materiales útiles como el furfural y sus derivados. No obstante, son pocas las empresas dedicadas a la recuperación y valorización de residuos, lo que agrava de manera alarmante el desperdicio de alimentos y compuestos de alto valor industrial. Hoy sabemos que mediante estrategias químicas podemos transformar los desechos en nuevos materiales con capacidad para resolver los grandes desafíos actuales. ¿Qué otras oportunidades estarán escondidas en lo que hoy consideramos desecho? Quizá el futuro de los materiales no esté en crear nuevas moléculas, sino en aprender a utilizar los recursos naturales desde otra perspectiva, reconociendo su valor y su capacidad para transformar la industria.



**Figura 3.** Aprovechamiento de residuos vegetales para la obtención de compuestos de alto valor agregado.

## CONCLUSIÓN

Año con año se desperdician millones de toneladas de alimentos mucho antes de que lleguen a la mesa del consumidor. Lo más grave es que estos desechos agroindustriales son fuentes de sustancias prometedoras, como el furfural, que en combinación con las maleimidias y la reacción de Diels-Alder produce hidrogeles inteligentes. La reacción de Diels-Alder es una solución sencilla y limpia que permite convertir estos desechos en una gran oportunidad para impulsar y fortalecer el aprovechamiento

to responsable de los recursos y el cuidado de nuestro entorno mediante los principios de la economía circular. Al mismo tiempo se pueden crear materiales innovadores con potencial para solucionar los desafíos actuales en salud y medio ambiente.

## LITERATURA RELEVANTE

- Diels, O., y Alder, K. (1928). Synthesen in der hydroaromatischen Reihe. *Justus Liebigs Annalen der Chemie*, 460(1), 98-122. doi: 10.1002/jlac.19284600106
- Galkin, K. I. (2023). Dynamic materials derived from biobased furans: towards the 'sleeping giant' awakening. *Mendeleev Communications*, 33(1), 1-8. doi: 10.1016/j.mencom.2023.01.001
- Gandini, A., Coelho, D., y Silvestre, A. J. D. (2008). Reversible click chemistry at the service of macromolecular materials. Part 1: Kinetics of the Diels-Alder reaction applied to furan-maleimide model compounds and linear polymerizations. *European Polymer Journal*, 44(12), 4029-4036. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2008.09.026
- Kolb, H. C., Finn, M. G., y Sharpless, K. B. (2001). Click Chemistry: Diverse Chemical Function from a Few Good Reactions. *Angewandte Chemie International Edition*, 40(11), 2004-2021. [https://doi.org/10.1002/1521-3773\(20010601\)40:11<2004::AID-ANIE2004>3.0.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/1521-3773(20010601)40:11<2004::AID-ANIE2004>3.0.CO;2-5)
- Ruiz-Pardo, C., Silva-Gutiérrez, L., Lizardi-Mendoza, J., López-Franco, Y., Peniche-Covas, C., y Argüelles-Monal, W. (2022). Chitosan Hydrogels Based on the Diels-Alder Click Reaction: Rheological and Kinetic Study. *Polymers*, 14(6). doi: 10.3390/polym14061202
- Zhang, X., Xu, S., Li, Q., Zhou, G., y Xia, H. (2021). Recent advances in the conversion of furfural into bio-chemicals through chemo- and bio-catalysis. *RSC Adv.*, (11)43, 27042-27058. doi: 10.1039/D1RA04633K

# Obesidad: el puente entre la inflamación y la neurodegeneración

Marco Esau González-Navarro<sup>1</sup>,  
María del Carmen Navarro-Rodríguez<sup>2</sup> y Alma Rosa Raymundo-Huizar<sup>3</sup>

**RESUMEN.** Una alimentación rica en grasas y su relación con el desarrollo de alteraciones metabólicas y enfermedades neurodegenerativas, vienen a formar un conjunto de patologías que se incrementan de manera alarmante cada año, por lo que es necesario comprender los mecanismos fisiopatológicos de aquellos estados que favorecen la presencia y la circulación de factores inflamatorios como el sobrepeso y la obesidad, además de analizar las repercusiones alarmantes sobre la función cognitiva e incluso su impacto en el desarrollo social. Con la finalidad de comprender aquellos posibles resultados potencialmente asoladores que pueden presentar este amplio sector poblacional afectado y el impacto económico sobre el sistema de salud, se estima que para el año 2030, alrededor de 573 millones de personas padezcan de obesidad en todo el mundo. México es una entidad afectada con esta problemática, ya que en el año 2018 se reportó que, en la población

mayor de 19 años de edad, el 36.1% padecía de obesidad. Otro desafío que se incorpora a este escenario es la presencia de la Enfermedad de Alzheimer (EA), enfermedad neurodegenerativa relacionada con el estado inflamatorio secundario a la obesidad, tipo de demencia más común y cuya repercusión al sistema de salud es de gran impacto, estimándose un costo total de 305 mil millones de dólares en tan solo cuatro años. Incorporar ajo (*alliin*) de forma regular en la dieta puede ser una estrategia eficaz (alternativa terapéutica) dentro de un plan que incluya hábitos saludables, ayudando a controlar la inflamación y a reducir el riesgo de complicaciones asociadas a la misma. Con estos antecedentes alarmantes y el impacto que presentan en la actualidad para el bien colectivo, se optó por consultar y exponer estos temas de interés para la población.

*Palabras clave:* ajo (*alliin*), enfermedad, neuroinflamación, salud.

