

ISSN 2992-6807
Número 7
enero - junio, 2025



SECRETARÍA ACADÉMICA
Coordinación de Investigación y Posgrados

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

Dra. Karla Alejandrina Planter Pérez. *Rectora General*
Dr. Héctor Raúl Solís Gadea. *Vicerrector Ejecutivo*
Dr. Jaime Federico Andrade Villanueva. *Vicerrector Adjunto de Academia e Investigación*
Mtra. María Guadalupe Cid Escobedo. *Vicerrectora Adjunta Administrativa*
Mtro. César Antonio Barba Delgadillo. *Secretario General*
Dra. María Esther Avelar Álvarez. *Rectora del CUCosta*
Dra. L. Rebeca Mateos Morfín. *Secretaria Académica*
Mtra. María del Consuelo Delgado González. *Secretaria Administrativa*
Dr. Lino Francisco Jacobo Gómez Chávez. *Coordinador de Investigación y Posgrados*

Editor en Jefe

Dr. Fernando Vega Villasante

Consejo Editorial

Dra. María Esther Avelar Álvarez
Dra. L. Rebeca Mateos Morfín
Mtra. María del Consuelo Delgado González
Dr. José Carlos Cervantes Ríos
Dr. Fabio Germán Cupul Magaña
Dr. Lino Francisco Jacobo Gómez Chávez
Dr. Fernando Vega Villasante

Editores Asociados

Dra. Liza Danielle Kelly Gutiérrez. *Biología y Química*
Dra. Stella Maris Arnaiz Burne. *Turismo y Desarrollo Sustentable*
Dr. Jesús Cabral Araiza. *Ciencias Médicas y de la Salud*
Dr. Remberto Castro Castañeda. *Ciencias de la Conducta*
Dr. Luis Javier Plata Rosas. *Físico-Matemáticas y Ciencias de la Tierra*
Dra. Gabriela Andrea Scartascini Spadaro. *Educación y Humanidades*
Dr. Marco Antonio Delgadillo Guerrero. *Ciencias Sociales y Económicas*
Dr. Saúl Rogelio Guerrero Galván. *Biotecnología y Ciencias Agropecuarias*
Dr. Jorge Ignacio Chavoya Gama. *Ingenierías y Arquitectura*
Dra. Olimpia Chong Carrillo. *Multidisciplinaria*



REGISTRO DE
ARTÍCULOS

fvillasante@
cuc.udg.mx

Cuidado de la edición

Laura Biurcos Hernández

Diseño de portada

Mtro. Francisco Gerardo Herrera Segoviano

LUCIDUM CIENCIA. Año 4, Núm. 7, enero-junio 2025, 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, <https://www.cuc.udg.mx/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 23 de junio de 2025.

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

Contenido

Editorial	
Chalconas: el poder oculto de las plantas en la lucha contra enfermedades	
Alam Yair Hidalgo, Quirino Torre-Sauret, Heidi Beatriz Montejo-Mendez, Oswaldo Hernández-Abreu, Nancy Romero-Ceronio y Miguel Ángel Vilchis-Reyes	
Del crecimiento exponencial al equilibrio ecológico	
María Fernanda Jiménez, Gamaliel Blé, César Antonio Sepúlveda-Quiroz, Rafael Martínez-García y Carlos Alfonso Álvarez-González	14
El Cerro Vallejo: historia, magia y leyenda	
Eduardo Gómez Encarnación	21
Un vistazo a la historia del estudio de los anfibios y reptiles de México	
Gustavo Casas Andreu, Fabio G. Cupul-Magaña y Xóchitl Aguilar-Miguel	37
Bienestar animal en acuicultura: un análisis comparativo entre la Unión Europea y México	5
Fernando Vega-Villasante, Martín A. Aréchiga-Palomera, Olimpia Chong-Carrillo, Omar A. Peña-Almaráz, Karen Noemí Nieves-Rodríguez y Blanca Soro Mateo	56
Entornos híbridos e inteligencia artificial (IA) en la Educación Superior. Experiencias en diálogo	7
Gabriela Scartascini Spadaro	61
Plantas vs. Patrañas: la importancia de compuestos activos de origen vegetal para mitigar enfermedades	
Enrique Quiroz-Villanueva, Eduardo Ramírez-Ayala, César Antonio Sepúlveda-Quiroz, César Arturo Ilizaliturri-Hernández, Rebeca Yasmín Pérez-Rodríguez, Mayli Wong de la Mora y Adrián Tintos-Gómez	68
El grillo doméstico: ¿es el platillo favorito de nuestros peces de cultivo?	
Valeria Chablé-Ríos, Dafne Visnú Acosta-Delgado, Obed Alexander Ortiz-Méndez, Pedro José Rabanales-Rodríguez,	

Paulo César Molina-León, Uriel Rodríguez-Estrada, Carlos Alfonso Álvarez-González y Rafael Martínez-García	74	Hortensia Eliseo-Dantés, Francisco López-Villarreal, Luz Alondra Katt-Morales y Rosela Granados-Andrade	107
Transformando el campus: hacia una gestión sostenible de residuos en el Centro Universitario de la Costa Caterina Pregazzi y Jorge Ignacio Chavoya Gama	80	Las bacterias del olor a... ¡huevo podrido! Cristian Hakspiel Segura	113
Nanopartículas, el enemigo invisible José Luis García-Cruz, Gabriel Núñez-Nogueira, Francisco López-Villarreal, Nadxieli Guadalupe Chevez-Cruz, Leticia López-Valdivieso, Graciela María Pérez-Jimenez, Carlos Alfonso Álvarez-González, Rafael Martínez-García, Omar Mendoza-Porras y César Antonio Sepúlveda-Quiroz	90	Conservando el futuro: el reto de la preservación bacteriana Lizeth N. Raygoza-Alcantar y Elizabeth Avila-Castro	118
Microplásticos: amenaza para los ecosistemas y la salud humana Marco Esau González-Navarro y María del Carmen Navarro-Rodríguez	97	¿Chopopo, popoyote, puyequé o dormilón? Llámalo como quieras... ¡pero Pruébalo! Alondra Guadalupe Figueroa Salazar, Cinthya Montoya-Martínez, Evelin Morales Martínez y Fernando Vega-Villasante	127
¿Aliado o enemigo? La inteligencia artificial a través de los ojos de los estudiantes universitarios David Antonio García-Reyes, César Antonio Sepúlveda-Quiroz,		La criatura que susurra en Xochimilco: el ajolote entre el mito y la desaparición Gabriela Huerta Ávila y Olimpia Chong Carrillo	137
		El langostino invisible: una joya ribereña amenazada por el impacto humano Tania Yoselin Mendiola Altamirano y Manuel Alejandro Vargas Ceballos	142

EDITORIAL

Ciencia para la vida cotidiana: sembrar conocimiento, cultivar futuro

En cada número de *LUCIDUM CIENCIA*, nos proponemos tender puentes entre el conocimiento científico y la vida diaria de las personas. Esta séptima edición –correspondiente al periodo enero-junio de 2025– se inscribe en ese mismo compromiso, con una selección de artículos que no sólo informan, sino que también convocan a la reflexión y a la acción frente a los grandes retos contemporáneos.

Hoy, más que nunca, necesitamos una ciencia que se vuelva cotidiana, cercana, útil. Frente a crisis ambientales, incertidumbres alimentarias y cambios acelerados en nuestras formas de habitar el mundo, la divulgación científica adquiere un papel protagónico como instrumento de transformación social. La ciencia deja de ser un ámbito exclusivo de especialistas para convertirse en un recurso compartido, una herramienta para la toma de decisiones individuales y colectivas.

Este número aborda temas diversos pero interconectados: desde la producción sostenible de alimentos –con propuestas innovadoras el aprovechamiento de especies nativas acuáticas– hasta la calidad del agua como un derecho básico y un bien común que debemos defender. En estas páginas también encontramos una preocupación constante por la participación ciudadana, la inclusión del conocimiento tradicional y el cuidado del entorno que habitamos.

La revista incluye además textos que exploran la dimensión cultural de la ciencia y sus vínculos con nuestras formas de vida, con nuestras cocinas, nuestros cuerpos, nuestras tradiciones y nuestras esperanzas. Cada artículo es una semilla de conocimiento que, al ser compartida, puede germinar en conciencia crítica, en vocación científica o simplemente en una mayor comprensión del mundo.

Esta edición tiene un valor especial: marca tres años y medio desde que iniciamos esta aventura editorial. *LUCIDUM CIENCIA* nació con el deseo de iluminar los caminos del conocimiento desde una mirada cercana, incluyente y comprometida. Mirando hacia atrás, vemos un recorrido lleno de aprendizajes, de voces nuevas, de redes tejidas entre ciencia y sociedad. Mirando hacia adelante, renovamos nuestro entusiasmo por seguir creciendo, divulgando y conectando.

Desde *LUCIDUM CIENCIA*, queremos agradecer profundamente a quienes hacen posible esta labor: a los autores y autoras que generosamente comparten su experiencia y sus hallazgos; al equipo editorial (al que pertenezco) y de diseño que da forma a este esfuerzo colectivo; y, por supuesto, a nuestras lectoras y lectores, que le dan sentido a esta aventura de palabras y ciencia.

Creemos que divulgar ciencia no es simplificarla, sino expandir su alcance. No es traducirla a otro lenguaje, sino devolverla a sus múltiples orígenes y destinos. Porque la ciencia –como la luz– se propaga en todas direcciones.

Sigamos sembrando conocimiento. Sigamos cultivando futuro.

Dr. Saúl Rogelio Guerrero Galván
Editor Asociado de LUCIDUM CIENCIA

Chalconas: el poder oculto de las plantas en la lucha contra enfermedades

Alam Yair Hidalgo^{1,2*}, Quirino Torre-Sauret²,
Heidi Beatriz Montejo-Mendez³, Oswaldo Hernández-Abreu²,
Nancy Romero-Ceronio² y Miguel Ángel Vilchis-Reyes²

RESUMEN: El siguiente artículo de divulgación explora las propiedades biológicas de las chalconas, compuestos que pertenecen a la familia de los flavonoides presentes en distintas plantas. Debido a que desde tiempos antiguos, las culturas han utilizado extractos de plantas para tratar de combatir enfermedades, y los fitoquímicos como las chalconas han demostrado ser interesantes, principalmente por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorios, antimicrobianos y anticancerígenos. También se aborda sobre las chalconas como agentes protectores en las plantas, defendiéndolas contra herbívoros y patógenos. Su capacidad para inhibir el crecimiento microbiano y actuar como repelentes destaca su importancia en la agricultura. Además, estas moléculas tienen un potencial interesante en medicina, donde ac-

tualmente se investiga su uso para desarrollar nuevos tratamientos. El artículo también menciona que, a pesar de los desafíos en su implementación clínica, el futuro de las chalconas es prometedor gracias a los avances en biotecnología y química medicinal.

Palabras clave: flavonoides, fitoquímicos, actividad biológica.

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos remotos, las plantas han sido una fuente inagotable de sustancias químicas utilizadas en la medicina tradicional. Las culturas pasadas, como la egipcia, la china y la mesoamericana, utilizaban extractos elaborados de vegetales con el propósito de tratar distintas enfermedades, mucho antes de que se cono-

¹ Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco.

² División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

³ División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

* Autor de correspondencia

Recibido: 02/10/2024

Aceptado: 15/12/2024

Publicado: 29/01/2025

ciera sobre los principios activos. Todos estos compuestos, provenientes de fuentes naturales y que se conocen como fitoquímicos, han sido objeto de interés, buscando comprender sus propiedades y aplicaciones farmacológicas.

Dentro de los fitoquímicos con mayor relevancia se encuentran los flavonoides, una familia de sustancias que incluye a las chalconas. Las chalconas son interesantes por la cantidad de propiedades terapéuticas que poseen. Estas moléculas, que se ubican en una variedad de plantas, han demostrado poseer propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas e incluso anticancerígenas. Su estructura única y su capacidad para interactuar con diferentes sistemas biológicos las convierten en candidatas prometedoras para el desarrollo de nuevos tratamientos médicos.

El objetivo de este artículo es dar a conocer de manera accesible la importancia de las chalconas, cómo las plantas las utilizan como defensa natural y por qué su estudio podría ayudar en el campo de la medicina moderna. Desde sus propiedades químicas hasta su potencial aplicación en la terapia de enfermedades (Figura 1).

¿Y QUÉ SON LAS CHALCONAS?

Las chalconas son un tipo de compuestos dentro de la familia de los flavonoides, conocidos por su estructura química diferente al de los demás compuestos de esa familia y sus diversas propiedades biológicas. Su estructura básica consiste en un sistema que une dos anillos aromáticos (A y B) a través de un grupo enona (C6-C3-C6), lo que les confiere una estructura molecular plana y una capacidad para interactuar con diferentes objetivos biológicos.

El nombre «chalcona» proviene del griego «chalcos», que significa «bronce», debido al color amarillo de la mayoría de estos compuestos. Estas moléculas están presentes en una amplia variedad de plantas, incluyendo aquellas que forman parte de nuestra dieta diaria, como manzanas, peras, uvas y tomates. Por lo que, aunque pasen desapercibidas, las chalconas forman parte de nuestra vida cotidiana.

Existen distintos tipos de chalconas con estructuras ligeramente diferentes debido a la presencia de distintos sustituyentes en los anillos aromáticos. Estos sustituyentes pueden ser grupos metoxi, hidroxilo, o nitro, entre otros,

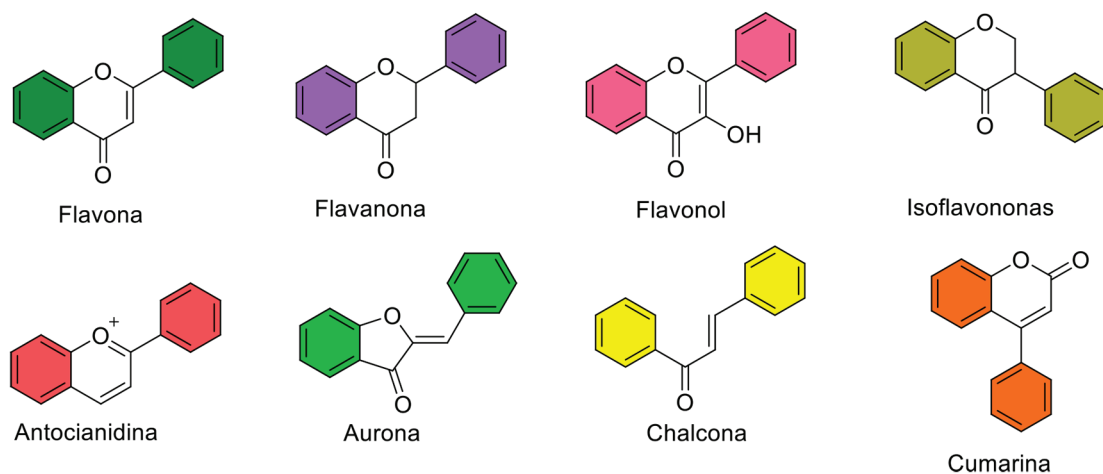


Figura 1. Estructura química de los flavonoides. Elaboración propia.

los cuales determinan las diferentes propiedades químicas y biológicas de cada chalcona. Por ejemplo, la presencia de un grupo metoxi en una posición específica puede aumentar la capacidad antioxidante de la chalcona, mientras que un grupo hidroxilo puede mejorar su solubilidad en agua. Además, se ha comprobado la actividad antiinflamatoria de chalconas que contienen el grupo nitro.

En las plantas, estas moléculas se obtienen de forma biosintética a través de la enzima chalcona sintasa, la cual cataliza la reacción entre un compuesto de tipo acetato (malonil-CoA) y un aldehído aromático (p-coumaroyl-CoA), dando paso a una amplia gama de chalconas con estructuras y funciones distintas.

Una de las características más destacadas de las chalconas es su capacidad para actuar como ligandos en sistemas biológicos. Esto significa que pueden unirse a proteínas específicas, modulando su actividad y desencadenando respuestas biológicas. Como se mencionó anteriormente, algunas chalconas han demostrado capacidad para inhibir enzimas relacionadas con procesos inflamatorios.

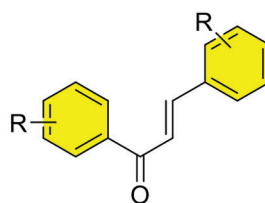
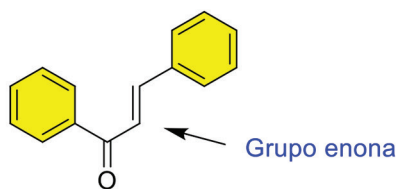
A pesar de su estructura relativamente sencilla, las chalconas presentan un amplio espectro de propiedades biológicas, que van desde la protección contra el estrés oxidativo hasta la inhibición del crecimiento de células cancerosas. Esta versatilidad ha convertido a las chalconas en una importante molécula de investigación, tanto para comprender su papel en las plantas como para explorar su potencial en el desarrollo de nuevos tratamientos posibles para enfermedades (Figura 2).

EL ROL DE LAS CHALCONAS EN LAS PLANTAS

La chalcona también es un metabolito que ayuda en la defensa de las plantas contra muchas amenazas del entorno, incluyendo herbívoros, patógenos y condiciones de estrés ambiental. Su habilidad para proteger a las plantas se debe a su actividad biológica multivariada, que abarca desde la acción antimicrobiana hasta la protección contra el sol.

Una de las funciones de las chalconas es su actividad antimicrobiana. Estas moléculas pue-

Estructura base de la Chalcona



Chalcona sustituida

R = Puede ser cualquier sustituyente químico por ejemplo, metoxi, nitro, hidroxilo.

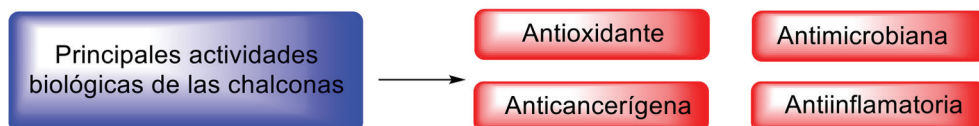


Figura 2. Estructura y actividad biológicas de la chalconas. Elaboración propia.

den inhibir el crecimiento de bacterias, hongos y virus que atacan a las plantas. Por ejemplo, experimentos han demostrado que las chalconas son eficaces contra *Phytophthora infestans*, un patógeno responsable del tizón tardío en papas y tomates. Esta propiedad se debe a la capacidad de las chalconas para interferir con la síntesis de la pared celular de los patógenos, debilitándolos y evitando su crecimiento.

Además de su efecto antimicrobiano, las chalconas también son repelentes naturales contra herbívoros. Cuando una planta se siente amenazada por insectos, puede incrementar la producción de chalconas y otros metabolitos secundarios como respuesta defensiva. También estas sustancias, no solo son tóxicos para muchos insectos, sino que también pueden atraer a depredadores naturales de los herbívoros, como ciertas especies de avispas, para crear un sistema de defensa indirecto.

Las chalconas al igual que otros flavonoides, también salvaguardan a las plantas de la radiación ultravioleta, que alcanza a dañar el ADN y otros componentes celulares. Esto debido a que actúan como filtros naturales, absorben la luz UV y la disipan como calor, cubriendo así los tejidos sensibles de la planta. Además, la mayoría de las chalconas tienen actividad antioxidante, lo que les permite neutralizar los radicales libres generados por el sol, previniendo el daño oxidativo en las células de las plantas.

Las chalconas no solo pueden trabajar de forma independiente, sino que también pueden unirse con otras moléculas dentro de la misma planta para aumentar su efecto protector. Por ejemplo, pueden ser precursoras de otros compuestos flavonoides más complejos, como los flavonoles y las antocianinas,

que también ayudan a la defensa de la planta de cualquier amenaza. Esta habilidad química permite a los vegetales ajustar su defensa según el tipo de amenaza que enfrenten.

Un ejemplo interesante del poder defensivo de las chalconas es su poder fungicida contra la infección de hongo causada por *Rhizoctonia solani*. Este compuesto no solo inhibe el crecimiento del hongo, sino que también activa una respuesta protectora en otras partes de la planta, previniendo a las células para que refuercen sus defensas.

El rol de las chalconas en la defensa de las plantas ha sido un elemento importante en el desarrollo de los vegetales. El potencial para modular y producir la cantidad de chalconas ha permitido a las plantas colonizar una variedad de hábitats y resistir una amplia gama de desafíos ambientales. Esta habilidad en su producción denota que las chalconas han sido un elemento importante en la adaptación de las plantas a su ecosistema.

PROPIEDADES MEDICINALES DE LAS CHALCONAS

Como ya se ha mencionado anteriormente, la versatilidad de las chalconas incluye su potencial biológico que desata muchas propiedades farmacológicas. Dentro de las propiedades más interesantes de las chalconas se encuentran sus efectos antioxidantes, antiinflamatorios, antimicrobianos y anticancerígenos.

Actividad antioxidante

Los radicales libres son sustancias reactivas que pueden causar daño a las células mediante un proceso denominado estrés oxidativo. Este fenómeno es el causante de muchas en-

fermedades crónicas degenerativas, como el cáncer, las enfermedades cardiovasculares y el envejecimiento prematuro por mencionar algunas. Por lo que las chalconas han mostrado ser fuertes antioxidantes, con la habilidad de neutralizar los radicales libres y disminuir el daño oxidativo.

Un ejemplo importante lo es, la molécula de xanthohumol, una chalcona extraída del lúpulo (*Humulus lupulus*), ha sido estudiada por su capacidad para inhibir el desarrollo de especies reactivas de oxígeno, con el propósito de proteger a las células de daño.

Actividad antiinflamatoria

La inflamación es una respuesta natural del cuerpo ante lesiones o infecciones, pero cuando se vuelve crónica, puede contribuir al desarrollo de enfermedades como la artritis, la diabetes y la enfermedad de Alzheimer. Diversos estudios han demostrado que las chalconas tienen efecto antiinflamatorio al inhibir la producción de mediadores proinflamatorios como las prostaglandinas y las citocinas.

Un ejemplo es la licochalcona A, presente en la raíz de regaliz (*Glycyrrhiza inflata*), que ha mostrado que puede inhibir a la enzima ciclooxigenasa-2, una de las principales responsables de la síntesis de prostaglandinas proinflamatorias.

Actividad antimicrobiana

Un problema grave de salud mundial es la resistencia a los antibióticos, que requiere la investigación de nuevas moléculas con actividad antimicrobiana. En este caso, a las chalconas también se les ha estudiado su potencial antimicrobiano para combatir diversas infecciones bacterianas y fúngicas. En estudios se ha

encontrado que estas moléculas pueden interferir con la síntesis de la pared celular de los microorganismos, alterar la permeabilidad de la membrana y bloquear la replicación del ADN bacteriano.

Por ejemplo, las dihidroxichalconas han demostrado ser eficaz contra cepas resistentes de *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*, actuando en concentraciones parecidas a las de algunos antibióticos comerciales. Además, algunas chalconas han demostrado actividad antifúngica contra patógenos como *Candida albicans* y *Aspergillus niger*, proponiendo su uso potencial en el tratamiento de infecciones micóticas.

Actividad anticancerígena

Uno de los aspectos que más interesante y que han llamado la atención de estas moléculas, es su actividad anticancerígena. Estudios han demostrado que las chalconas pueden inducir la apoptosis (muerte celular programada) en células cancerígenas, bloquear su ciclo celular y prevenir la angiogénesis (formación de nuevos vasos sanguíneos que alimentan el tumor).

Un ejemplo de esta actividad es la isoliquiritigenina, una chalcona presente en la raíz de regaliz, que ha mostrado efectos inhibitorios sobre células de cáncer de mama, próstata y colon. Esta chalcona actúa modulando diversas rutas de señalización celular, como la vía del factor nuclear kappa B (NF-κB), que está involucrada en la proliferación y supervivencia celular.

APLICACIONES IMPORTANTES Y DESAFÍOS EN LA MEDICINA ACTUAL

Es visible los resultados de las investigaciones que se han realizado con las chalconas. Su po-

tencial terapéutico es cada vez más notorio en la comunidad científica. Estas moléculas, que han demostrado poseer propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas y anticancerígenas, podrían estar implicadas en el desarrollo de nuevos fármacos como posibles tratamientos. Sin embargo, aunque las chalconas ofrecen numerosas posibilidades, su implementación en la medicina actual enfrenta todavía muchos desafíos, que deben ser superados, para que estas puedan ser utilizadas de manera efectiva en la práctica médica.

A pesar de todos los desafíos que pueda enfrentar las chalconas, el futuro de su investigación es interesante. Los avances en la biotecnología y la química medicinal están permitiendo el diseño de nuevas estructuras de chalconas con propiedades optimizadas, así como estudios en sus mecanismos de acción. Además, de que la investigación multidisciplinaria, está ayudando a identificar nuevas aplicaciones terapéuticas para estas moléculas.

También, la investigación de fuentes naturales de chalconas sigue siendo un área activa de investigación. La identificación de chalconas en plantas poco estudiadas podría revelar compuestos con propiedades terapéuticas únicas. También se está investigando la síntesis química y biotecnológica de chalconas, lo que podría facilitar su producción a gran escala y reducir los costos asociados.

Además de su uso en la química medicinal, las chalconas también tienen diversas aplicaciones principalmente, en la industria alimentaria y cosmética. Su actividad antioxidante y antimicrobiana las convierte en conservantes naturales para alimentos y en ingredientes activos en productos cosméticos. Las chalconas podrían utilizarse en la formulación de cremas

y lociones para el cuidado de la piel, proporcionando protección contra el daño oxidativo y la inflamación.

CONCLUSIÓN

Las chalconas son compuestos químicos naturales presentes en una amplia gama de plantas, han demostrado ser mucho más que simples metabolitos. Sus interesantes propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas y anticancerígenas las convierten en moléculas de gran interés para la ciencia y la medicina. A lo largo de este artículo, hemos aprendido cómo estas moléculas no solo protegen a las plantas de amenazas ambientales y biológicas, sino que también poseen un potencial farmacológico que podría ser aprovechado en la medicina actual.

AGRADECIMIENTOS

Alam Yair Hidalgo agradece a la SECIHTI por su beca de posdoctorado.

LITERATURA RELEVANTE

- Da Silva, G. M., Da Silva, M. C., Nascimento, D. V. G., Lima Silva, E. M., Gouvêa, F. F. F., de França Lopes, L. G., Araújo, A. V., Ferraz Pereira, K. N., y De Queiroz, T. M. (2021). Nitric oxide as a central molecule in hypertension: Focus on the vasorelaxant activity of new nitric oxide donors. *Biology*, 10(10), 1041.
- Hsu, Y. L., Kuo, P. L., Tzeng, W. S., y Lin, C. C. (2006). Chalcone inhibits the proliferation of human breast cancer cell by blocking cell cycle progression and inducing apop-

- toxis. *Food and Chemical Toxicology*, 44(5), 704-713.
- López, G., Mellado, M., Werner, E., Said, B., Godoy, P., Caro, N., Besoain, X., Montenegro, I., y Madrid, A. (2020). Sonochemical Synthesis of 2'-Hydroxy-Chalcone Derivatives with Potential Anti-Oomycete Activity. *Antibiotics*, 9(9), 576.
- Song, N. R., Kim, J.-E., Park, J. S., Kim, J. R., Kang, H., Lee, E., Kang, Y.-G., Son, J. E., Seo, S. G., y Heo, Y. S. (2015). Licochalcone A, a polyphenol present in licorice, suppresses UV-induced COX-2 expression by targeting PI3K, MEK1, and B-Raf. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(3), 4453-4470.
- Wang, K.-L., Yu, Y.-C., y Hsia, S.-M. (2021). Perspectives on the Role of Isoliquiritigenin in Cancer. *Cancers*, 13(1), 115.
- Zhang, X.-L., Zhang, Y.-D., Wang, T., Guo, H.-Y., Liu, Q.-M., y Su, H.-X. (2014). Evaluation on antioxidant effect of xanthohumol by different antioxidant capacity analytical methods. *Journal of Chemistry*, 2014(1), 249485.
- Zhou, Q., Tang, X., Chen, S., Zhan, W., Hu, D., Zhou, R., Sun, N., Wu, Y., y Xue, W. (2022). Design, synthesis, and antifungal activity of novel chalcone derivatives containing a piperazine fragment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(4), 1029-1036.

Del crecimiento exponencial al equilibrio ecológico

María Fernanda Jiménez^{1,4}, Gamaliel Blé²,
César Antonio Sepúlveda-Quiroz^{3,4},
Rafael Martínez-García⁴ y Carlos Alfonso Álvarez-González⁴

RESUMEN: En este artículo, abordamos la evolución de los modelos matemáticos para poblaciones, comenzando con el modelo malthusiano que describe el crecimiento de una población bajo condiciones favorables y pasando por el modelo de crecimiento logístico llegamos al modelo depredador presa Lotka-Volterra, donde el crecimiento malthusiano de la población presa es frenado por la presencia de una población depredadora, la cual entra en un equilibrio ecológico y ambas poblaciones coexisten.

Palabras clave: Modelos matemáticos, Dinámica poblacional, Modelo malthusiano, Modelo logístico, Modelo depredador-presa.

INTRODUCCIÓN

Los modelos matemáticos han sido una herramienta fundamental para la comprensión de los sistemas biológicos y ecológicos, que han permitido a los investigadores representar, analizar y predecir dinámicas complejas que se presentan en la naturaleza. A través de ecuaciones y sistemas, los modelos buscan simplificar las interacciones biológicas y así facilitar el estudio de fenómenos como lo son el crecimiento poblacional, la competencia por recursos y las relaciones depredador-presa. En ecología, los modelos matemáticos se han utilizado para predecir el comportamiento de especies en diferentes ecosistemas con la finalidad de diseñar estrategias de conservación

¹ Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco.

² División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

³ Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Villahermosa.

⁴ Laboratorio de Fisiología en Recursos Acuáticos (LAFIRA), División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Recibido: 24/09/2024

Aceptado: 05/12/2024

Publicado: 29/01/2025

que promuevan la sostenibilidad de las especies a largo plazo.

Uno de los primeros intentos, pero muy significativo para modelar el crecimiento poblacional fue el que realizó Thomas Malthus a finales del siglo XVIII, él propuso una fórmula simple pero poderosa para describir el crecimiento exponencial de una población sin limitaciones de recursos. Este modelo se adapta a poblaciones en un corto plazo, sin embargo, resulta ser deficiente para capturar las dinámicas reales de las poblaciones en la naturaleza a largo plazo, debido a que no considera las limitaciones impuestas por la capacidad de carga del medio, ni las interacciones entre las especies. Esto llevó al desarrollo de nuevos modelos que incluyeran la competencia intra-específica de la especie, las limitaciones en los recursos y las interacciones con otras especies.

A lo largo de este artículo vamos a explorar la transición que hubo del modelo de crecimiento exponencial de Malthus, hasta el modelo depredador-presa Lotka-Volterra, el cual es un modelo no lineal básico que incorpora la interacción entre dos especies. A través de este análisis, destacaremos los avances y las limitaciones de cada enfoque y mostraremos cómo la evolución de los modelos matemáticos ha contribuido a una mejor comprensión de los sistemas ecológicos.

CRECIMIENTO EXPONENCIAL: MODELO DE MALTHUS

Thomas Robert Malthus desarrolló su teoría del crecimiento poblacional a finales del siglo XVIII, en un contexto marcado por rápidos cambios económicos y sociales. En su obra más conocida, *An Essay on the Principle of Po-*

pulation, Malthus reaccionó ante los efectos de la Revolución Industrial y los avances en la agricultura, que habían llevado a un crecimiento demográfico sin precedentes en Europa. Preocupado por el futuro de la humanidad, Malthus observó que mientras la población tendía a crecer de manera exponencial, los recursos, particularmente los alimentos, aumentaban solo de manera aritmética. Este desajuste, según él, resultaría inevitablemente en hambrunas y otras catástrofes que limitarían el crecimiento poblacional. El modelo de crecimiento exponencial propuesto por Malthus es matemáticamente simple pero efectivo para describir el comportamiento de poblaciones en condiciones favorables. El modelo supone que la velocidad de crecimiento de la población es proporcional a la densidad de la población. Específicamente el modelo se escribe como la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{dN}{dt} = rN,$$

donde:

- N representa el tamaño de la población,
- r es la tasa de crecimiento intrínseca de la población,
- $\frac{dN}{dt}$ es la velocidad de cambio en el tamaño poblacional con respecto al tiempo.

Esta ecuación implica que, en ausencia de factores limitantes, la población crece a una tasa proporcional a su tamaño actual. De hecho, la solución a la ecuación diferencial es donde $N(t) = N_0 e^{rt}$, donde N_0 es la población al tiempo cero, por lo que el crecimiento de la población es exponencial. En la Figura 1 mostramos la solución al modelo de Malthus con condición inicial $N_0 = 1$ y $r = 2$.

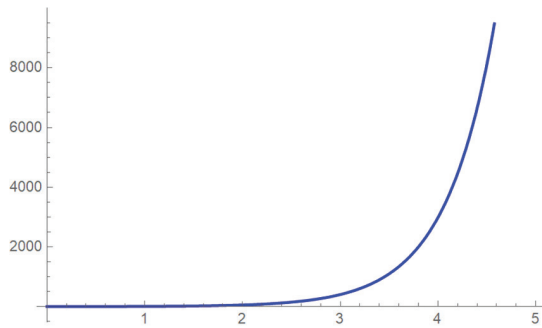


Figura 1. Serie de tiempo para el modelo de Malthus con condición inicial $N_0 = 1$ y $r = 2$.