Recibido: 13/02/2026

Aceptado: 17/03/2026

Publicado: 20/03/2026

<sup>1</sup> Centro Universitario de Ciencias de la Salud de la Universidad de Guadalajara.

<sup>2,3</sup> Centro Universitario de la Costa de la Universidad de Guadalajara.

## INTRODUCCIÓN

La obesidad es una compleja enfermedad multifactorial no transmisible que se define por grasa corporal excesiva que puede perjudicar la salud. El índice de masa corporal (IMC) es un marcador indirecto de dicha grasa y que se calcula como peso  $\text{kg}/\text{estatura}^2$  ( $\text{m}^2$ ). Las categorías del IMC para definir la obesidad varían según la edad y el sexo en lactantes, niños y adolescentes, en el caso de los adultos, la obesidad se define por un IMC mayor o igual a  $30 \text{ kg}/\text{m}^2$ . A nivel mundial, la prevalencia del sobrepeso, la obesidad y el número de personas afectadas han aumentado en todos los grupos de edad y seguirán aumentando durante el próximo decenio. En el año 2016 la prevalencia de éstos superaba los 1.9 billones de adultos, el 39% con sobrepeso y el 13% con obesidad. Se prevé que para 2030 el número de adultos con sobrepeso será de 1.35 billones y de 573 millones con obesidad (Figura 1).

El aumento del IMC también se asocia con atrofia en el cerebro: afectando la materia gris, la corteza temporal, frontal, occipital, el hipocampo, el tálamo y el mesencéfalo, reportando así una asociación entre las medidas antropométricas de la obesidad y varios dominios cognitivos, siendo considerada la obesidad como un factor de riesgo importante para la reducción de la integridad neuronal, presentando una asociación, junto con trastornos concurrentes, con un deterioro cognitivo acelerado y la presencia de enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer (EA) y pérdida de funciones vasculares. Demencia es un término para cualquier enfermedad que ocasiona un cambio en la memoria afectando el funcionamiento diario de una persona,

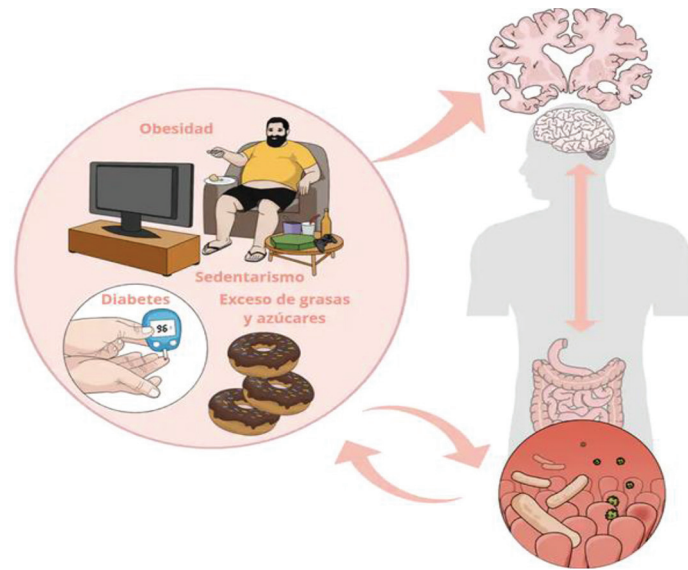


Figura 1. Relación entre la alimentación, enfermedades metabólicas y patologías neurodegenerativas. Fuente: Raquel Sánchez y David Baglietto. Mindthegraph.com (2021). <https://theconversation.com/somos-lo-que-comemos-el-impacto-de-la-dieta-en-el-cerebro-151772>

mientras que la enfermedad de Alzheimer (EA) es el tipo más común de demencia, caracterizada por la pérdida de memoria, de la función cognitiva y el deterioro funcional.

## EPIDEMIOLOGÍA

Con un envejecimiento de la población cada vez mayor y la aparición de estas enfermedades, que causan un deterioro grave en la función cognitiva y motora del cuerpo, seguramente las consecuencias serán importantes, aunado esto con las repercusión en el sistema de salud, ya que se estima que los costos totales para la atención médica para el tratamiento de EA serán insostenibles, en 2020 fueron de 305 millones de dólares y se espera que aumente a más de un trillón a medida que la población envejece.

En México, la tasa de obesidad ha aumentado de manera alarmante en las últimas décadas, sobre todo en la población menor de 18 años, para 2018 se estimó que más del 8% de los infantes (0 a 4 años), el 35% de niños en edad escolar (5 a 11 años) y cerca del 40% de los adolescentes (12 a 19 años) presentaron sobrepeso u obesidad, actualmente el 33.3% de los adultos las padecen.

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición en México, el porcentaje de adultos de 20 años y más representan el 39.1% con sobrepeso y el 36.1% con obesidad. Otra situación alarmante es en los niños de 0 a 4 años de edad, ya que el 22.2% se identificó con riesgo de sobrepeso y para el grupo de 5 a 11 años (35.6%) presentaron ambas.

## FISIOPATOLOGÍA

El consumo de una dieta rica en grasas es una de las principales causas de sobrepeso y obesidad. Se ha descubierto que los niveles habituales elevados de ácidos grasos libres causan efectos negativos, incluido un estado inflamatorio el cual proporciona un vínculo con el deterioro cognitivo progresivo. El tejido adiposo (TA) es el primer órgano en ser afectado por el consumo de dietas altas en grasas. Por lo que sus funciones reguladoras, como lo son el mantenimiento de la presión arterial, la coagulación sanguínea, el metabolismo de lípidos y de glucosa, se ponen en riesgo en las personas que padecen esta enfermedad.