El modelo malthusiano ha encontrado aplicaciones en diversos campos, más allá del análisis socioeconómico que Malthus tenía en mente originalmente. Por ejemplo, en biología, el crecimiento exponencial puede observarse en microorganismos en ambientes donde los recursos son abundantes y las condiciones son favorables, como algunas bacterias en una placa de Petri durante sus primeras fases de crecimiento. En ecología, el modelo ha sido utilizado para describir la expansión de especies invasoras en un hábitat nuevo donde no enfrentan depredadores o competidores inmediatos. Sin embargo, el modelo de Malthus está limitado por su simplicidad. En la realidad, una población no puede crecer indefinidamente ya que los recursos son finitos, algo que Malthus reconocía, pero que su modelo no considera. Además, el modelo de Malthus tampoco toma en cuenta la competencia entre la especie (intraespecífica) o la interacción con otras especies, como las relaciones depredador- presa, parasitismo, comensalismo, mutualismo, entre otras.

CRECIMIENTO LOGÍSTICO: MODELO DE VERHULST

A principios del siglo xx, el matemático belga Pierre François Verhulst propuso en 1838 el modelo logístico el cual considera la competencia intraespecífica. Verhulst se basó en la idea de que en el crecimiento poblacional, influye la competencia por recursos limitados y la capacidad de carga del medio. Esta hipótesis representó un avance importante, ya que tomaba en cuenta la idea de que la tasa de crecimiento poblacional disminuye a medida que la población se acerca a un umbral que se conoce como «capacidad de carga del medio». Específicamente el modelo queda de la siguiente manera:

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right)$$

donde:

- N es el tamaño de la población,
- r es la tasa intrínseca de crecimiento de la población,
- K es la capacidad de carga del medio,
- $\frac{dN}{dt}$ es la tasa de cambio del tamaño de la población.

Este modelo refleja que cuando la población es pequeña, el crecimiento es prácticamente exponencial. Sin embargo, cuando la población crece y se aproxima a la capacidad de carga, la tasa de crecimiento va disminuyendo y el crecimiento de la población se va frenando, acercándose asintóticamente al valor de la capacidad de carga. En la Figura 2 mostramos la solución al modelo logístico con condición inicial 1, tasa de crecimiento intrín-

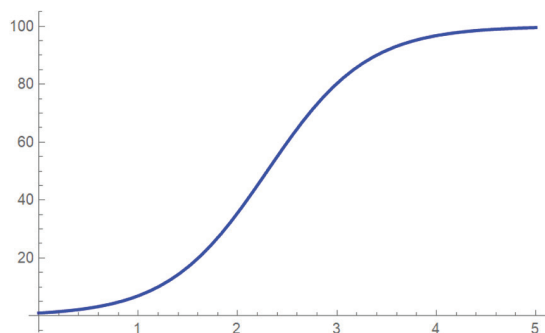


Figura 2. Serie de tiempo para el modelo logístico con $N_0 = 1$, $r = 2$ y $k = 100$.

seca igual a 2 y capacidad de carga del medio igual a 100.

El modelo logístico es ampliamente aplicable en biología, ecología y demografía, ya que a diferencia del modelo de Malthus, se ajusta a los datos de poblaciones por largos periodo de tiempo. Por ejemplo, al crecimiento de una población de organismos en un ambiente cerrado con recursos limitados, como es una colonia de bacterias en una placa de cultivo. En ecología, se utiliza para describir poblaciones de especies que se regulan por factores dependientes de la densidad, como la disponibilidad de alimentos, la competencia intraespecífica y las enfermedades, tal es el caso de la población de cebras en una reserva natural donde el alimento y el espacio se vuelven más escasos a medida que aumenta la densidad de población.

A pesar del avance y las ventajas que representa el modelo logístico, éste aún tiene sus limitaciones. En primer lugar, asume que la capacidad de carga es constante, lo cual no siempre es realista, ya que en muchos ecosistemas, ésta puede variar debido a factores ambientales como el clima, la disponibilidad de recursos o la intervención humana. En segundo lugar, no considera las interacciones con

otras especies, como es la competencia, la depredación y el mutualismo entre otras,

MODELO DE INTERACCIÓN DE ESPECIES: LOTKA-VOLTERRA

A principios del siglo xx el matemático italiano Vito Volterra realizó una contribución importante al estudio de las dinámicas poblacionales al incluir en un modelo las interacciones entre especies. Mientras Malthus y Verhulst habían modelado el crecimiento de una sola población, Volterra reconoce que en la naturaleza las especies no se encuentran solas en un entorno. En su lugar, interactúan constantemente, ya sea compitiendo por recursos o participando en relaciones de depredación y mutualismo.

Por otro lado, de manera independiente Alfred James Lotka desarrolló el mismo modelo basado en ecuaciones diferenciales para las reacciones químicas y hoy se le conoce como modelo depredador-presa Lotka-Volterra. El modelo supone que en ausencia de depredador (presa) la población presa (depredadora) crece (decrece) de acuerdo al modelo de Malthus y por otro lado la presencia del depredador afecta negativamente a la tasa de crecimiento de la presa y la presencia de la presa contribuye positivamente a la tasa de crecimiento del depredador. Este sistema está compuesto por el siguiente sistema de dos ecuaciones diferenciales ordinarias:

$$\frac{dN}{dt} = rN - aNP,$$

$$\frac{dP}{dt} = bNP - dP,$$

donde:

- N es el tamaño de la población de presas,
- P es el tamaño de la población depredadora,
- r es la tasa de crecimiento intrínseca de las presas en ausencia de depredadores,
- α es la tasa de depredación, que mide el éxito de los depredadores en capturar presas,
- b es la tasa a la que los depredadores convierten las presas consumidas en nuevos depredadores,
- d es la tasa de mortalidad natural de los depredadores.

Las soluciones a este sistema son funciones periódicas que reflejan una interacción cíclica entre las dos poblaciones. Cuando la población de presas es abundante entonces los depredadores tienen más recursos, lo que provoca un aumento en su número. A medida que la población de depredadores crece, la tasa de consumo de presas se incrementa, lo que provoca que la población de presas disminuya. Sin embargo, una disminución en la población de presas provoca la escasez de alimento de los depredadores, lo que conlleva a un decrecimiento de la población depredadora. Esta disminución en la población de depredadores permite que la población presa se recupere y así el ciclo comienza de nuevo. En la Figura 3 mostramos la curva solución al modelo Lotka-Volterra con condición inicial (10,10), cuando la tasa de crecimiento intrínseca es igual a 1.5, la tasa de depredación es 0.7, la tasa de conversión es 0.5 y la tasa de mortalidad es 0.5.

Un ejemplo en el que se aplica este modelo, es la interacción entre las poblaciones de liebres y linces en Canadá. Los ciclos poblacionales de estas dos especies muestran un

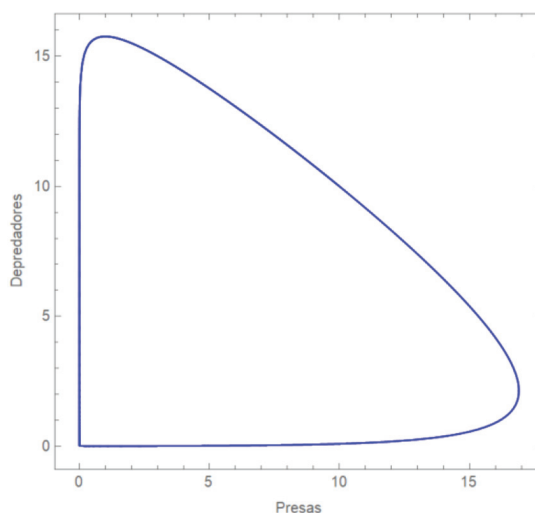


Figura 3. Curva solución al Modelo Lotka-Volterra con condición inicial (10,10), $r = 2$, $\alpha = 0.7$, $b = 0.5$ y $d = 0.5$.

patrón repetitivo de aumento y disminución de las poblaciones que se ajusta muy bien al modelo propuesto por Lotka-Volterra. En este caso, cuando las liebres son abundantes, la población de linces tiene alimento por lo que aumenta rápidamente, esto lleva a un descenso en el número de liebres. Posteriormente, la disminución en la cantidad de liebres provoca una caída en la población de linces, permitiendo que las liebres se recuperen nuevamente.

Este modelo tiene la ventaja de ser un modelo no lineal simple, pero tiene sus limitaciones, debido a que supone que las tasas de depredación y crecimiento son constantes y que no existen otros factores ecológicos que influyan en las poblaciones. Sin embargo, el modelo Lotka-Volterra ha sido fundamental para el desarrollo de otros modelos en ecología que son utilizados en actualidad para el análisis de ecosistemas, con interacciones más complejas en sus redes tróficas.

CONCLUSIÓN

A lo largo de los siglos, la modelación matemática del crecimiento poblacional ha experimentado una gran evolución. Comenzando con el simple pero influyente modelo de crecimiento de Malthus, basado en la idea de que las poblaciones sin limitaciones de recursos crecen exponencialmente, este modelo marcó el punto de partida para el desarrollo de modelos más complejos de la dinámica poblacional. El modelo logístico de Verhulst corrigió las deficiencias del modelo malthusiano al incorporar la competencia intraespecífica y la capacidad de carga, ofreciendo una visión más realista del crecimiento poblacional en ambientes con recursos finitos. Finalmente, el sistema Lotka-Volterra llevó la modelación matemática a un paso más allá, al considerar la interacción entre depredadores y presas, demostrando cómo las poblaciones de distintas especies pueden influirse mutuamente y entrar en ciclos de crecimiento y disminución.

La evolución de estos modelos demuestra la importancia de la modelación matemática para entender sistemas complejos en la naturaleza. Al traducir las interacciones ecológicas a ecuaciones matemáticas, los científicos han sido capaces de analizar y predecir dinámicas que serían difíciles de comprender debido a la multiplicidad de factores involucrados. Estos modelos no solo permiten simplificar y estudiar las interacciones ecológicas, sino que también ofrecen una base teórica que puede ser aplicada a la gestión de recursos naturales y la conservación de especies. En este sentido, la modelación matemática no solo es una herramienta de análisis, sino también de intervención en la preservación del equilibrio ecológico.

Hoy en día, los modelos de Malthus, Verhulst y Lotka-Volterra siguen siendo esenciales en la investigación, proporcionando un marco básico desde el cual se han desarrollado nuevas aproximaciones y modelos más complejos, siendo puntos de referencia en el estudio de las dinámicas poblacionales y su influencia persiste en el desarrollo de teorías contemporáneas sobre la biodiversidad y la estabilidad de los ecosistemas. En definitiva, la modelación matemática es una herramienta fundamental para enfrentar los desafíos ecológicos actuales, desde el estudio de especies invasoras hasta la predicción del impacto del cambio climático en los ecosistemas.

LITERATURA RELEVANTE

- Begon, M. y Townsend, C. R. (2021). *Ecology: from individuals to ecosystems*. John Wiley & Sons.
- Bunin, G. (2017). Ecological communities with Lotka-Volterra dynamics. *Physical Review E*, 95(4), 042414.
- Gotelli, N. J. (2008). *A primer of ecology* (4th ed.). Sinauer Associates.
- Hastings, A., Cuddington, K., Davies, K. F., Dugaw, C. J., Elmendorf, S., Freestone, A., y Thomson, D. (2005). The spatial spread of invasions: new developments in theory and evidence. *Ecology Letters*, 8(1), 91-101.
- Kingsland, S. E. (1985). *Modeling nature: Episodes in the history of population ecology*. University of Chicago Press.
- Lotka, A. J. (1925). *Elements of physical biology*. Williams and Wilkins Company.
- Malthus, T. (2023). An essay on the principle of population. En *British Politics and The*

- Environment in The Long Nineteenth Century* (pp. 77-84). Routledge.
- Murray, J. D. (2007). *Mathematical biology: I. An introduction* (Vol. 17). Springer Science & Business Media.
- Stenseth, N. C., Falck, W., Bjørnstad, O. N., y Krebs, C. J. (1997). Population regulation in snowshoe hare and Canadian lynx: asymmetric food web configurations between hare and lynx. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(10), 5147-5152.
- Turchin, P. (2003). *Complex population dynamics: A theoretical/empirical synthesis*. Princeton University Press.
- Vandermeer, J. y Goldberg, D. (2013). *Population ecology: First principles* (2da ed.). Princeton University Press.
- Volterra, V. (1926). Variazioni e fluttuazioni del numero d'individui in specie animali conviventi. *Memorie della Reale Accademia Nazionale dei Lincei*.

El Cerro Vallejo: historia, magia y leyenda

Eduardo Gómez Encarnación

RESUMEN: El Cerro Vallejo, considerado como una de las 60 montañas más importantes a conservar en México, es un accidente geográfico de alrededor de 1500 de altura que forma parte del límite poniente del Eje Neovolcánico y de la recientemente decretada Reserva de la Biosfera Sierra de Vallejo-Río Ameca. Se localiza en la costa sur del estado de Nayarit. Su vista domina el Valle de Banderas al sur y el de Chila al norte. A sus pies fluye el río Ameca, límite estatal con el vecino Jalisco. El Cerro Vallejo fue testigo de la llegada de los pobladores originales a la región, del surgimiento y ocaso del Reino de la Nueva Galicia que prevaleció por más de 200 años, así como del actual estallido turístico, demográfico e inmobiliario de esta parte del occidente de México. En las siguientes líneas se presentan algunos hechos históricos (en ocasiones con mezcla de temporalidad en su descripción), relatos de antiguos

pobladores y leyendas sobre el Cerro Vallejo que, seguramente, fueron estimulados por su majestuosa e intimidante silueta.

Palabras clave: Andrés Vallejo, crónicas históricas, Nayarit, testimonios, Valle de Banderas.

NOTICIAS DEL NOMBRE

El Cerro Vallejo es la elevación montañosa más notable e icónica de los valles de Banderas y Chila (Figura 1). Aunque a la distancia aparece como un macizo único, su silueta está conformada por varios picos de altitud variable: el Cerro Vallejo (1,420 m), Carboneras (1,500 m), Las Canoas (740 m), El Cora (720 m), La Bandera (600 m) y El Caloso (500 m). Desde los primeros años de la Conquista, estuvo en la Jurisdicción de Compostela, capital de la Nueva Galicia. Actualmente se encuentra dentro del Municipio de Bahía de Banderas, Nayarit.

Recibido: 06/09/2024

Aceptado: 14/11/2024

Publicado: 06/02/2025

Cronista del Municipio de Bahía de Banderas, Nayarit. eelomas@hotmail.com

La Relación de Compostela de 1584, dice lo siguiente sobre el antiguo nombre de este cerro:

Los indios de la provincia le llaman en la lengua. A todo el valle, Ciutla, a significado de ‘plumaje’, por un cerro que está en medio del valle. Alto y con una punta alta, que llaman en su lengua Ziutepetl, que es decir el ‘cerro del plumaje’.

Estudios lingüísticos posteriores reconstruyen el topónimo de la región como Xiuhtla, «herbazal o donde abunda la hierba» y al cerro Xiuhtepetl, «cerro de hierba». Hasta hace pocos años estuvo muy difundida la creencia de que una mujer hermosa y fantasmal, se aparecía en los ríos y arroyos de la región: «la guapilona o huipilona»; es decir, la mujer que viste un huipil largo. La aparición está relacionada con la diosa Xiuhtlatli, beneficiadora

de las plantas y la espesura, cuyo hupilli era de color. En la *Suma de visitas de pueblos de la Nueva España*, documento publicado en 1905 por el historiador Francisco del Paso y Troncoso (1842-1916) sobre la historia de México de mediados del siglo xvi (1578), se consigna que en medio del valle existía un pueblo de nombre Ciuhtlan. Posiblemente por esta leyenda, el nombre del cerro pudiera referirse al lugar donde se venera a Xiuhtlatli.

Tiempo después, los conquistadores españoles le llamaron Cerro de Vallejo, por Andrés Vallejo, quien en un censo de 1623 aparece como dueño de un «sitio de ganado mayor y huerta de cacao; con diez o doce personas entre indios y mulatos».

EL SANTO MATEO

La magia y la leyenda distinguen al Cerro Vallejo desde tiempos de la conquista española.



Figura 1. Vista del Cerro Vallejo desde el Valle de Banderas. (Imagen del autor).

En su *Descripción de la Nueva Galicia*, el historiador y sacerdote español Domingo Lázaro de Arregui (¿?-1636), recoge algunos mitos y leyendas de los naturales del Valle de Banderas y Chila. Lo mismo hace el historiador fray Antonio Tello (1590-1653) cuarenta años después. Uno de éstos, es el de un santo llamado Mateo que habitó en los valles de Chila y Banderas:

Entre los naturales se tiene por muy cierto que en tiempos antiguos anduvo en él un santo, cuyas vestiduras eran largas y que traía corona en la cabeza. Y dicen tenía su habitación en un cerro muy alto cerca de este valle por la parte boreal; y dista su cumbre de los llanos cinco leguas, y ella señorea la mar y todo este valle, y otro que, por las espaldas de esta serranía dicha, corre por la costa de la mar, dicho de Jaltemba, de Chacala y de Chila.

Y de aquel alto dicen los naturales que les dijeron sus antepasados que les predicaba este santo y les reprendía sus borracheras y desórdenes, y cuando peleaban los exhortaba a la paz, y que ellos oían clara y distintamente cada uno en su misma lengua, y le tenían gran veneración y respeto. Y entiéndase que vino a este valle por la provincia que llaman de los Coronados, y que cae en la jurisdicción de la villa de Purificación de la otra banda del cabo de Corrientes, porque cuando entraron nuestros españoles en aquella provincia, a todos aquellos naturales hallaron con coronas abiertas a manera de nuestros sacerdotes, por lo cual les llamaron Coronados.

Acerca del feliz fin y dichosos tránsito de este santo, dicen los naturales que murió a manos de unos indios sus comarcanos

que habitaban por la parte ártica de aquella alta sierra en que el santo solía estar en el valle, y de Chacala, que cae entre la ciudad de Compostela y el valle de Banderas, en la misma rivera del mar [...] y estos dichos indios traían ordinariamente guerra contra los del valle, y viniendo un día el santo a ellos, dicen unos que le quitaron la vida, aunque otros dicen que murió entre ellos su muerte natural. Y dicen también que los indios de Ostotipac, gente belicosa y fiera que estaban más en la sierra, sabido de la muerte del santo, vinieron contra los de Chacala a cobrar las reliquias del santo, y que nunca pudieron hallarla.

Y diré aquí lo que a cerca de esto he oído muchas veces [...] decían todos que oyeron decir a sus antepasados que los indios del pueblo de Canala, que eran más vecinos a la sierra donde habitaba este santo y les visitaba más a menudo, que todos sabían leer y escribir, y así mismo sabían ellos del santo; y que decían los viejos, que cuando murió el santo se oyeron campanas por grande espacio de tiempo, y que en un escollo de la playa Chacala, en cuyo centro estaba una laguneta pequeña y en medio de ella una cruz de piedra, yacía este santo cuerpo, y que la resaca o que las corrientes y menguantes del mar la cubren y descubren haciendo entrada difícil, y que algunos procuraron entrar y nunca pudieron; ni tampoco hay luz hoy ni noticia de este lugar, porque ya no hay memoria de los pueblos ni de los que los habitaron, aunque muchas personas afirman haber oído campanas de día y de noche hacia el mar, de aquellas huertas y estancias que por allí están pobladas, y saliendo a ver dónde sue-

na el repique de las campanas, nunca se ha podido ver cosa.

Y esto de oír campanas lo afirman muchas personas que hoy son vivas y aunque lo han oído de poco tiempo a esta parte en los altos del cerro, dicen los que han subido que hay hoy en las mismas peñas pintadas cruces y otras insignias de la pasión de Nuestro Señor Jesucristo, y que en las peñas vivas están estampados los pies del que las pintó. Del nombre de este santo no se tiene verdadera noticia, ni más de alguna alucinación que dicen haberse llamado Mateo.

LAS HUELLAS GRAVADAS

Según relata la *Crónica Miscelánea* de fray Antonio Tello, Andrés Vallejo dio testimonio al obispo don Antonio de la Mota y Escobar sobre los prodigios por estas tierras de fray Pedro de Almonte, cuya historia se confunde con la del santo Mateo:

Este año de mil quinientos y treinta y cinco. Yendo un religioso al Valle de Banderas con Nuño de Guzmán, les dieron razón de que en aquel Valle andaba otro religioso, por señas, porque les dixeron que andaba vestido como aquel religioso que allí estaba, y con el cabello cortado como él. Y parece ser así (aunque los primeros españoles que entraron en aquel valle, hallaron los de los indios con coronas, según queda atrás tratado) donde se tomó motivo para llamarles coronados, otros dicen que de este religioso tomaron las coronas, y que sería el padre fray Pedro de Almonte, y (esto) es posible. Y que el dicho padre, quando estu-

vo con el capitán don Antonio de las Casas en la conquista de Xalaltongo (y) Xalatzinco, fuese por la sierra de Ostoticpa al Valle de Banderas; pero lo que se tiene por más cierto, es que entró por Xala y Ahuacatlán. Llevando por su compañero al padre fray Francisco Lorenzo, y que ahí se detuvo este bendito religioso predicando el santo Evangelio a los indios de Xala; y sucedió que, teniendo puesta una escuela donde enseñaba a leer y escribir, y doctrinaba a los indios, uno de ellos, huyendo de la doctrina, se fue a esconder entre aquellas breñas, y sabiéndolo el sancto, fue tras el corriendo por entre aquellas peñas, y saltando de una a otra estampó las plantas en ellas, que son las que hoy se ven; y el fundamento que hay para esto, es haberlo dicho un hombre viejo, llamado Andrés Vallejo, a quien el sancto padre enseñó a leer y escribir, y murió, y está enterrado en el Valle de Banderas, y de su boca lo oyeron muchas personas / Contaba y refería también este buen hombre las rarísimas penitencias que este sancto hacía, y que obraba Dios de ordinario muchas y grandes maravillas por su siervo, sanando.

El señor Obispo don Alonso de la Mota y Escobar, andando en la visita de su Obispado, teniendo noticia de la maravilla de las plantas estampadas en la peña, las fue a ver, y habiendo llegado, se hincó de rodillas y las besó derramando copiosas lágrimas de devoción.

Sobre este último párrafo, en una entrevista que realicé en el año 2016 al Sr. Alejandro Palomera, ejidatario de San Vicente, Bahía de Banderas, Nayarit, testificó que, en el Cerro Vallejo, lugar denominado Los Morros, hay

una piedra donde están plasmadas con claridad las huellas de un ser humano.

UN PUEBLO ENCANTADO

En la década de 1930, un vaquero de la localidad del Valle de Banderas, al servicio de don Fortunato Andrade, contaba la siguiente historia relacionada con el Cerro Vallejo:

Salí a campear la mañana de un Jueves Santo. No debí hacerlo por ser ‘día grande’, pero tuve el presentimiento del parto de una vaca y quise hallar el becerro antes que se lo tragara el tigre. Encontré la vaca por el arroyo de Huchichila, un poco arriba de donde le nombramos Piletas. Ahí estaba con su cría, que no había sido olfateada por el animal. Curé al becerro, lo subí en la cabeza de la silla y me traje la vaca arreando. Fue cerca de medio día, cuando se dejó escuchar un rebato de campanas. Aquel tan, tan, tan, se repetía entre las cañadas del cerro. Y fue tanta mi sordera, que terminé extraviándome.

No sé cuánto anduve, pero de pronto llegué hasta la plaza de un pueblo que jamás había visto. Era un lugar bonito, pero a la vez triste. Todo mundo se apresuraba por entrar a la iglesia, donde no dejaban de repicar las campanas. Todos menos yo, que descansaba montado en mi mula, a la sombra de un naranjo agrio. Por hacer algo, corté varias naranjas y las guardé en la talega: eran siete naranjas amarillas y pesadas, como si fueran de oro. De pronto, una mujer que escondía la cara tras el rebozo se acercó y me advirtió con voz hueca:

—¡Si no quieres quedarte aquí, encantado para siempre, vete antes de que suene la última campanada!

Sentí miedo y arreando la vaca me apresuré a salir. Apenas mi mula pisó la última piedra de la calle, se detuvo el escándalo de las campanas y el pueblo desapareció a mis espaldas. Todo volvió a ser como antes. Un sudor helado bajaba por mi espalda y, para quitarme el mal sabor del susto, quise pelar una naranja, pero no pude

Cuando llegué al Valle de Banderas, me salieron con el cuento de que duré perdido un año. Yo les conté lo del pueblo encantado en el Cerro Vallejo, pero ellos dijeron que estaba loco. A mí me tenía sin cuidado que la gente dijera lo que dijera; pero Clara, mi mujer, ya no se me arrimaba y hasta quiso echarme de la casa. Entonces, le enseñé las naranjas, y sólo así se contentó:

—¡Ojalá y sean de a de veras, y no otra de tus mentiras! —me dijo—.

La leyenda del pueblo y sus tesoros, encantado en un cerro, data de varios siglos atrás y no es exclusiva de la región. En Tamazula y en Pihuamo, Jalisco, se escucha la misma historia. El padre Gabriel Pulido Sendis, en sus «Leyendas de la Parroquia de San Sebastián», anota:

En el Pueblo Viejo, existió una Iglesia, ¿dedicada a la Inmaculada Concepción?

Actualmente, sólo se observan los cimientos. Sus campanas se oyen repicar por Semana Santa.

Por otra parte, aunque el cuento citado líneas arriba es increíble, existe un dato más al respecto. Así, en Puerto Vallarta, un rico co-

merciante de la época, al hablar de su fortuna comentaba: «El dinero me cayó del cielo: un vaquero me trajo a vender siete bolas de oro macizo, que tenían el tamaño de una naranja natural».

EL ORIGEN DE LA LEYENDA

Actualmente, se acepta el paso de una «Pequeña Edad de Hielo» (PEH) sucedida entre principios del siglo XVII y mediados del XIX a lo largo y ancho del planeta. Se han propuesto dos periodos mínimos (denominados Maunder y Dalton) que toman en cuenta una PEH húmeda entre 1550 y 1720, así como y una seca entre 1720 y 1850. En la antigua región de la Nueva Galicia, donde se localiza el Cerro Vallejo, el mínimo más notorio y perjudicial fue provocada por la PEH seca:

En los años de 1785 y 1786, después de una serie de sequías, heladas y malas cosechas, hubo una terrible hambruna que castigó tanto a la Nueva España como a la Nueva Galicia. Nuestra región no sufrió la mortandad espantosa que afectó al altiplano, pero sí conoció cierta escasez. En esos años se ordenó de Guadalajara que las tierras de la costa dedicaran sus veranos a la siembra de maíz. Las autoridades de Aguacatlán y Jala contestaron que no podían enviar maíz a Guadalajara, porque apenas alcanzaba para sus pobladores.

Así, el origen de la leyenda de un pueblo encantado en el Cerro Vallejo, parece originarse en los caseríos abandonados y cambiados de lugar a causa de la sequía que se acentuó en la región hacia 1778: Santiago Temichoque y San

Miguel Zanatlán, en las faldas del Cerro Vallejo, así como San Nicolás Yztapa y Quelitán en los lomeríos al sur del río Ameca.

DOS PUEBLOS FANTASMAS

Santiago Temichoque

El nombre de Timichoc aparece por vez primera en la *Suma de Visitas de Pueblos de la Nueva España*, el censo más antiguo que se conoce de la región con la finalidad de recaudar tributos, se puede leer:

Timichoc. En la nueva Galizia. En Alonso Rodríguez. Este pueblo tiene ocho barrios y en ellos ciento y seis cassados; dan treze indios de servicio en la heredad del cacao; es tierra templada, tiene buenas tierras de húmedo y de regadío y donde se pueden hazer heredades.

En 1554, frailes Francisco Lorenzo y Miguel de Estivales se dieron a la tarea de fundar varios pueblos en la región, construyéndoles iglesias y poniéndoles nombre de santos. Temichoque fue bautizado con el nombre de Santiago y su caserío fue levantado al norte del actual Valle de Banderas, cerca de los manantiales del Agua Zarca. Santiago Temichoque recibió como propiedad un sitio de ganado mayor, que se extendía desde las lomas del Cerro Vallejo, hasta los terrenos que hoy se conocen como «La Garra de Cuero».

Hacia 1574, Santiago Temichoque figuraba como el pueblo principal de la comarca. Bernabé García aparece como Alcalde Mayor del pueblo de Santiago, con un sueldo de 100 pesos oro, y quien recibió este cargo por ser yerno de conquistador.

Por 1608, los pueblos encomendados en la región eran Apetatuca, Santiago Temichoque, San Miguel Zanatlán, Cihutlan, Mayanalitlan, San Juan Papachula, Acasuchales y Quilitlan. A un lado de los pueblos aparecieron las estancias ganaderas de Las Beatas de Jesús de Nazareno en Papachula, San Juan Atotonilco de Bernardo de Balbuena, San Miguel Zanatlán de Andrés Vallejo, Xalisquillo de Nicolás Gradi-lla, así como San Nicolás Ixtapa de Francisco de Balbuena.

La «Descripción de la Diócesis de Guadala-jara de Indias» de 1670 de Matheo Joseph de Arteaga, contiene un censo de Santiago Temichoque con un padrón de cuatro haciendas de ganado mayor, «ciento y seis familias, con trescientas diez y seis personas». El curato estaba administrado por don Lorenzo Arriola, con pago de 230 pesos. En 1678 Pedro Rodríguez Gutiérrez, cura interino del Valle de Banderas, levantó un padrón de su feligresía. Además de señalar las almas de confesión y comunión, anotó estado civil y castas.

En el siglo XVII, casi todos los pueblos indígenas perdieron sus propiedades comunales y algunos desaparecieron. En 1695, se realizó una medición de tierras y, el único pueblo que conservaba su sitio de ganado mayor, era Santiago Temichoque.

En 1708, el bachiller Pedro Rodríguez Gutiérrez fue cura de la feligresía y Cofradía de Santiago Temichoque. En 1725 se encontraba como «cura beneficiado» don Juan Manuel Fregoso. El cura, Antonio Cesati del Castelli, asistía en Santiago Temichoque en 1730. Poco después estuvo aquí Antonio de la Peña y Tovar, originario de este lugar, quien pasando después a Compostela falleció en 1750. En 1760 Santiago Temichoque estaba registrado

como cabecera del curato de los ranchos de Chila, Las Varas, Juan Sánchez y Santa Lucía, hoy Bucerías. En 1770, «Razón y Noticia del Obispado de Guadalajara», en el censo del Partido de Tepic, registró en la comarca cuatro haciendas de ganado y 13 ranchos, 106 familias, 316 personas y un clérigo que estaba en Santiago Temichoque.

Entre de 1770 y 1785 las sequías prolongadas agotaron las fuentes de agua de Santiago Temichoque y sus habitantes recorrían largas distancias para abastecerse del preciado líquido. Los vecinos se quejaron ante el Obispado de Guadalajara de la incomodidad que les ocasionaba la falta de agua y solicitaron el cambio del pueblo a un lugar más cercano al río Ameca. En marzo de 1778, el cura del lugar, Rafael García de Alba, dio aviso a las autoridades eclesiásticas de que los vecinos habían salido del pueblo de Santiago Temichoque y se habían asentado en un lugar más próximo al agua y más sano.

El caserío quedó en el abandono y el cambio de lugar trajo el cambio de nombre. A partir de entonces, dejó de llamarse Santiago Temichoque y adoptó el nombre de Valle de Banderas. Tal vez por el temor a una nueva sequía, se asentó en El Ahijadero, un lugar abundante en nacimientos y venas de agua.

San Miguel Zanatlán

El pueblo más antiguo conocido en el área es El Colomo, que parece corresponder al poblado indígena de Çanatlan o Zanatlán. La *Suma de Visitas de Pueblos de la Nueva Galicia*, cita:

Çanatlan. En la nueva Galizia. En Joan Sánchez Herrador. Este pueblo tiene sesenta indios cassados y treinta y ocho solteros;

está este pueblo en lo alto de la sierra del Valle de banderas junto al río, en tierra templada: tiene muchos húmedos. Es tierra fértil, está seis leguas de la mar y catorze de Compostela; tiene tres leguas de términos.

Joan (Juan) Sánchez encomendero de Chi-lá. Aparece como alguacil en el ejército de Nuño de Guzmán de quien recibió en encomienda estos pueblos en la costa. Fue vecino de Compostela y se le menciona en un pleito contra doña Beatriz Arias, dueña de las minas de Miravalle. Debió estar al pendiente de sus plantíos de cacao y tener larga descendencia, pues su nombre perdura hasta hoy en un poblado cercano a Altavista, Nayarit.

Hacia 1554, los franciscanos Francisco Lorenzo y Miguel de Estivales se encargaron de concentrar pueblos en la región y darles iglesia y nombre de santos. En la *Suma de Visitas de Pueblos de la Nueva España*, se registra:

San Miguel Çanatlan. El pueblo de San Miguel Çanatlan tiene veinte y dos tributarios y un soltero: da de tributo a su Magestad diez e siete pesos e cinco tomines, veinte y tres fanegas y media de maíz, y veinte y tres gallinas y media de Castilla.