Actualmente se desconoce qué mecanismo molecular (nivel de célula) contribuye al inicio y desarrollo del deterioro cognitivo, pero se han identificado que la inflamación crónica de bajo grado favorece a este trastorno, ya que

es una respuesta del cuerpo ante diversos estímulos como lo son la lesión tisular (daño que ocurre en el tejido del cuerpo por un proceso inflamatorio) y/o una infección. El 80% de los individuos con obesidad sufren de cambios en el tejido adiposo o graso blanco (TAB) debido a que no existe un correcto suministro energético, comenzando un proceso inflamatorio complicado (este proceso puede ocurrir en días, semanas o meses) local (en cierta parte del cuerpo) pero con repercusiones importantes en todo el individuo.

Estudios sobre los efectos de la disfunción metabólica –entendida como alteraciones en las reacciones químicas del organismo que afectan procesos metabólicos esenciales y pueden conducir a enfermedades como diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares y accidentes cerebrovasculares– indican que una dieta rica en grasas (HFD) puede provocar cambios importantes en el sistema nervioso central (SNC). Estos cambios incluyen la desregulación de los mecanismos inmunes e inflamatorios y un aumento en la activación de células gliales, células no neuronales del sistema nervioso que responden a estímulos como lesiones o enfermedades (HFD). La microglía son células inmunitarias residentes en el sistema nervioso central (SNC) que desempeñan funciones esenciales en el desarrollo, mantenimiento y reparación del cerebro. En estado de reposo, vigilan constantemente el tejido cerebral, eliminando desechos y restos celulares, además de participar en la poda sináptica para optimizar la conectividad neuronal. En situaciones de daño o infección, la microglía se activa, liberando moléculas inflamatorias y destruyendo patógenos y células dañadas, favoreciendo la memoria y el aprendizaje (Figura 2).

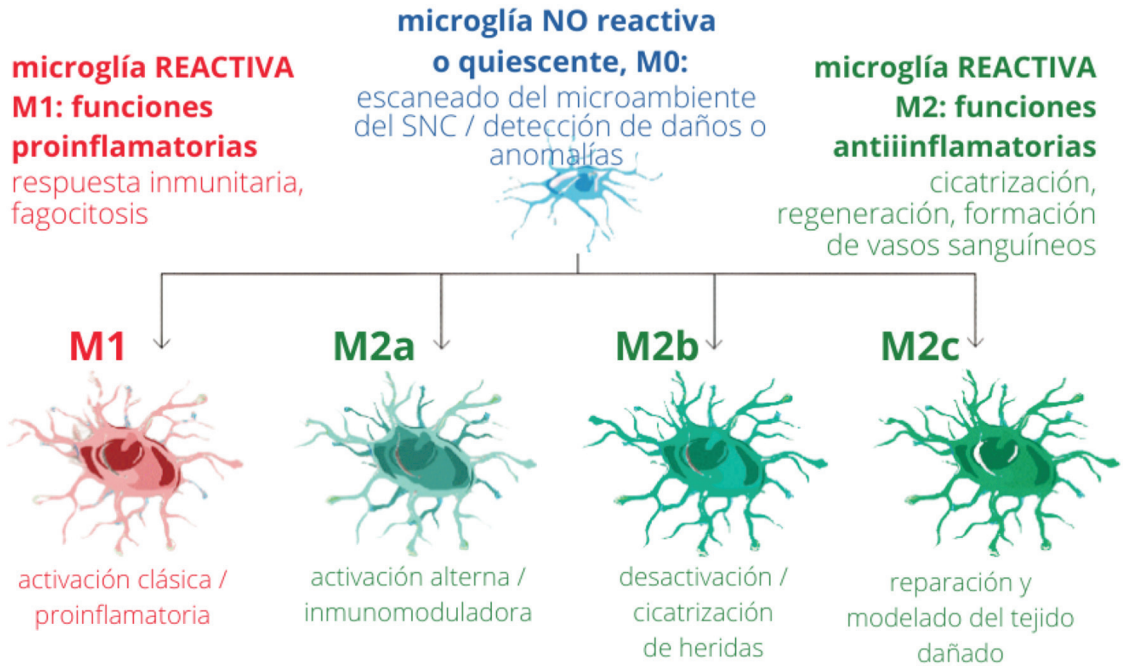


Figura 2. Estimulación y activación de la microglía. Fuente: modificada por Natalia Yanguas (2022). <https://cajal.csic.es/neurobaraja-as-de-espadas/>. Fuente primaria: Martínez-Tapia *et al.* (2018). [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0026-17422018000500044](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422018000500044)

El tejido adiposo es un tipo de grasa presente en la sangre que se utiliza como fuente de energía por el cuerpo, este sufre una reprogramación estructural inmune y metabólica, crece de tamaño por el aumento de células que lo componen (hipertrofia) y se vuelve hipóxico, es decir, presenta una deficiencia de oxígeno por formación y desarrollo inadecuados de los vasos sanguíneos, lo que lleva a un estado inflamatorio largo. Estos procesos terminan por repercutir en la barrera hematoencefálica (BHE) la cual es una estructura protectora que separa la sangre del cerebro, permitiendo el paso de ciertas sustancias esenciales y bloqueando otras potencialmente dañinas, es decir, actúa como un filtro altamente selectivo protegiendo al sistema nervioso central, al dañarse esta barrera promueve aún más la neuroinflamación (Figura 3).