Por su parte, Thomas Hillerkuss, en su *Diccionario Biográfico del Occidente Novohispano*, nos brinda datos interesantes sobre Bernabé García:

Alcalde Mayor del pueblo de Santiago Temichoque, platero con tienda propia en Guadalajara, provincia de Tepic, proveído por la Audiencia de la Nueva Galicia, el 30 de abril de 1574, con 100 pesos de oro

común de salarios en los tributos de ese pueblo; recibió este cargo por ser yerno de conquistado [...]. Durante su vida, supo abrirse paso como hábil comerciante [...]. Probablemente es uno de los principales participantes en estos negocios entre 1574 y 1595 en la Nueva Galicia. En el Valle de Banderas, adquirió por partida de impuestos maíz, guajolotes, pollos, sal, miel, camarrón y mantas que pagaban los pueblos de Pontoque, Tintoque, Temichoque, Ixtapa e Ixtapilla, Quilitlan, San Juan (Atotonilco), Papachula, San Miguel Zanatán, Acatísapa, Orita.

En 1608, la hacienda de San Miguel Zanatlán había pasado a ser propiedad del rey. En 1623, el Obispo Francisco Rivera ordenó se le diera informe sobre el número de estancias en el Valle de Banderas y la gente que las habitaba. La hacienda de Zalatlán, de Gonzalo de Ayala, a seis leguas de Temichoque, contaba con diez personas.

En 1688, el bachiller Pedro Rodríguez Gutiérrez, Cura interino del Valle de Banderas, levantó un padrón de su feligresía. Además de señalar las almas de confesión y comunión, anota estado civil y castas. De la Estancia de San Miguel se anota:

Bartolomé González, español; ausente su mujer por el enemigo. Juan Nicolás, indio soltero. Joseph Gómez, mestizo; Mariana Fragoso, su mujer. Juan Pérez, champurrado; Andrea Andrade, su mujer. Miguel Hernández, mulato soltero. Pablo Joseph, champurrado; Lorenza de la Cruz, su mujer. Juan Blanco, indio soltero. Juan Pasqual, indio soltero. Joseph López, indio soltero. Do-

mingo Barajas, mulato soltero. Juan Joseph, indio soltero.

A principios del siglo XIX la Audiencia de Guadalajara cedió las tierras a don Antonio Romero Maldonado, quien definió los linderos en 1803 desde los puntos nombrados La Loma Pelona y La Piedra Larga, hasta el Portezuelo de los Gatos y la Sierra de Santa María Jaltemba. La familia Romero fue propietaria de la famosa Hacienda Los Colomos de Guadalajara, y es probable que a ellos se deba el cambio de nombre de San Miguel a El Colomo.

La adjudicación de los terrenos de Jaltemba a la familia Romero, coincide con la gran sequía de finales del siglo XVIII, que obligó a los habitantes de Santiago Temichoque a cambiar de sitio. Lo más probable es que este pueblo, en las estribaciones de la sierra de Vallejo, haya hecho lo mismo: mudar a un lugar cercano al río Ameca y cambiar de nombre.

SAN MIGUEL EN LA CARTOGRAFÍA

En un plano de las costas de Nueva Galicia de 1780, aparece el pueblo de San Miguel. En el mapa del Séptimo Cantón de Jalisco trazado por el Teniente de Navío José María Narváez en 1824 está señalado el pueblo de San Miguel. En un mapa del estado de Jalisco de 1867 tomado por la Sociedad de Geografía y Estadística se encuentra de nuevo. En 1880, en un mapa del territorio de Tepic, tomado por el jefe del Estado Mayor Gral. Francisco Troncoso se sigue consignando a San Miguel; el dato se repite en planos de 1889 y 1897.

En 1896, la Compañía deslindadora Gayou trazó la región con una cartografía más precisa. En el Plano perimetral de una par-

te de Compostela, en el sitio que ocupó San Miguel aparece el nombre de El Colomo. Lo mismo sucede en planos de 1900, 1905, 1908 y 1910. Aunque la Gayou había borrado el antiguo nombre de San Miguel y actualizado El Colomo, como reminiscencia de una cartografía pasada de moda, en un mapa de Jalisco de 1906 de A. V. Pascal, que se repite en 1908, de nuevo se señala a San Miguel.

Pero las mayores incógnitas para buscadores de pueblos desaparecidos e historias del Cerro Vallejo, es un mapa del estado de Nayarit publicado por la Secretaría de Agricultura y Fomento en 1922 donde aparece El Colomo y, al norte, un San Miguel que no existe. Y un plano del perfil del río Ameca y sus afluentes, levantado por E. Pérez para la Secretaría de Fomento en 1927, donde aparece el arroyo San Miguel por el rumbo, sin que hoy se encuentre registrado en la hidrografía de la región.

EL PESO DE LA HISTORIA ORAL

A continuación, y para cerrar este artículo, presento varios relatos orales que obtuve a partir de entrevistas no estructuradas, realizadas desde el año 2000 a la fecha, de viejos pobladores de la región cercana al Cerro Vallejo, las cuales son ejemplo de cómo el paisaje de una región delinea la cultura de sus habitantes. Asimismo, cabe destacar que algunos de estos relatos también los tomé de la prodigiosa memoria de mi abuelita Rosario Tovar González, allá por los años setenta del siglo pasado, y que pueden ser consultados en mi libro *Imaginario Regional* del 2008:

Don Roque Melchor

Dice la gente que el Cerro Vallejo termina en dos tetillas y, en medio de éstas, una explanada donde se forma una laguna. Antiguamente solían visitar esta laguna los gansos canadienses, conocidos en nuestra región con el nombre de patos ‘piruleros’.

Don Roque Melchor, quien vivió en el pueblo de Valle de Banderas, en los años cincuenta del siglo pasado, nos contaba esta curiosa anécdota:

Habiéndose aliviado su mujer de parto, y no teniendo dinero para sobrellevar la ‘cuarentena’ con caldos de gallinas, decidió alimentarla con patos ‘piruleros’. El hombre, al verse sin armas ni trampas para cazar los patos, concibió la siguiente idea: fue a la tienda de Don Mariano Santana, pidió fiado una bola de hilo fuerte, una aguja mediana, un puñado de maíz y varios cubos de sal inglesa, purgante efectivo utilizado en esa época.

Con estas cosas guardadas en una talega, Don Roque se encaminó al Cerro Vallejo. Cuando estuvo a orillas de la laguna, el hombre pasó el hilo por la aguja y ensartó un grano de maíz, que luego untó con la sal inglesa; enseguida arrojó el maíz entre los ‘piruleros’ y esperó escondido. Minutos después, uno de aquellos animales descubrió y se tragó el grano. El purgante no se hizo esperar y, en poco tiempo, hilo y grano fueron expulsados por la cola del pato.

Don Roque entusiasmado jaló al ave, la recorrió en el hilo y volvió a untar con el purgante el maíz, para arrojarlo de nuevo

entre la parvada. De esta forma atrapó otro pato, luego otro, otro y otro

Cuando completó cuarenta animales, ató las manos a cada extremo del hilo y espantó a las aves pegando de gritos. Fue así como se vio levantado en el aire, y volando desde el Cerro Vallejo, Don Roque dirigió a los patos hasta aterrizar a media plaza del poblado.

En mi libro *De los Indios Banderas* del 2008, el profesor Juan Manuel Gómez Encarnación recrea esta misma anécdota en un cuento titulado «Rutilio Espiricueta».

Manuel García, de El Colomo (entrevista realizada en el 2017)

Se dice del Cerro Vallejo muchas cosas. Una de ellas es que de un de repente se ve una bola de lumbre que va y se estampa allá, y hasta se oye el tronido onde estalla; una cosa de sorprender que una bola de lumbre así, que alumbraba mucho, se va y pum se oye cuando pega. ¿Qué será? Sabe.

Por ejemplo, se habla del Cerro Vallejo que es un cerro encantado, que es un cerro mágico. Las personas mayores hablan de que un señor del Valle fue al cerro en busca de una vaca y de repente oyó campanadas y era un pueblito donde estaban entrando a misa. Y él llega y amarra su mula, había una placita, y se mete a la iglesia, pero alguien se arrima y le dije ‘vete rápido porque si no te vas, ya no te vas a poder ir, te vas a quedar aquí encantando’. Entonces el salió, desamarró su mula y agarró unas naranjas del palito agrio, cortó dos y las echo a los vaquerillos. Pero lo curioso es que nomás

caminó tantito y se desapareció el pueblito y acá ya no eran naranjas, eran bolas de oro son pláticas de gente, son cosas que a lo mejor existieron.

Los cazadores que han estado en el cerro dicen que un de repente oyen como que se les viene el cerro encima, una cosa fea y esas cosas son indicios de que algo hay. Hace muchísimos años, en tiempos de la hacienda, iba un vaquero siguiendo una vaca para ahijarla cuando llegó a una parte donde estaba una cueva, una cueva grande salían murciélagos de ahí. Se metió y le causo admiración todo lo que vio, pero tuvo miedo y sólo sacó un rifle y una espada con la manija de plata. Esa todavía ha de existir aquí porque el administrador El Cuatante que tenía Ramón Maisterrena, ese se hizo del puño de esa espada. Después muere y vino a parar a manos de un hermano. Muere el hermano, Pedro Castañeda, y la empuñadura queda en manos de un señor que se llamaba Francisco López de aquí, ya de ahí para acá no supe donde quedaría, pero ese ese puño, esa empuñadura estuvo aquí. Y el rifle, un rifle viejo de esos que les llaman treinta, o por ahí. Pero lo curioso es que después se dieron a la tarea de buscar esa cueva y jamás la hallaron, jamás la encontraron.

Nicolás Cueva Ávalos, de Fortuna de Vallejo

Fortuna de Vallejo es una localidad que se encuentra en el paso de la brecha que va del Valle de Banderas a Compostela, conocida como «La Cucaracha». Nicolás Cueva Ávalos nació el 6 de diciembre de 1942 en San Sebastián del Oeste, Jalisco, sus papás lo trajeron de brazos

a este lugar y me contó los siguientes cuatro relatos asociados al Cerro Vallejo:

Cuando llegué a Fortuna de Vallejo, el poblado se llamaba Las Mesas y Las Glorias. Hace muchos años estuvo aquí una compañía que se dedicó a sacar durmientes para la vía del tren. Los hacían de madera de coapinole porque es madera dura, de puro corazón. Los durmientes se hilaban a pura hacha. La compañía puso un campo en ‘Los Pozos’. Hasta ahí llegaba un camión donde los cargaban con un tecele. Luego pusieron un aserradero de amapa, juanacaxtle, barcinillo y un poco de caoba.

Había muchos chonchos, parvadas, los atontábamos con resortera. Son buenos preparados en mole o en birria. Dicen que no es bueno darle a comer los huesos de los choncos a los perros porque se vuelven locos. Que son venenosos porque se alimentan de la vaina de una planta que se llama chilillo y es mejor enterrarlos. Había también guajolote silvestre. En Fortuna todavía se ven muchas chachalacas. También hay animal de uña. Antes los tigres llegan hasta la orilla del rancho; hoy donde abundan es en la Majada del Teniente. Otros animales del monte son el venado, jabalín, tejón, ardilla y onza. En ese tiempo todos éramos cazadores, pero los más reconocidos fueron Miguel López y Pedro Magallón.

El oso y las lluvias:

antes llovía mucho en Fortuna de Vallejo. Pero se cuenta que en una ocasión unos cazadores creyeron encontrar un oso en el cerro. Le apuntaron y cuando quisieron

dispararle, el oso, que en realidad era un ermitaño, les dijo que si lo mataban iba a dejar de llover y de seguro lo hicieron porque ahora llueve poco en Fortuna de Vallejo.

Las trompetas de San Gerónimo:

el día 13 de junio de 1996 hubo una tormenta con ventarrón tan fuerte en Fortuna de Vallejo que se dejaron escuchar las Trompetas de San Gerónimo, las del juicio final. Nada milagroso ese día, lo que sucede es que entre la gente del lugar existe la creencia de que cuando cae un vendaval, tocando el cuerno se puede deshacer la tormenta; ese día fue don Nicolás Cueva Ávalos quien hizo sonar el cuerno ese con que se llama al ganado para desbaratar la tempestad.

El chan de los venados:

el chan de los venados es un espíritu protector del monte que se presenta a los cazadores que han cazado muchos animales para evitar que sigan matando. A Miguel López, de Fortuna de Vallejo, se le apareció el chan de los venados.

En esa ocasión, su mujer le dijo que no fuera de cacería porque ya no hallaba que hacer con tanta carne de venado: había regalado varios cuartos a los vecinos, algunos lomos a los parientes, en los alambres del patio colgaban los tasajos de cecina; total, ya ni los perros se comían los dentros. Pero él se echó al hombro el rifle 22 y no le hizo caso, porque para Miguel la cacería de venados se había convertido en un vicio.

Cuando llegó al aguaje preferido, ya estaba oscureciendo. Miguel encendió la lámpara de carburo, se desnudó como lo hacen los cazadores expertos y se escondió detrás de una gran piedra, buscando el lado contrario del viento para que no lo olieran los animales.

Las horas pasaron muy lentas en una noche intensamente oscura. No había ningún ruido, ni siquiera el chirriar de las chicharras; de vez en cuando la luz de un tagüinchi cortaba aquella oscuridad como ala de cuervo. No había animal que bajara al aguaje; vaya, ni el tlacuache que es tan descarado. A Miguel le pareció extraño tanto silencio y aquella lentitud de tiempo detenido, pero Miguel no era de los se rajaban: 'el que terquea mata venado'. Era su refrán de cazador. De pronto escuchó un discreto quebrar de ramas secas, de huellas precavidas crujiendo en la hojarasca de abril. 'Es lo que espero...' pensó Miguel mientras se agachaba con cautela buscando la lámpara para aluzarlo, pero la flama del carburo se había apagado desde hacía rato. Miguel no se amilanó. Repechado en la piedra se fue levantando poco a poco. El filo de la roca le sirvió de mampuesto y apuntó hacia donde escuchara el ruido: 'a tanteo, que al cabo no es la primera vez', se dijo, pero no fue necesaria la lámpara. Frente a él estaba el venado más grande y hermoso que jamás haya visto, rodeado de una luminosidad irreal.

Miguel apuntó unos segundos y disparó; ¡bang! ang! ang! la explosión de la pólvora parecía extenderse por medio mundo pero el venado no se movió un centímetro de donde se encontraba. Miguel tuvo oportunidad de cargar y disparar un tiro más, que

para él fue mortal, pero el ciervo seguía ahí, en pie, con la mirada puesta en el cazador. Un sudor frío le recorrió la espalda y sintió se le paraba el pelo de la nuca. Sacó una tercera bala y con la navaja de cacería le marcó una cruz profunda en la ojiva. ‘Esto no es cosa de este mundo pensó santiguándose, y disparó aquel tiro que debió haberse expandido en el centro del corazón ¡Pero el animal siguió en pie sin rasguño alguno!

Enseguida el venado dio unos pasos y llegó hasta él. Miguel lo vio venir, se le escapó el rifle de las manos y se quedó petrificado. El animal lo olisqueó mirándolo a los ojos con tristeza y algo pareció murmurarle en el oído; enseguida dio vuelta y desapareció entre el monte con su luz fosfórica.

Miguel no supo cómo, pero llegó a su casa de madrugada. Cuando su mujer le preguntó ‘qué tal te fue, el cazador no pudo responderle. Así permaneció mudo y con fiebre varios días.

‘Debió haber tenido más de ocho puntas y una mirada que parecía de gente’ dijo ya que pudo relatar lo sucedido.

Desde entonces Miguel se volvió melancólico, poco sale a cazar y cuando lo hace, regresa sin ninguna pieza.

Bruno García Raigoza, de Valle de Banderas (entrevista realizada en el 2010)

El Encuerado está del Coapinole, así, pal lado de río, le decían El Encuerado, ahí viví. Soy de San Sebastián, nací en el 1909, voy a ajustar 102 años. Mi segundo apellido es Raigoza, mi papa Pablo García Robles, mi

mamá Guadalupe se llamaba, mis hermanos Pablo, Victorino, Ramón. De ahí nos venimos a Carboneras y de allí nos venimos acá, al cerro, le dimos hasta el piquete del Cerro Vallejo. Cuidamos ganado de mi padre y cuidamos ganado ajeno al tercio.

Vivíamos nosotros así, en una loma pal lado del mar se vían las olas y para allá, se oyía como un ruido de música para acá puro cerro y para allá, música se oía. Sabe que sería pal lado del mar, estaba muy lejos y se oía música. De ahí baja uno pa Monteón, ahí se oyen ruidos, como está en alto y encajonadón, toda la noche se oyen ruidos.

Hay una piedra que se llama la Piedra China. Y un día me fui a dormir allí. Hice un tapeistito de palapa, puse una palapa, y en la noche salió un señor vestido de blanco, pero no le vía cabeza. Y platicó conmigo y ya de ahí se jue, llegó a la Piedra China y ahí se perdió. Ahí en el cerro estaba la piedra así, grande, y como a media piedra ahí se perdió.

Doña Margarita de García

Una vez estaba yo sentada así y se me arri-mó una culebra blanca, enrollada. Estaba yo en un tapanquito.