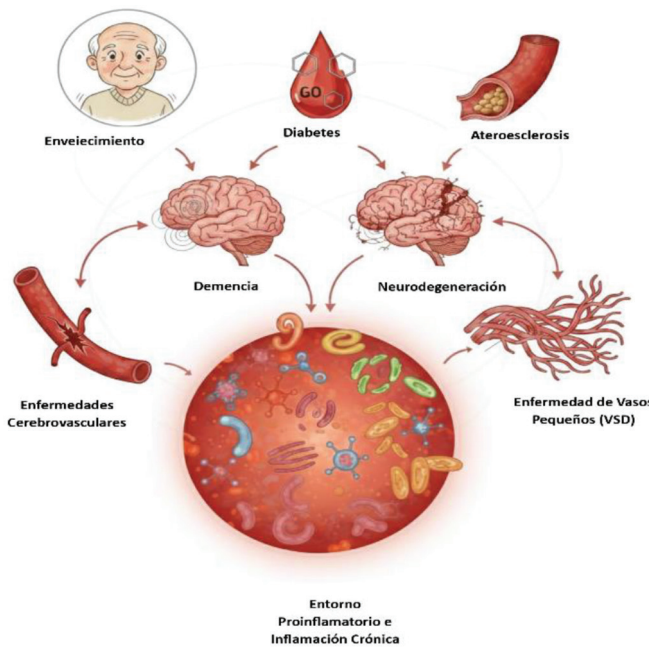


Figura 3. Fuentes de neuroinflamación: envejecimiento, enfermedades metabólicas e inflamación crónica. Fuente: Generada con la IA Google Gemini (2026).

Una de las regiones afectadas por los cambios de la ingesta energética de la dieta es el hipocampo (parte del cerebro responsable de la memoria y el aprendizaje). Esta pequeña estructura ayuda a recordar a corto y a largo plazo, así como a percibir el entorno y desempeñar un papel fundamental en el procesamiento emocional y cognitivo, de tal forma que al verse afectado por dicha ingesta energética se presentan cambios morfológicos y alteraciones neuronales que se han implicado en la aparición de síntomas emocionales como lo son la ansiedad y la depresión (Figura 4).

### TRATAMIENTO

La EA es una de las enfermedades neurodegenerativas más comunes en la actualidad, pero lamentablemente no existe cura disponible hasta el momento.

Hasta hace poco, sólo se habían aprobado cuatro medicamentos para el tratamiento de la EA, donepezilo, galantamina, rivastigmina y memantina. Estos fármacos atenúan temporalmente los síntomas, pero no atacan las principales características patológicas de la enfermedad.

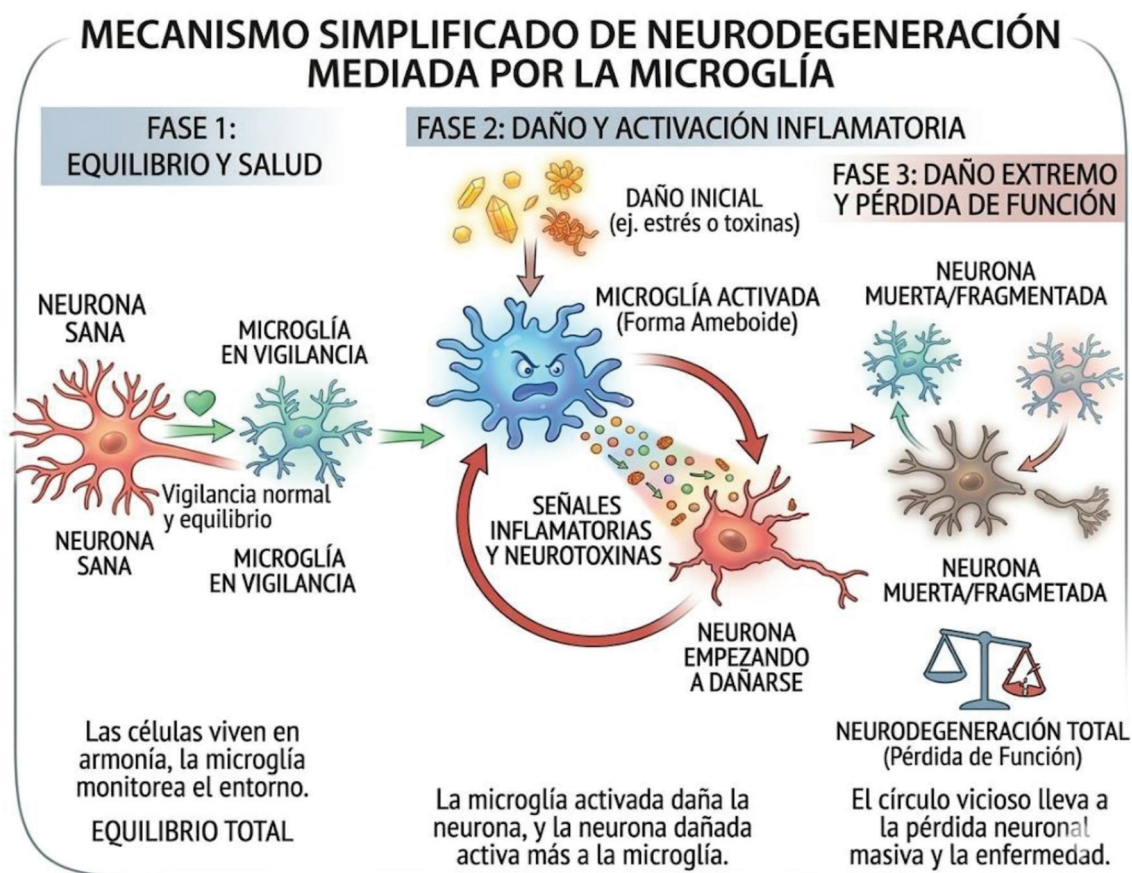


Figura 4. Relación y mecanismo de la neuroinflamación con enfermedades neurodegenerativas.