—Mira Bruno —le dije yo— y diciéndole eso se fue la culebra, se fue la culebra, a Bruno ya no le tocó verla.

—Le hubieras dado con algo —me dijo— ahí estaba el dinero.

—No —le dije—. Le dije que no traía con qué darle, era blanca, redondita y dice Bruno que ahí estaba el dinero.

Amparo Villalvazo «La Cuatita», de San José del Valle

De fresca memoria Amparo Villalvazo a sus casi cien años de edad, cuando se le aborda para una entrevista, contesta:

Yo nací el 13 de septiembre de 1920, a las 8 de la noche en San Sebastián de Oeste, me bautizó el padre Cordero me confirmó el padre Hurtado me confesó el padre Escalante y me casó el padre Galaviz, mis papás fueron Eliseo Gómez y Carmen Villalvazo, mis hermanos, la otra cuata, Virginia Gómez y Lupe Gómez.

En una plática con Carlos Hernández en abril de 2016, «La Cuatita» le contó:

Se usaba que la gente –había mucho venado– iba la gente, había gente que se dedicaba nomás a cazar venados. Don Sabino, el padre de Doña Judith, iba para allá, era tío de Bruno e iba para allá y llegaba ahí, a La Majada. Y un día se levantó el viejito y –hasta eso no estaba tan viejito todavía– y me dijo:

‘Oye Cuatita, lavas el asador’. Porque antes se estaba con la creencia de que lavando el asador se mataba pronto venado. Y sí, ya lavé el asador y se fue. Y pos se le hizo tarde y antes había mucho tigre allá, había mucho animal, y le dije a Bruno:

—Ay, oye. ¿No mataría el tigre a Don Sabino?

—Pos sabe... Ya nos quedamos.

Y otro día, como a estas horas llegó y me platicó:

—Ay Cuatita, ¿Qué crees que me sucedió?

—¿Qué, Don Sabino?

—Mira: yo iba para allá, pa donde iba a cazar venado, porque siempre iba para La Zeta, cuando vi un venado y me fui siguiéndolo, y dice, cual sería mi sorpresa, que un de repente vi un templo muy bonito y unos naranjos bien bonitos, llenos de naranjas. ¡Ah! –dije– me voy a llevar unas naranjas. Y ya, agarré mi talega y cuando quise cortar naranjas me voy viendo en un monte, un montón de garabatos, un monte tan feo, ¡ay!, ¿qué voy a hacer? Ya no sabía ni pa donde andar ni pa donde salir, no puede. Y me tuve que subir a un palo pa esperar otro día y poder salir. Eso me sucedió.

Y si se oyian las campanas para los días santos. Y se oyian bien, bien, así nomás las campanas. Pero ya toda le gente vieja como yo ya sabía que se oyían en el Cerro Vallejo, que estaba encantado. Ya le digo: eso le pasó a Don Sabino, que vio un templo bien bonito y unos naranjos.

—Y ¿Qué iba a hacer por allá si ya sabía que estaba encantado?

—No si yo no pensaba en eso, yo iba siguiendo un venado –me dijo–.

Del Valle para allá estaba La Majada, La Zanja Verde, La peineta, todos esos ranchos.

Doña Rufina Cárdenas, de San Juan de Abajo

Si el cerro estuviera encantado, alguien se hubiera perdido ya. Si se oyen cosas. A mí me tocó eso, estaba como de la edad de cuatro años cuando estuvimos en ese cerro en ese campo.

El cerro ese se derrumbaba en la noche. Se oía el estruendazo como que se caiba,

como que rodaban piedras. Le hablaba mi padre a mi madre:

—Bernarda, Bernarda, mañana ya vas a ver pa La Peñita, ya se cayó el cerro —Y se oía el run, run, run, derrumbándose el cerro—.

Campanas una sola vez las oí al puro medio día, repicarse muy bonito. Un repique largo de unas campanas especiales a puro medio día era un domingo, muy ladinas.

Aquí por el arroyo pa arriba de Huichi, allá por un rancho que le dicen El Aguacate, allá vivió un señor vaquero de Don Sebastián Arreola: se llamaba Librado Reyes y la señora María. Y me pidió prestada pa que le ayudara con un niño, y me presto mi madre, allá pa arriba, pal cerro. Y corría el arroyo hacia abajo:

—Doña María, deme los pañalitos del niño pa irlos a lavar ahí —y me fui—.

Y cuando ya venía saliendo me empezaron a tirar pedradas. Doña maría me decía que no fuera porque ahí, que salían unos monitos, salían unos niños muy groseros.

—Ah, yo por qué; yo no voy a pelear, yo voy a lavar —le decía—.

Ya llegaba yo y me ponía a lavar. Limpio todo aquello, estaba limpio, nomas ahí donde nacía el agua había mucho colomo y guamaras y unos arboles altos; el arroyo corrí por otro lado. Y ya bajaba yo y salían yo decía.

—Ahí viene un niño —pero no me hablaba— ahí viene otro.

Pero yo ya sabía que ahí salían, me decían que eran duendes, con un trajecito. Salía agua por entre las güamaras. Y ahí vienen, poco a poco iban saliendo y jugaban

ahí, se bañaban en el agua. Y doña María me gritaba:

—Ya vente, ya vente. Yo acababa de lavar dos tres calzoncitos o pañalitos y me iba.

—Te digo que ahí hay unos niños groseros —me decía—.

—A mí no me dijeron nada.

Y estuve bajando así y un día salieron como unos ocho o nueve tirándome pedradas.

—Yo no vine a pelear, yo vine a lavar estos trapitos. ¿Por qué me tiran? Yo no les estoy haciendo nada y váyanse de ahí, no estén tirándome pedradas.

El caso es que los días que estuve ahí yo diario bajaba y salían los duendes.

LITERATURA RELEVANTE

- Briones Franco, J. (2018). *Fundación de pueblos en Sinaloa y Nayarit*. Archivo Histórico General del Estado de Sinaloa.
- Gómez Encarnación, E. (2007). *Imaginario Regional. Mitos, leyendas y creencias en los pueblos de la Bahía de Banderas*. CECAN-CO-NACULTA-VI H. Ayuntamiento de Bahía de Banderas, Nayarit.
- Lázaro de Arregui, D. (1946). *Descripción de la Nueva Galicia*. Escuela de Estudios Hispano - Americanos de la Universidad de Sevilla.
- López Portillo y Weber, J. (1976). *La conquista de la Nueva Galicia*. Universidad de Guadalajara, INAH.
- Paso y Troncoso, F. del. (1905). *Volume I: Suma de visitas de pueblos de Nueva España*. Por orden alfabético. Manuscrito de la Biblioteca Nacional de Madrid, por orden alfabético.

—. *Relación de Visitas de Pueblos de la Nueva Galicia 1548*.

Tello, A. (1891). *Libro segundo de la Crónica Miscelánea en que se trata de la conquista espiritual y temporal de la Santa Provincia de*

Xalisco en el nuevo reino de la Galicia y Nueva Vizcaya y descubrimiento de Nuevo México. Imprenta de la «República Literaria» de Ciro L. de Guevara y compañía.

Un vistazo a la historia del estudio de los anfibios y reptiles de México

Gustavo Casas Andreu^{1*}, Fabio G. Cupul-Magaña² y
Xóchitl Aguilar-Miguel³

RESUMEN: Se presenta un recorrido histórico sobre el estudio de los anfibios y reptiles, la llamada herpetología, en México. Este viaje inicia desde tiempos prehispánicos y concluye en la década de los años 2010. Se destacan personajes e instituciones que han contribuido significativamente para su despunte y desarrollo. Además, se plantean los retos que la herpetología debe superar en las próximas décadas para asegurar la preservación de este grupo de seres vivos. Este artículo es una segunda versión, corregida y aumentada, del publicado en el 2009 por el primer autor en el libro *Cosmos, enciclopedia de las ciencias y la tecnología en México: ciencias biológicas*.

Palabras clave: Alfredo Dugès, August Wiegmann, Francisco Hernández, herpetología, José Antonio Alzate y Ramírez.

HERPETOLOGÍA

Para el estudio de los anfibios y reptiles, aun cuando son dos grupos bien definidos de vertebrados, estos se han agrupado históricamente en una sola disciplina conocida como «herpetología». La herpetología se puede definir como el estudio de las manifestaciones vitales de los anfibios (ajolotes, salamandras, ranas y sapos) y los reptiles (tortugas, lagartijas, iguanas, serpientes, víboras, cocodrilos y caimanes y lagartos).

En un país como México situado entre dos grandes regiones biogeográficas, la Neártica y la Neotropical, con un complejo relieve montañoso, una muy dinámica historia geológica, gran variedad de climas, con una gran diversidad vegetal y animal y, dentro de esta última,

¹ Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. *gcasas@ib.unam.mx

² Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. fabio.cupul@academicos.udg.mx

³ Centro de Investigación en Recursos Bióticos, Facultad de Ciencias. xam@uac-mex.mx

Recibido: 06/04/2024

Aceptado: 10/11/2024

Publicado: 06/02/2025

con una variadísima fauna de anfibios y reptiles, en conjunto con el notable desarrollo cultural de los antiguos mexicanos, fue imposible que no se diera la interacción entre la herpetofauna y estos habitantes del México antiguo.

Desde luego, en Europa, hace ya varios siglos, ésta ha sido una materia para que los estudiosos desde el Renacimiento la hayan encontrado como material valioso para la investigación científica. Pero ¿cuáles han sido las ataduras para que el conocimiento de estos animales en México se hiciera más universal y, así, contribuir de esa manera a la ciencia de una forma más prolífica? Vale entonces la pena recapitular sobre cuál ha sido la historia de los estudios de esta disciplina, su situación actual y sus perspectivas en la ciencia.

LA HERPETOLOGÍA Y EL MÉXICO ANTIGUO

La ciencia de la herpetología ha tenido un desarrollo enorme a partir del siglo XVIII, a pesar de que gran parte del conocimiento acumulado por los antiguos mexicanos, incluido el relativo al de su flora y su fauna, fuera destruido en los primeros años de la Colonia.

Así, se cuenta con algunos registros en las recopilaciones que se hicieron en diferentes códices. En ellos podemos percatarnos que los antiguos eran buenos observadores de la naturaleza. En el caso particular de los anfibios y los reptiles, existen dibujos en los que se puede identificar, con bastante grado de certeza, el grupo al que pertenecen y hasta los géneros con que los nominamos actualmente; inclusive, algunas veces es posible identificarlos hasta el nivel de especie.

Por su parte, varios de los meses del calendario entre los nahuas tenían nombres de reptiles. Muchos nombres geográficos hacían referencia a estos animales y algunos fenómenos naturales como las trombas, relámpagos y nebulosas llevaron también nombres de serpientes. Desde luego, la mitología está ampliamente impregnada por nombres de reptiles y anfibios.

Los antiguos mexicanos fueron capaces de distinguir las especies por su morfología. En los códices se pueden identificar con precisión anfibios caudados y anuros, así como reptiles: saurios, serpientes, tortugas y cocodrilos. De la misma manera, se sabe con precisión del conocimiento que tenían sobre la biología y ecología de las especies. También tenemos información del papel que estos animales jugaron dentro de la alimentación y la medicina. Además, hay datos sobre la existencia de zoológicos mantenidos y cuidados por estos antiguos mexicanos.

PRIMERAS CITAS SOBRE LA HERPETOFAUNA A LA LLEGADA DE LOS ESPAÑOLES

En el mundo maya, aunque no existen documentos que nos permitan determinar el grado de conocimiento que tenían sobre estos animales, existen representaciones conservadas en las ruinas que corresponden a serpientes y tortugas, entre otros.

Posiblemente, la primera noticia registrada sobre reptiles del México antiguo se encuentra en las crónicas de Bernal Díaz del Castillo (1492-1585), quien acompañó a Hernán Cortés durante la Conquista. En su obra *Historia Verdadera de la Conquista de la Nueva España*

(manuscrito concluido en 1568), señala que en una de las casas de animales en que tenían a mamíferos carnívoros como tigres, leones y lobos, estos eran alimentados con carne de algunos animales y también con la carne de los hombres que sacrificaban: «...pues más tenían en aquella maldita casa muchas víboras y culebras emponzoñadas, que traen en las colas unos que suenan como cascabeles; estas son las peores víboras que hay de todas, y teníanlas en cunas, tinajas y cántaros grandes, y en ellos mucha pluma, y allí tenían sus huevos y criaban sus viboreznos, y les daban a comer de los cuerpos de los indios que sacrificaban y otras carnes de perros de los que ellos solían criar».

La primera referencia formal que menciona los anfibios y reptiles de México se debe al misionero franciscano Fray Bernardino de Sahagún (1499-1590) en su obra *Historia general de las cosas de Nueva España* (escrita y editada entre 1540 a 1585), la cual es una traducción al español del Códice Florentino y en la que se describe y muestran ilustraciones de varios anfibios y reptiles conocidos a partir de los reportes de sus informantes nativos.

De acuerdo con el historiador Juan Somolinos Palencia (1938-1993), Francisco Hernández de Toledo (1517-1587), contemporáneo de Miguel de Cervantes Saavedra, fue nombrado Médico de Cámara del Rey Felipe II y, poco tiempo después, éste le asignó el cargo de «Protomédico de las Indias». Tal nombramiento le sumó la responsabilidad de realizar el estudio de las plantas medicinales de la Nueva España.

Francisco Hernández partió hacia el Nuevo Mundo (el actual México) en 1570 acompañado de su hijo y de un geógrafo. Finalmente llegó a la Ciudad de México en marzo de 1571,



Figura 1. Generada con la IA ChatGPT.

desde donde inició su gran aventura por conocer las plantas, animales y minerales de este territorio.

Hernández permaneció seis años en estas tierras. Durante este tiempo viajó, colectó y estudió principalmente las plantas (aunque también dedicó tiempo al estudio de minerales), las cuales herborizó, dibujó y experimentó sus virtudes curativas. También, recolectó animales, como anfibios y reptiles, los cuales fueron integrados a su gran obra editorial publicada por partes separadas (entre 1570 y 1576). No fue hasta que en 1960 y 1985, la Universidad Nacional Autónoma de México integró su trabajo en la edición de la publicación de las *Obras Completas de Francisco Hernández*.

PRIMERA ILUSTRACIÓN CIENTÍFICA (1700-1750)

Después de los estudios de Francisco Hernández, existe un lapso de casi un siglo en que no

hay registros de estudios de anfibios y reptiles. Es hasta el siglo XVIII cuando se registran nuevos estudios realizados por naturalistas novohispanos.

El siglo XVIII es un período de grandes avances para la ciencia. Para México se han reconocido dos grandes etapas: la primera, es una continuidad del siglo XVII, entre 1700 y 1750, denomina «primera ilustración científica mexicana». En ella, los personajes que la protagonizaron poseían características de un tono peculiar; es decir, erudición, deseo de reinterpretación y revaloramiento del pasado histórico y científico, búsqueda y crítica de documentos científicos y gran inquietud por el conocimiento científico. La segunda etapa, la más importante por los encuentros obtenidos, comprendió entre 1750 y 1810.

En la primera mitad del siglo XVIII, previo al impacto de la ilustración y después de la magna obra de Francisco Hernández, no se realizaron avances significativos en el conocimiento de la flora y fauna de la Nueva España. Solamente se llevaron al cabo algunas obras, varias de ellas basadas en los manuscritos del mismo Hernández, las cuales fueron de profundo impacto en el pensamiento europeo, inclusive, hasta bien entrado el siglo XVIII.

En este período, la aportación de grupos religiosos, como los jesuitas mexicanos, al estudio de las ciencias naturales fue de importancia para determinar el nivel de conocimiento que había por esos tiempos. Así, el padre Miguel Venegas (1680-1764) redactó su obra *Noticia de la California y de su conquista temporal, y espiritual hasta el tiempo presente*, publicada en Madrid en 1757, en donde menciona animales, vegetales y minerales, así como algunos reptiles de esa región.

Quién elaboró un relato más detallado para su tiempo sobre los animales, fue Miguel Del Barco, misionero jesuita nacido en España en 1706 y que vivió y laboró entre 1738 y 1768 en lo que se conocía como la Antigua California (las actuales Californias de México y Estados Unidos). Durante su exilio en Bolonia, Italia, escribió su obra *Historia natural y crónica de la antigua California*, publicada en 1973 por la Universidad Nacional Autónoma de México. En su trabajo presenta información sobre las plantas animales y minerales de esta antigua región de occidente.

La contribución de Del Barco al conocimiento de los reptiles es limitada. No obstante, fue el primer trabajo realizado para ese siglo y de los pocos que citan al grupo de los animales. Asimismo, para el caso de los reptiles, refiere la presencia de víboras, culebras de varias especies, salamangueras, lagartos, lagartijas y camaleones. También, comenta sobre los tes-



Figura 2. Generada con la IA ChatGPT.

táceos (tortugas) y expresa que no tan sólo hay en el mar, sino también en las pozas de arroyos.

LA ILUSTRACIÓN (1750-1810)

Como sabemos, el siglo XVIII fue de gran importancia en el desarrollo de la ciencia moderna, particularmente en Inglaterra y Francia. Desafortunadamente, en España hubo escasos avances en este campo, ya que esencialmente recibió la influencia de la Ilustración francesa debido, sobre todo, a las condiciones imperantes en ese reino hacia fines del siglo. No obstante, en la Nueva España hubo una fuerte influencia de la Ilustración europea, pues existió relación entre los ilustrados hispanoamericanos, franceses y españoles.

Algunos autores mencionan que el avance en el estudio de los anfibios y los reptiles (la herpetología) de México durante el siglo XVIII, tuvo lugar particularmente en Europa. De hecho, se sabe que en nuestro país se concibieron ciertos avances de relevancia.

Un digno representante de la Ilustración europea en el campo de las ciencias biológicas fue, desde luego, el sueco Carlos Linneo (1707-1778). Su trabajo fue de gran impacto en la biología y para la comunidad científica internacional. Sin embargo, en la Nueva España éste no había calado profundamente, pues existían profundas diferencias por cuanto a la percepción del conocimiento publicado.

Al parecer, Linneo tenía poco interés en los anfibios y los reptiles, a los que incluyó sólo hasta la décima edición de su obra *Systema Naturae* publicada en 1758. No obstante, llegó a publicar descripciones de algunos de representantes de estos grupos faunísticos e incluyendo algunas especies de México.

Aun, con todo lo anterior, las ediciones 10 y 12 de *Systema Naturae* fueron contribuciones importantes para el estudio de los anfibios y los reptiles en particularmente para México, ya que en ellas se mencionan 25 especies que ocurren en el país. Lo anterior, representó una sorprendente regresión en el conocimiento de dichos animales, pues esas especies eran aproximadamente un tercio de las mencionadas por Francisco Hernández en sus observaciones realizadas entre 1570 y 1576.

Una de las contribuciones más importantes sobre los anfibios y reptiles, posterior a los trabajos de Linneo, fue la del *Specimen Medicum, Exhibens Synopsin [sic!] Reptilium Emendatam cum Experimentis circa venena*, obra escrita por el médico y naturalista austriaco Josephus Nicolaus Laurenti (1735- 1805) y publicada en Viena en 1768 (reimpresa en 1966). Este es uno de los trabajos de mayor importancia en la historia de la herpetología. Consta de dos partes, la primera es una revisión de los anfibios y reptiles del mundo, exceptuando a las tortugas y, la segunda, describe los resultados de cuidadosos experimentos para distinguir las especies venenosas de Austria.

El jesuita e historiador Francisco Javier Clavijero, quién nació en el puerto de Veracruz el 9 de septiembre de 1731 y falleció en Bolognia en 1787, en su *Historia Antigua de México* (1958), hace un resumen de numerosos tópicos sobre México y su historia. Entre otras cosas habla de plantas y animales. En cuanto a los animales describe a los cuadrúpedos (mamíferos, aves y reptiles), los nuevos importados principalmente del Viejo Mundo, así como los viejos nativos de América. Particularmente, entre los del Nuevo Mundo, describe mamíferos, aves y reptiles nativos. Para ello, primor-

dialmente se basa en las descripciones a partir de los nombres en náhuatl proporcionados por Francisco Hernández (aunque hace algunas consideraciones siguiendo a naturalistas como Linneo y Georges-Louis Leclerc de Buffon). Y, en cuanto a los reptiles, menciona que en el valle de Anáhuac es posible incluir, a los que conocemos como anfibios y reptiles, en cinco clases: lagartos, lagartijas, ranas, sapos y serpientes.

Así, entre los lagartos considera a los codrilos o caimanes, al «acaltetepon» o escorpión (que incluye a especies del género *Heloderma*) y a las iguanas. Asimismo, señala numerosas lagartijas siguiendo a lo ya mencionado por Francisco Hernández. También, describe diferentes especies de serpientes y las divide en venenosas e inofensivas. Entre los reptiles, consideró a las ranas y a los sapos. A la salamandra, conocida como «axolotl» o ajolote (varias especies del género *Ambystoma*), la ubicó en el grupo de los peces.

Aun cuando Clavijero contribuyó solamente con nuevos conocimientos sobre los animales de México, es el primero que, con base en la información generada por Francisco Hernández y las propuestas de clasificación de Buffon y Linneo, sistematizó la información existente y la vinculó con las corrientes del pensamiento de la Ilustración.

Por otra parte, durante la Ilustración francesa, aparece en la historia de la humanidad el naturalista francés Buffon (1707-1778). Además de naturalista, también estudiaba leyes y matemáticas. Aun cuando Buffon no realizó trabajos sobre anfibios y reptiles, su impacto en esta disciplina se manifiesta en su trabajo como editor de los 44 volúmenes de la obra *Histoire Naturelle*. De estos volúmenes, los úl-

timos ocho tratan parcialmente a los reptiles (la obra incluyó también a las plantas, otras clases de animales y los minerales). Estos trabajos estimularon la incorporación de otros naturalistas franceses, como Bernard Lacepède (1756-1825) y François Marie Daudin (1774-1804), como responsables del estudio de anfibios y reptiles. Lacepède trabajó bajo la supervisión de Buffon y continuó con la edición de la *Histoire Naturelle*, pero bajo el nuevo título de *Histoire des Quadrupèdes Ovipares et des Serpents*.

Desde finales del siglo XVIII, claramente destaca el dominio del campo de la herpetología por los franceses y alemanes. No obstante, hubo algunos desarrollos interesantes en Hispanoamérica, particularmente en México. Entre las figuras más sobresalientes de la Ilustración hispanoamericana durante el último tercio del siglo XVIII, se encuentra al sabio José Antonio Alzate y Ramírez, nacido en Ozumba, en el actual Estado de México, el 21 de noviembre de 1737 y fallecido en la Ciudad de México el 2 febrero de 1799.

Alzate, aunque recibió las Órdenes Sacerdotales, dirigió su atención de manera preferente hacia la botánica, la zoología, la medicina y las matemáticas. En 1768 editó el *Diario Literario de México* y, en 1772, los *Asuntos varios sobre ciencias y artes*. En 1787 fundó la revista *Observaciones sobre la física, la historia natural y las artes útiles*. Y, entre 1788 y 1795, la *Gaceta de Literatura de México*.

El sistema de nomenclatura propuesto por Linneo no fue muy bien recibido por Buffon y sus colegas en París. Tampoco lo fue para Alzate, que aducía que el sistema no era práctico y, si había que adoptar algún sistema, este era el de los nahuas, una de las antiguas culturas

de México. Es bastante seguro que Alzate fue influido por Buffon, ciertamente con él cual mantenía correspondencia y leía sus publicaciones.

Alzate no hizo contribuciones muy importantes sobre anfibios y reptiles. Sin embargo, publicó algunos datos interesantes sobre ellos. Esos datos, así como otras referencias a estos anfibios y reptiles como al ajolote (*Ambystoma mexicanum*) y al camaleón mexicano (*Phrynosoma orbiculare*), denotan el conocimiento y posibilidades de desarrollo de estos por parte de Alzate. Todos los conocimientos que publicó fueron innovadores en su tiempo.

La «Real Expedición Botánica a la Nueva España», se llevó a cabo entre 1788 y 1803. Fue ordenada por el Rey Carlos III de España y estuvo a cargo del médico español Martín Sesé y Lacasta (1751-1808). Posteriormente, a la expedición se incorporó José Mariano Mociño (1757-1829), oriundo de Temascaltepec en el actual Estado de México. Otro naturalista sumado al grupo expedicionario fue José Longinos Martínez (1750-1802), responsable de las recolectas de animales y minerales.

Se ha documentado que, como producto de la Real Expedición, se cuenta con siete láminas con ilustraciones de anfibios y reptiles, seis de las cuales corresponden a México. Aunque posiblemente hubo más láminas, parece que estas son las únicas que se han podido rescatar. Lo relevante de las láminas, es su gran calidad informativa si se comparan con la iconografía existente de autores anteriores.

Bajo los auspicios del rey de España, la «Expedición Malaspina» (1789-1794), fue una de las más ambiciosas. Fue proyectada y llevada al cabo bajo el comando de Alejandro Malaspina (1754-1810). En ella, se realizarían

observaciones político-científicas en las posesiones españolas en América y Asia. Se contó con la participación de varios naturalistas especializados en botánica y zoología. En los aspectos zoológicos se encontraba el naturalista guatemalteco Antonio Pineda y Ramírez (1751-1792) quien, junto con todo un equipo de personas, describieron e ilustraron gran cantidad de plantas y animales.

Se han logrado identificar las especies de anfibios y reptiles mencionadas e ilustrados durante la expedición. De las plantas, se realizaron y publicaron trabajos. No obstante, los animales descritos, ilustrados, disecados y preservados se han mantenido almacenados en el Museo Naval de Madrid por cerca de 200 años, sin publicarse ninguna descripción o especie: Fue hasta en los últimos 30 años, cuando se inició la revisión del material y su publicación parcial. Estos trabajos han puesto en relieve la trascendencia que, en su momento, hubiera tenido el estudio y la publicación de todo este acervo en el avance del conocimiento zoológico.

François Marie Daudin (1774-1804) fue un naturalista francés amateur, aunque talentoso y muy importante. A edad temprana empezó a dedicarse a la física y a la historia natural, siendo esta última la que más le gustaba. Publicó trabajos de importancia en ornitología, aunque dio mayor importancia a la herpetología. De esta última, publicó varios trabajos, siendo el más significativo la *Histoire Naturelle, Générale et Particulière des Reptiles* (1801-1803), publicado en ocho volúmenes con 100 láminas. Es de destacarse que, para la realización de esta obra, revisó cerca de 1100 ejemplares pertenecientes a 517 especies de reptiles.

El naturalista y explorador alemán Alejandro de Humboldt (1769-1859), en su viaje por

América entre 1799 y 1804, llegó a México después de la muerte de Alzate en 1799. Aunque tuvo la oportunidad de leer lo publicado por Alzate, Humboldt (1811) también realizó observaciones sobre algunas especies de anfibios y reptiles de México como el ajolote, del que recolectó y fijó ejemplares para llevarlos ante el zoólogo francés Georges Cuvier (1769-1832) en 1811, quien finalmente realizaría la descripción del ajolote mexicano (*Ambystoma mexicanum*). Es nuevamente Humboldt (1822), en su *Ensayo Político* (1822), el que menciona el uso del ajolote como alimento de los aztecas durante la época precolombina. Por otro lado, también cita la presencia de cocodrilos (*Crocodylus acutus*) en las lagunas costeras entre el río Papagayo (en lo que ahora es Guerrero), Colima y San Blas en Nayarit.

Es indudable que, de manera general, las bases de la herpetología moderna se establecieron en el siglo XVIII, particularmente durante la Ilustración. Además, fueron fundamentalmente los naturalistas franceses quienes contribuyeron en mayor medida. Como se ha mencionado, en México se elaboraron varias publicaciones de cierto relieve en la que hubo participación de los misioneros jesuitas que, infortunadamente, fueron expulsados del reino español en el año de 1767. Estas publicaciones, junto con el trabajo de Francisco Hernández, mostraron un panorama que, para ese entonces, apuntaba hacia el conocimiento de la gran biodiversidad de anfibios y reptiles presentes en el país que, en esa época, seguramente se concebiría como una de las áreas de mayor riqueza de especies a nivel mundial.

Las bases biológicas establecidas en el siglo XVIII sirvieron para la apertura de México al mundo. A partir de su Independencia, el país

incursionó en una de las etapas de mayor relevancia para la herpetología, la cual permitiría contar con una visión más clara de este grupo faunístico al tomarse como base nuevos estudios en la recolección y registro intensivo de especímenes a lo largo y ancho del territorio nacional, así como su inclusión en colecciones científicas de museos y otras instituciones.

MÉXICO INDEPENDIENTE (1810-1860)

Durante el período de las guerras de Independencia, no existen registros de estudios realizados sobre anfibios y reptiles en México, pero, al declararse la independencia del país, hubo una apertura hacia otras naciones de Europa.

Aquí, inicia un importante período en el que recolectores de diversos países europeos, vienen hacia México e inician una intensa recolecta de especímenes. Entre ellos, está el naturalista alemán Ferdinand Deppe (1794-1861), quien entre 1824 y 1827 realizó recolectas en diferentes áreas del país, mismas que produjeron importantes publicaciones, como la *Herpetología Mexicana* del zoólogo alemán Arend Friedrich August Wiegmann (1802-1841), publicada en Berlín en 1834.

Se sabe que, en la época del México independiente, más precisamente en 1827, el presidente Guadalupe Victoria (1786-1843) designó al general Manuel Mier y Terán (1789-1832), quién había estudiado en el Colegio de Minería de México, para la dirección de la Comisión de Límites entre México y los Estados Unidos. Ha esta misma comisión se incorporó al naturalista Jean-Louis Berlandier (nacido cerca de Ginebra, Suiza en 1805). Berlandier

se nacionalizó mexicano y murió en Matamoros, Tamaulipas en 1851.

Contratado en Suiza por Augustin Pyramide de Candolle (1778-79 a 1841) para recolectar material botánico en México, fue que Berlandier llegó a México vía Pánuco a Veracruz, el 15 de diciembre de 1826. De ahí, continuó hacia la Ciudad de México, en la que se unió como botánico a la Comisión de Límites entre México y los Estados Unidos. El 10 de noviembre de 1827 salió hacia el noreste de México (Texas) bajo las órdenes del general Manuel Mier y Terán. En aquellos lugares trabajó Berlandier y, luego, regresó a Matamoros para dar por concluida la Comisión en noviembre de 1829. Juan Luis Berlandier, como le llamaron posteriormente, no regresó a Europa y permaneció en Matamoros, donde se casó y vivió ejerciendo la medicina, así como la farmacología por el resto de su vida. Murió por ahogamiento al tratar de cruzar el Río San Fernando, localizado al sur de Matamoros.

Berlandier escribió varios documentos sobre botánica y zoología y, en colaboración con Rafael Chovell, el *Diario de Viajes de la Comisión de Límites*. También escribió algunas obras en las que menciona animales en diferentes localidades de Tamaulipas y Texas, particularmente en su «Expedición Científica y su Viaje a México» (1826-1834), de la cual se publicó una excelente traducción del francés al inglés. En el aspecto de los anfibios y reptiles de Matamoros, así como en áreas adyacentes de México y los Estados Unidos, describió numerosas especies y, en algunos capítulos, señala con detalle aspectos relativos a la biología de la serpiente de cascabel y los cocodrilos. Aunque Berlandier trabajó principalmente en



Figura 3. Generada con la IA ChatGPT.

Texas y Tamaulipas, también lo hizo en Nuevo León, Coahuila y San Luis Potosí.

Lo que engrandece el trabajo realizado por Berlandier con los anfibios y reptiles de la región, aun cuando no tuvo un entrenamiento formal con estos animales y su acceso fue escaso a la literatura de la época sobre el tema, es que logró identificar y describir gran parte de la herpetofauna del noreste de México. No obstante, la mayor parte de los anfibios y reptiles que él recolectó, fueron descritos posteriormente por otros autores.

LA ÉPOCA DE ORO DE LA HERPETOLOGÍA EN MÉXICO

A partir de 1850, numerosos colectores franceses, británicos y norteamericanos vinieron a México a recolectar, entre otros materiales, anfibios y reptiles. Estos fueron enviados a los museos de sus países. El material sirvió como

base para la descripción de numerosas especies mexicanas.

Después del largo periodo de guerras ocurridas en México en el siglo XIX y al ascender a la presidencia el general Porfirio Díaz, el último tercio del siglo se distinguió por el marcado impulso que tuvieron muchas disciplinas y al florecimiento, en particular, de las artes, las ciencias y las tecnologías. Este periodo, conocido como «La Paz Porfiriana» puede definirse como la «Época de Oro de la Herpetología en México».

Indudablemente, la historia del conocimiento de los anfibios y los reptiles de México se encuentra indisolublemente relacionada con la de las aves, los mamíferos y, en cierto grado, hasta con la de los peces de agua dulce y de la botánica.

Pero ¿qué factores históricos concurrieron para que se diera este florecimiento? En primer lugar, la llegada y establecimiento del na-

turalista francés Alfredo Dugès (1826-1910) en nuestro país en 1853, los trabajos desarrollados por el zoólogo norteamericano Edward D. Cope (1840-1897), Ferrari-Pérez, Dugès, Villada y otros colectores, la existencia del United States National Museum y el British Museum of Natural History, la fundación de la Escuela Nacional Preparatoria, la Comisión Geográfica Exploradora de México, el establecimiento del Museo Nacional, la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, así como la Sociedad Mexicana de Historia Natural y la Sociedad Científica Antonio Alzate. Estas dos últimas sociedades trascendieron con sus revistas: *La Naturaleza* de la primera, y *Memoorias de la Sociedad Científica Antonio Alzate* en colaboración con el Instituto Médico Nacional.