Fuente: Generada con la IA Google Gemini (2026).

Se han propuesto varias estrategias de tratamiento, pero la mayoría de los fármacos que mostraron resultados prometedores en estudios *in vivo* no pudieron aprobar los ensayos clínicos en humanos y fracasaron, lo que creó una necesidad urgente de desarrollar nuevas estrategias.

En los últimos 20 años, numerosos ensayos clínicos han fracasado para lograr un tratamiento modificador de la enfermedad eficaz en la EA. Recientemente, se han explorado las inmunoterapias de reducción de placa A $\beta$  dirigida por su eficacia y seguridad como tratamiento de la EA. Donanemab, es un anticuerpo humanizado que actúa sobre el péptido  $\beta$ -amiloide piroglutamato. Esta es una de las pocas terapias que ha emergido recientemente para reducir significativamente los depósitos cerebrales de amiloide, evento temprano de la EA la cual conduce a la neurodegeneración y demencia junto con aducanumab y lecanemab, anticuerpos monoclonales anti-amiloide las cuales fueron aprobadas el 7 de junio del 2021 y el 6 de julio de 2023, respectivamente, por la Administración de Alimentos y Medicamentos, por sus siglas en inglés, Food and Drug Administration (FDA) para el tratamiento de la EA. Cabe destacar que el medicamento, aducanumab, fue blanco de controversias ese mismo año, sobre todo por su elevado costo inicial el cual era de 56,000 dólares al año.

## ALTERNATIVA TERAPÉUTICA: ALLIIN

El ajo se ha utilizado durante miles de años con fines medicinales. Un historial de registros muestra que su uso medicinal se remonta a hace unos 5,000 años, y se ha utilizado durante al menos 3,000 años en la medicina china. Los

egipcios, babilonios, griegos y romanos usaban el ajo con fines curativos.

Las terapias no farmacológicas representan una alternativa al tratamiento de las enfermedades neurodegenerativas. Diversos estudios y ensayos internacionales han venido analizando la intervención multidominio de la EA. Las investigaciones muestran una correlación positiva entre el aumento de la actividad física, el entrenamiento cognitivo, la mejora de la nutrición, la desaceleración del deterioro cognitivo y funcional con el nivel de intensidad de los síntomas conductuales y psicológicos de la demencia. Con importante evidencia y convincente del papel que desempeña la modulación nutricional en la prevención de enfermedades que favorecen la inflamación, se ha presentado un interés creciente en la búsqueda de alimentos funcionales naturales con acciones terapéuticas y preventivas. Por ello se ha evaluado la eficacia de varios tratamientos naturales por su utilidad contra la obesidad.

El alliin (sulfóxido de S-alil-L-cisteína) considerado como el componente principal del ajo, es un nutraceutico que se define como alimento específico (o parte de un alimento) que puede brindar efectos benéficos para la salud, encontrándose propiedades antidiabéticas, anticancerígenas, antioxidantes y antiinflamatorias.

En un estudio se proporcionó una HFD a ratones macho, por nueve semanas y con obesidad establecida, se observó que la administración de alliin (15 mg/kg) por 3.5 semanas mejoró la sensibilidad a la insulina y tolerancia a la glucosa. Se registró, además, la reducción del tamaño de células especializadas en el almacenamiento de grasa (adipocitos) y citocinas séricas, pequeñas proteínas que actúan

en el sistema inmunológico y que son cruciales para controlar la inflamación, como la IL-6 (interleucina). Se demostró así su efecto en la disminución de glucosa en sangre, así como en la disminución de lípidos o grasas en la circulación sanguínea, además de aportar diversas sustancias medicinales como los óxidos de nitrógeno, amidas, proteínas, vitaminas y minerales (Figura 5).

## CONCLUSIÓN

Una mala alimentación, como una dieta rica en grasa, es un factor importante para el desarrollo de patologías de impacto global como lo son el sobrepeso, la obesidad y enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer. El reconocer estas circunstancias que predisponen o aceleran el desarrollo de estos estados patológicos es de suma importancia para su prevención o disminución de estas entidades

que afectan de manera alarmante y progresiva a la población, lo que viene a presentar un desafío para el sector salud ya que se destinan importantes recursos económicos y que lamentablemente no se han visto reflejados en los resultados. Por ello, la importancia de atender estos desafíos que surgen a partir de los escasos avances terapéuticos y su limitada accesibilidad por su alto costo, antiinflamatorias, antioxidantes, antimicrobianas y protectoras ante enfermedades cardiovasculares, las cuales suelen basarse en estudios preliminares de corta duración o con muestras pequeñas lo que limita la validez y generalización de los resultados. Cabe destacar, que el ajo se ha estudiado en ensayos clínicos con animales, humanos y en evaluaciones epidemiológicas debido a sus múltiples propiedades medicinales, sin embargo, la calidad de los ensayos principalmente en humanos han sido escasos y variables, lo que dificulta la comparación entre los mismos. Por

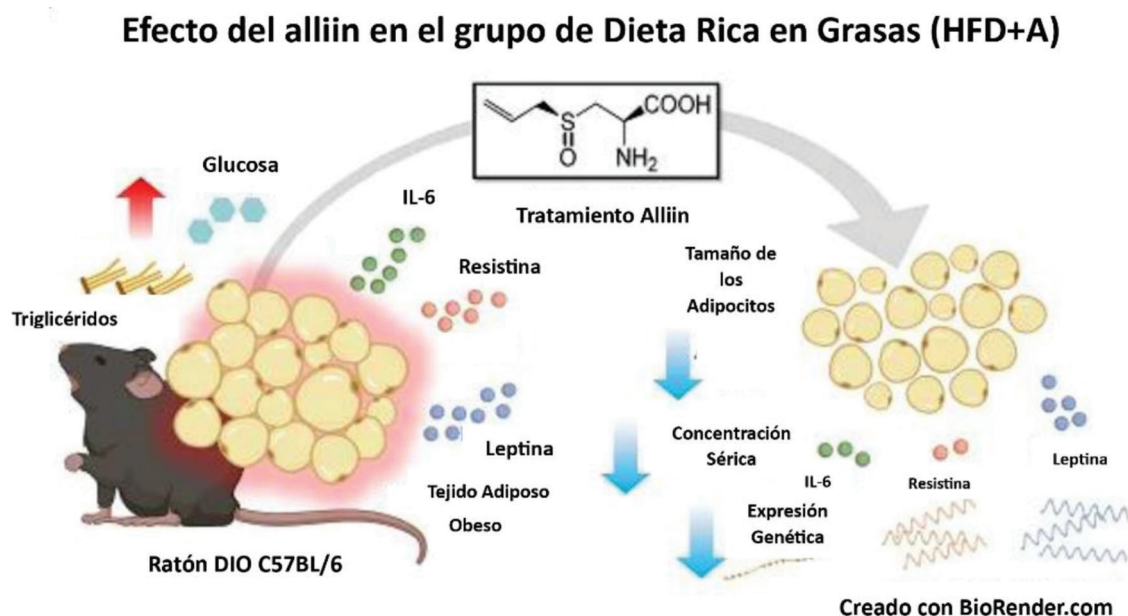


Figura 5. Representación gráfica de los efectos del alliin en roedores. Fuente: Sánchez-Sánchez *et al.* (2020). <https://www.mdpi.com/2072-6643/12/3/624>

lo que es de suma importancia realizar estudios a largo plazo y perfectamente controlados para permitir una evaluación más confiable sobre su efecto, y de esta manera obtener conclusiones sólidas y confiables sobre sus posibles propiedades. En resumen, solo mediante investigaciones extensas y meticulosamente controladas se puede determinar con mayor certeza si el ajo ofrece beneficios clínicos reales, en qué magnitud y bajo qué condiciones, evitando conclusiones prematuras o basadas en evidencia insuficiente. Esto viene a fortalecer la base científica y la confianza sobre su uso como complemento dietético o terapéutico, por lo que es urgente e imprescindible profundizar en las investigaciones sobre nutracéuticos, como el alliin. El ajo, particularmente en su forma de extracto añejado, se consolida como un aliado nutricional y terapéutico relevante en el manejo integral de la obesidad y el sobrepeso. Su riqueza en compuestos bioactivos como la S-alil-cisteína le confiere propiedades que contribuyen a reducir marcadores clave de inflamación crónica de bajo grado. Además de favorecer los ajustes del sistema inmunológico, y asociarse con mejoras en aspectos cardio metabólicos, como el perfil lipídico, la glucemia y la presión arterial, y en aquellas condiciones relacionadas con enfermedades del hígado graso no alcohólico. Incorporar ajo de forma regular en la dieta, ya sea a través de la alimentación o de suplementos estandarizados, puede ser una estrategia eficaz dentro de un plan que incluya hábitos saludables, ayudando a controlar la inflamación y a reducir el riesgo de complicaciones asociadas a la obesidad, así como aquellos cambios en el estilo de vida que vienen a favorecer el decremento de casos en la población. Opciones que proba-

blemente algunos consideren poco convencionales, pero prometedoras y de esta manera se puedan ofrecer otras alternativas terapéuticas personalizadas en cada paciente y mitigar en la medida de lo posible este problema de salud pública.

## LITERATURA RELEVANTE

- Aceves-Martins, M., López-Cruz, L., García-Botello, M., Godina-Flores, N. L., Gutiérrez-Gómez, Y. Y., y Moreno-García, C. F. (2022). Cultural factors related to childhood and adolescent obesity in Mexico: A systematic review of qualitative studies. *Obesity Reviews: An Official Journal of the International Association for the Study of Obesity*, 23(9). <https://doi.org/10.1111/obr.13461>
- Alexaki, V. I. (2021). The impact of obesity on microglial function: Immune, metabolic and endocrine perspectives. *Cells (Basel, Switzerland)*, 10(7), 1584. <https://doi.org/10.3390/cells10071584>
- Flores-Dorantes, M. T., Díaz-López, Y. E., y Gutiérrez-Aguilar, R. (2020). Environment and gene association with obesity and their impact on neurodegenerative and neurodevelopmental diseases. *Frontiers in neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00863>
- Kurkinen, M. T. (2023). Donanemab: Not two without a third. *Advances in clinical and experimental medicine: official organ. Wroclaw Medical University*, 32(10), 1085-1087.
- Li, N., Chen, K., Dong, H., Yang, J., Yoshizawa, M., Kagami, H., y Li, X. (2021). Alliin inhibits adipocyte differentiation by down-

- regulating Akt expression: Implications for metabolic disease. *Experimental and therapeutic medicine*, 21(6). <https://doi.org/10.3892/etm.2021.9995>
- Sánchez-Sánchez, M. A., Zepeda-Morales, A. S., Carrera-Quintanar, L., Viveros-Paredes, J. M., Franco-Arroyo, N. N., Godínez-Rubí, M., Ortuño-Sahagun, D., y López-Roa, R. I. (2020). Alliin, an *Allium sativum* nutraceutical, reduces metaflammation markers in DIO mice. *Nutrients*, 12(3), 624. <https://doi.org/10.3390/nu12030624>
- Vaz, M., Silva, V., Monteiro, C. y Silvestre, S. (2022). Role of aducanumab in the treatment of Alzheimer's disease: Challenges and opportunities. *Clinical Interventions in Aging*, 17, 797-810. <https://doi.org/10.2147/cia.s325026>

# Entre un piso pegajoso y un techo de cristal: un alojamiento injusto para las investigadoras del SNII

Michellet Acosta-Altunaga<sup>1</sup>, Martín Alonso Aréchiga-Palomera<sup>2</sup> y  
Olimpia Chong-Carrillo<sup>3</sup>

**RESUMEN.** El presente artículo analiza las condiciones de desigualdad que enfrentan las mujeres en el ámbito científico en México, tomando como referencia el Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII). A partir de datos recientes y de la literatura especializada, se evidencia que, aunque la participación femenina ha aumentado en las últimas décadas, persisten barreras estructurales que limitan su desarrollo y ascenso en la carrera académica. Estas desigualdades se manifiestan a través de fenómenos como el «piso pegajoso», que dificulta el inicio de trayectorias profesionales, y el «techo de cristal», que restringe el acceso a los niveles más altos de reconocimiento. Asimismo, se discuten factores como la carga desigual de cuidados, los modelos rígidos de evaluación académica y la

persistencia de culturas institucionales excluyentes. Se concluye que la equidad en la ciencia no depende únicamente del acceso, sino de la transformación de las condiciones estructurales que determinan la permanencia y el reconocimiento en el sistema científico.

*Palabras clave:* evaluación académica, brecha de género, trayectorias profesionales, desigualdad institucional, participación femenina, cultura académica.

## CÓMO SE MIDE EL ÉXITO ACADÉMICO EN MÉXICO

El mundo académico y de investigación se conforma por diferentes componentes y características clave; por ejemplo, la investigación académica –es ese proceso sistemático

Recibido: 10/02/2026

Aceptado: 13/04/2026

Publicado: 15/04/2026

<sup>1 3</sup> Laboratorio de Calidad de Agua y Acuicultura Experimental, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara.

<sup>2</sup> Coordinación de la Licenciatura en Biología. Departamento de Ciencias Biológicas, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara.

<sup>3</sup> Laboratorio de Calidad de Agua y Acuicultura Experimental, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara.

y formal para resolver problemas y validar teorías—, también está la carrera investigadora —ámbito de prestigio vinculado usualmente a instituciones de educación superior y luego las áreas de trabajo— abarca desde la ciencia básica hasta la aplicada, la docencia y la evaluación de políticas públicas. En México, miles de mujeres hacen ciencia, publican, dirigen proyectos y forman estudiantes. Sin embargo, mientras más alto se mira en la jerarquía científica, menos mujeres aparecen. ¿Qué está pasando?

Para responder a esta pregunta, primero se debe contextualizar el papel del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII); ya que es un programa mexicano creado en 1984 con el objetivo de reconocer a través de evaluaciones la labor de personas dedicadas a producir conocimiento científico y tecnología, además de vincular la ciencia con problemáticas nacionales.

El SNII funciona como mecanismo regulador que determina el prestigio, el ingreso extra-salarial y la progresión profesional de los docentes e investigadores. Su influencia es tan amplia que actúa como un «espejo y modelo», homologando las trayectorias académicas hacia un enfoque meritocrático basado en la producción científica. Otro de sus indicadores de éxito profesional es la estratificación y estatus de sus investigadores en su ingreso y niveles (Candidato, I, II, III, Emérito).

## EL ASCENSO SE VUELVE MÁS DIFÍCIL PARA ELLAS

Sabiendo esto, ya se puede contestar la pregunta; ¿qué está pasando con las mujeres mexicanas investigadoras? En el artículo científico titulado: «Mujeres bajo la lupa del SNII: evi-

dencias de desigualdad desde el padrón 2025 y un análisis con inteligencia artificial», se obtuvieron diferentes hallazgos, revelando que la igualdad de género en la ciencia mexicana aún está lejos de alcanzarse. Aunque las mujeres ya representan poco más de un tercio del total de integrantes, su presencia disminuye drásticamente en los niveles más altos de reconocimiento. Mientras en la categoría inicial casi la mitad son mujeres, en el Nivel III apenas una de cada cuatro logra llegar. Es como si muchas lograran entrar al edificio, pero al momento de



Figura 1. Representación metafórica de las barreras estructurales en la carrera científica: mientras algunas investigadoras enfrentan condiciones que dificultan avanzar desde el inicio (piso pegajoso), otras encuentran límites invisibles que frenan su ascenso (techo de cristal). Imagen generada con la IA ChatGPT.

subir a los pisos superiores el elevador dejara de funcionar para ellas. A esto suele llamársele «techo de cristal»: barreras invisibles que frenan el ascenso, aunque oficialmente nadie las reconozca.

Pero el problema comienza incluso antes, muchas investigadoras enfrentan desde el inicio cargas adicionales, contratos más precarios o menos oportunidades para consolidar su carrera. Es parecido a correr una carrera con los zapatos pegados al piso mientras otras personas avanzan libres. Esa situación se conoce como «piso pegajoso», porque dificulta despejar desde las primeras etapas.

Además, la participación femenina se concentra en áreas como educación, salud y humanidades, mientras que disciplinas estratégicas como ingeniería, matemáticas y física mantienen una fuerte mayoría masculina. Lo más preocupante es que, comparado con datos de 2016, el avance ha sido mínimo. En casi una década, la presencia femenina creció solo unos puntos porcentuales, lo que apunta a un estancamiento estructural más que a una transformación real.

Todo indica que no basta con abrir la puerta de entrada: también hace falta cambiar las reglas dentro del edificio, las desigualdades no dependen de capacidades individuales, sino de reglas institucionales, sesgos históricos y una distribución desigual de responsabilidades de cuidado que sigue afectando las trayectorias académicas de muchas investigadoras.

## LAS REGLAS NO SON IGUALES PARA TODOS

Y sí, vale la pena preguntarse ¿por qué ocurre esto? Esta desigualdad no ocurre por falta de

capacidad o talento, sino por condiciones que siguen afectando de manera distinta las trayectorias profesionales de mujeres y hombres. En muchos hogares, las mujeres continúan asumiendo una mayor responsabilidad en tareas como el cuidado de hijas e hijos, personas mayores o la organización cotidiana de la vida familiar reduciendo el tiempo disponible para la investigación o la academia.

A esto se suman modelos de evaluación rígidos, en la práctica, se premia a quien publica de forma constante, mantiene alta movilidad académica y está disponible casi todo el tiempo.



Figura 2. Disminución progresiva de la participación femenina en los niveles más altos del sistema científico. Aunque numerosas en las etapas iniciales, las mujeres ocupan menos espacios conforme se asciende en la jerarquía académica. Imagen generada con la IA ChatGPT.

po. Ese esquema pocas veces considera pausas por maternidad, cuidados familiares o contextos personales complejos. Es como medir a todas las personas con la misma regla, aunque no todas parten desde el mismo punto.

También influye la cultura académica tradicional, donde persisten redes de poder históricamente masculinas, estilos de liderazgo excluyentes y expectativas no escritas sobre quién «encaja» mejor en ciertos espacios. En algunas áreas todavía se asocia la autoridad científica con perfiles masculinos.

Otro factor importante es la invisibilización del trabajo femenino. Muchas aportaciones de investigadoras reciben menos difusión, menor citación o menos crédito dentro de equipos de trabajo. A veces participan en tareas esenciales –coordinar grupos, formar estudiantes, sostener proyectos– que no siempre cuentan igual en los sistemas de evaluación. Cuando ese trabajo no se ve, tampoco se recompensa.

## NO PIERDEN ELLAS: PERDEMOS TODOS

Superar estas brechas no depende solo de sumar más mujeres a la ciencia, sino de transformar las condiciones en las que desarrollan su carrera. Abrir la puerta de entrada es importante, pero no suficiente si dentro del sistema siguen existiendo obstáculos para crecer, permanecer y ser reconocidas en igualdad de condiciones. Eso implica construir instituciones más flexibles y humanas: espacios donde la maternidad, los cuidados o las pausas de vida no sean castigados como si fueran fallas profesionales. También significa revisar cómo se mide el mérito, para valorar no solo la cantidad de publicaciones, sino la calidad del trabajo, la

formación de nuevas generaciones, el impacto social del conocimiento y la colaboración.

La ciencia necesita todo el talento disponible, no solo una parte de él. Cuando una investigadora encuentra límites injustos, no pierde solo una persona: pierde el conocimiento, la innovación y las posibilidades de toda la sociedad. La pregunta no es si las mujeres pueden hacer ciencia –eso ya está demostrado–. La verdadera pregunta es: ¿cuánto conocimiento pierde un país cada vez que les impone un techo?

## LITERATURA RELEVANTE

- Chong-Carrillo, O., Aréchiga-Palomera, M. A., Acosta-Altunaga, M. y Vega-Villasante, F. (2025). Mujeres bajo la lupa del SNII: Evidencias de desigualdad desde el padrón 2025 y un análisis con inteligencia artificial. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 21(3), 84-89.
- Gil Antón, M. y Contreras Gómez, L. E. (2017). El Sistema Nacional de Investigadores: ¿espejo y modelo? *Revista de la educación superior*, 46(184), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.resu.2017.12.004>
- Parker Gumucio, C. (2014). El mundo académico y las políticas públicas frente a la urgencia del desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe. *Polis (Santiago)*, 13(39), 175-201. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-65682014000300009>
- Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación. (s. f.). *Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores*. SECIHTI. <https://secihti.mx/snii/>