Un factor adicional al florecimiento fue la creación de la *Mision Scientifique au Mexique et la Amerique Centrale*, la cual estuvo integrada por colectores franceses que vinieron a México a recolectar elementos de esta fauna entre 1865 y 1867. La información generada, posteriormente se publicó por los franceses Auguste Duméril (1812-1870), Marie Firmin Bocourt (1819-1904) y François Mocquard (1834-1917).

El político porfirista mexicano Gabino Barreda (1818-1881), en 1867 estableció la Escuela Nacional Preparatoria, en la que se impartían diferentes cursos, particularmente científicos, sobre historia natural y entre los cuales se destacaba a los anfibios y reptiles. Por ese tiempo, aunque se observaba la variabilidad de los anfibios y los reptiles del país, fue poco lo que se sabía sobre su gran diversidad, la cual ya asombraba a propios y extraños.

La Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, con la posibilidad de publicar en su



Figura 4. Generada con la IA ChatGPT.

revista hallazgos de este campo, influyó en el incremento sobre su conocimiento, amén de la información generada en otros campos de la zoología. Como se mencionó párrafos arriba, para 1870 Alfredo Dugès, vecindado en la ciudad de Guanajuato, empezó a destacar en la descripción de muchas especies y en la publicación de numerosos artículos sobre los anfibios y los reptiles de México; permaneciendo como un personaje distinguido dentro de esta disciplina hasta la primera década del siglo xx. Dugès fue proclamado hace algunos años como el «Padre de la herpetología mexicana», dadas sus importantes contribuciones.

La Sociedad Mexicana de Historia Natural se fundó en 1868. Desde entonces, publicó ininterrumpida y ampliamente su revista *La Naturaleza*. En ella, Dugès publicó gran parte de sus artículos sobre anfibios y reptiles del país. La Sociedad fue finiquitada en 1914 y sólo reactivada hasta 1936. Personajes importantes para la herpetología de México fueron algunos miembros de la Sociedad Mexicana de Historia Natural en su primera etapa: Alfonso L. Herrera, Luis M. Villada y el pintor José María Velasco.

También, de gran interés para la historia de la herpetología mexicana, fue la edición de la trascendental obra *Biología Centrali-Americana* (1885-1902), cuyos trabajos iniciaron en México hacia fines de la década de 1870 y continuaron hasta ya entrado el año de 1880, cuando varios colectores británicos obtuvieron material para el British Museum, el cual fue básico para integrarla. Entre los personajes destacados para la generación de la obra, aún vigente en nuestros días, fueron Albert C.L.G. Günther, responsable de la edición y publicación de la parte sobre los «Reptilia and Batrachia»; la colaboración de diferentes colectores

de campo como Fernando Ferrari-Pérez, Alfonso Forrer, Frederic du Cane Godman y H. H. Smith, por mencionar sólo algunos.

La Comisión Geográfico Exploradora de México, fue otro factor de importancia para el desarrollo de la herpetología en el último tercio del siglo xix. El objetivo fundamental de esta comisión establecida por el Congreso de la Unión en 1877, pero iniciando sus funciones a fines de 1878, fue la de realizar una carta general del territorio nacional. Hacia fines de 1879, se decidió incorporar nuevos oficiales militares a la comisión, como al ingeniero Fernando Ferrari-Pérez (1857-1934), jefe de la Sección de Historia Natural y quien trabajó intensamente para lograr reunir importantes colecciones en el Museo de Tacubaya en la Ciudad de México.

En 1886, Ferrari-Pérez estuvo en el United States Museum of Natural History (Smithsonian) en Washington, D.C., donde trabajó jun-

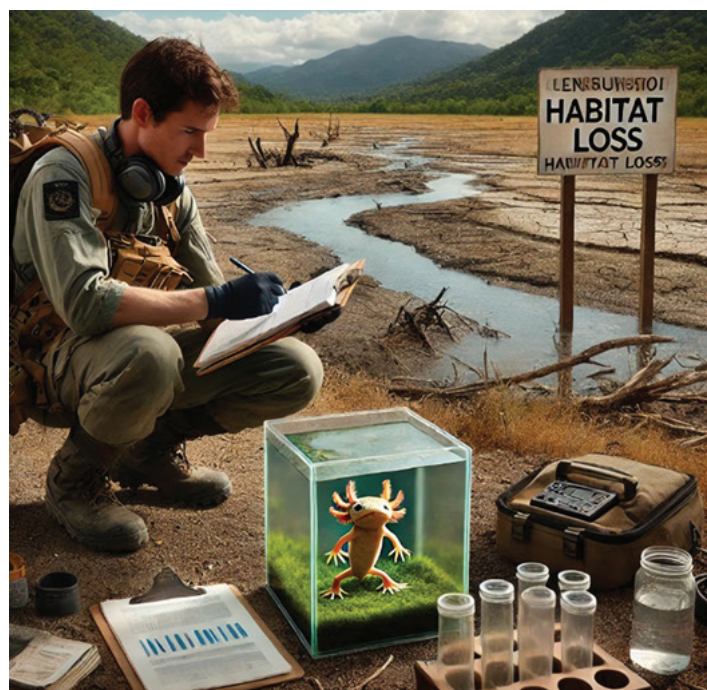


Figura 5. Generada con la IA ChatGPT.

to con especialistas en los diferentes grupos y ejemplares de animales obtenidos en México, en particular los ejemplares de anfibios y reptiles recolectados durante los trabajos de la Comisión y que fueron exhibidos en la Exposición de Nueva Orleans. Cuando las colecciones se mostraron en Nueva Orleans, éstas fueron revisadas por Edward D. Cope, quien previamente había publicado una lista preliminar de los ejemplares obtenidos con antelación por esta Comisión. Muchos de los ejemplares recolectados durante los trabajos, fueron enviados al Smithsonian.

De acuerdo con los registros de Ferrari-Pérez, se obtuvieron ejemplares de 90 especies de reptiles y 13 de anfibios, lo cual, para ese tiempo, fue una contribución importante.

Edward D. Cope, notable herpetólogo y paleontólogo norteamericano que trabajó a principios de su carrera en el Museo de la Academia de Ciencias Naturales de Filadelfia, contribuyó abundantemente al publicar, entre 1859 y 1904, numerosos artículos sobre la herpetofauna de Norteamérica, muchos en alusión a los anfibios y reptiles de México.

La fundación del Museo Nacional de Historia Natural en la Ciudad de México hacia fines del siglo XIX también fue de importancia al contribuir al conocimiento de la herpetología nacional.

LA HERPETOLOGÍA DEL SIGLO XX EN MÉXICO

En México, la ciencia estimulada por el general Porfirio Díaz, de raigambre positivista, empezó a declinar con los vientos de la Revolución Mexicana. No obstante, la ciencia porfirista se pudo mantener más o menos durante la Revo-

lución, aunque, por otro lado, fueron muriendo sus cultivadores que permitieron continuar con un esfuerzo renovador. Las instituciones científicas de ese tiempo se mantuvieron, aunque con carencias presupuestarias. Una vez que triunfó la Revolución, el gobierno empezó a dar un gran impulso a la ciencia.

La Comisión Geográfico Exploradora fue finiquitada en 1914 y sus colecciones biológicas se incorporaron al Museo Nacional de Historia Natural en 1915, con la creación de la Dirección de Estudios Biológicos.

En el caso de la biología, y de importancia para el conocimiento de los anfibios y reptiles de México y como institución producto de la Revolución, se funda la Dirección de Estudios Biológicos, dirigida por Alfonso L. Herrera y constituida a partir de lo que fue el Museo de Historia Natural, el Instituto Médico Nacional y el Museo de la Comisión Geográfico Exploradora. Esta acción fue uno de los pasos más importante que se dieron en el siglo XX para el cultivo de las ciencias biológicas. En esta institución se estableció, entre otros, un Laboratorio de Ictiología y Herpetología en donde empezó el impulso a la actividad herpetológica.

LA EDAD MODERNA

En 1929 la universidad se establece como Universidad Nacional Autónoma de México y, la Dirección de Estudios Biológicos, sus instalaciones y gran parte de su personal, se incorpora a la nueva institución para establecer el Instituto de Biología.

El Instituto impulsa diversas ramas de las ciencias biológicas y, particularmente, la herpetología con la creación del Laboratorio de Herpetología y la producción de gran cantidad

de estudios sobre anfibios y reptiles publicados su revista *Anales del Instituto de Biología*. La suma de estos estudios, hasta inicios del siglo XXI, llegó a más de 170 con temáticas sobre biodiversidad, clasificación o taxonomía, distribución y ecología. También, se realizan gran cantidad de estudios sobre los helmintos parásitos de la herpetofauna.

Aquí, es importante hacer notar la labor de varios investigadores que hicieron posible el desarrollo de esta disciplina en México. Entre ellos se encuentra Rafael Martín del Campo, Eduardo Caballero, Margarita Bravo Hollis y Rafael Lamothe Argumedo.

Paralelamente al establecimiento del Instituto de Biología a partir de 1930, numerosos herpetólogos profesionales y profesores de universidades y museos norteamericanos, así como sus estudiantes y herpetólogos aficionados, se interesaron en el estudio de la herpetofauna de México. Por tal motivo, realizan numerosas expediciones y viajes hacia México que resultaron en la conformación de grandes colecciones de anfibios y reptiles, además de la descripción de la mayor parte de las especies que hasta ahora conocemos.

Indudablemente, la contribución de los herpetólogos norteamericanos ha sido de las más importantes para el conocimiento de la herpetofauna mexicana. Los iniciadores de esta etapa fueron Edward H. Taylor (1889-1978) y Hobart M. Smith (1912-2013), quienes viajaron por gran parte del territorio nacional entre 1932 y 1940, recolectando intensamente hasta llegar a cerca de 50 mil ejemplares. El resumen de sus trabajos se publicó hacia mediados del siglo pasado, en 1945, 1948 y 1950.

A partir de la década de 1950, otros herpetólogos norteamericanos estudiaron la herpe-

tofauna de nacional. Tal es el caso de William B. Duellman de la Universidad de Kansas, James R. Dixon de la Texas A & M University, Clarence J. McCoy del Carnegie Museum of Natural History en Pittsburgh, David B. Wake de la Universidad de California en Berkeley, Jonathan A. Campbell de la Universidad de Texas en Arlington, Richard G. Zweifel del Museo Americano de Historia Natural de Nueva York y Robert G. Webb de la Universidad de Texas en El Paso.

EL DESARROLLO DE LA HERPETOLOGÍA MODERNA EN MÉXICO

En la década de 1970, el Instituto de Biología inicia una importante transformación al contratar nuevos investigadores: Gustavo Casas Andreu, Zeferino Uribe Peña y, posteriormente, a Fausto R. Méndez de la Cruz, así como a los técnicos Gonzalo Pérez Higareda y Aurelio Ramírez, e incorporándose posteriormente Richard C. Vogt. Además, se establecen las Estaciones de Biología Chamela en la costa de Jalisco y Los Tuxtlas en esa región de Veracruz. Por otro lado, se fundan formalmente las Colecciones Científicas, entre las que destaca la de herpetología que, hasta nuestros días, es conocida como Colección Nacional de Anfibios y Reptiles. En los últimos tiempos se incorpora Gabriela Parra Olea, quien decididamente impulsa el estudio de los anfibios en el campo de la filogenia, sistemática y conservación. También, en su momento, se incorpora Víctor Hugo Reynoso para llevar a cabo estudios sobre la evolución de reptiles fósiles.

Todo este conjunto de eventos se relaciona con la fundación de la Sociedad Mexicana de

Zoología en 1977, misma que generó gran oportunidad para el desarrollo de diferentes campos de zoología, en especial la herpetología.

Por otra parte, un factor destacado de la herpetología mexicana fue y ha sido el trabajo de Miguel Álvarez del Toro en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Desde la década de 1970, del Toro contribuyó al desarrollo de esta disciplina con la publicación de sus trabajos sobre los reptiles de Chiapas editados por la fundación del Museo de Historia Natural de Chiapas y del Zoológico Miguel Álvarez del Toro (ZOOMAT).

La creación del Museo de Zoología Alfonso L. Herrera en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, comprendiendo una Colección de Anfibios y Reptiles y encabezada por los profesores Oscar Flores Villela y Adrián Nieto Montes de Oca, ha sido un factor importante para el desarrollo y dinámica de la herpetología a nivel nacional. Además de lo anterior, el establecimiento de las Facultades de Estudios Profesionales Izta-cala y Zaragoza, han permitido la formación de grupos de profesores que han realizado contribuciones importantes para el conocimiento de los anfibios y reptiles de México. Aquí, es posible destacar a entre otros a José Luis Camarillo Rangel, Enrique Godínez, así como a Tizoc Altamirano y, en los últimos tiempos a Julio Lemos Espinal.

El Instituto Politécnico Nacional de México, desde su inauguración en el año de 1936, fue cuna de importantes zoólogos, destacando al Dr. José Álvarez del Villar, quien, con la impartición de los cursos de Vertebrados, generó el interés por los Anfibios y Reptiles, en sus estudiantes y particularmente destacado entre esos biólogos, su hijo, el M. A. José Ticul Álvarez Solórzano, que nació en la Ciudad de Mé-

xico, el 26 de febrero de 1935. Ticul Álvarez estudió la licenciatura en biología en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional de México recibiendo como biólogo en 1959. En 1962 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en la Universidad de Kansas, con la tesis *The Recent Mammals of Tamaulipas, México*. Desde 1963 fue investigador del Departamento de Prehistoria del Instituto Nacional de Antropología e Historia, hasta su muerte. Como investigador publicó más de 125 artículos en diversas revistas científicas de ellas cerca de 20 en herpetología. Fundó, mantuvo y promovió, las Colecciones de Mastozoología, Herpetología y Ornitología de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Ticul perdió la vista en 1980, no obstante, continuó realizando sus actividades profesionales. Murió la mañana del 16 de octubre del 2001.

Indudablemente, el aporte del Instituto de Ecología A.C. en Xalapa, Veracruz, con sus sedes en Chihuahua, Durango y Michoacán, ha sido factor importante para el avance del conocimiento científico de la herpetofauna nacional. Aquí, es de relieve mencionar la actividad de Gustavo Aguirre León, Héctor Gadsden Esparza y Alberto Gonzáles.

Al presente, hay muchas otras universidades e institutos trabajando en esta disciplina y, el gobierno mexicano, también ha tenido una interesante participación en el estudio y conservación de esta fauna.

PERSPECTIVAS DE LA HERPETOLOGÍA EN MÉXICO

Casas Andreu, en 1984, publicó un artículo analizando «La Herpetología en México». En dicho estudio, se presentó una apología relati-

va a la importancia de esta disciplina para nuestro país, en particular la gran biodiversidad de su fauna, comparada con la del mundo. Además de mencionar a los reptiles venenosos, se citaba la importancia de la herpetofauna en los ecosistemas y como recurso natural, su grado de conservación, instituciones y científicos que desarrollaban actividades herpetológicas, las disciplinas o áreas estudiadas en el país, así como grupos taxonómicos bajo estudio.

Cabe destacar que, para esas fechas, estudios herpetológicos ya se desarrollaban en 14 instituciones, con 37 científicos trabajando en ellas, especialmente en reptiles de importancia económica, su historia natural y especies de importancia en salud pública. Los grupos más estudiados eran las tortugas, principalmente las marinas, las lagartijas y las serpientes. En ese entonces, no se presentó ningún análisis sobre la formación de recursos humanos debido a que eran muy pocas las personas que podían brindar educación formal en estas materias.

A partir de 1989 y en la década de 1990, se inicia un despegue vertiginoso del estudio de los anfibios y reptiles por parte de científicos mexicanos, ya que formalmente se reconoce la gran biodiversidad de la flora y fauna mexicana.

Se ha señalado en algunas publicaciones, que este despegue vertiginoso se debió a la dificultad para obtener permisos de colecta por parte de investigadores extranjeros. No obstante, es claro que existieron muchos otros factores que contribuyeron. En primer lugar, cabe señalar que era imperiosa la necesidad de conocer más este tipo de fauna en nuestro país. Por otro lado, el número de herpetólogos profesionales en el país se incrementó, muchos de ellos cubriendo las necesidades de

universidades e institutos de educación superior. Además, se abrieron posibilidades de realizar estudios científicos sobre este tipo de fauna, ya que se encontró eco en nuestras universidades, pudiéndose obtener, aunque en forma limitada, mayor cantidad de recursos financieros para su desarrollo.

Por otro lado, los niveles de formación de recursos humanos en universidades e institutos de educación superior se incrementaron en forma importante. También, hubo un mayor equipamiento y desarrollo de técnicas de estudio modernas en el propio país, las que fueron factor importante. En este punto, en mucho ayudó a su desarrollo el auxilio de la tecnología cibernética, la implementación de métodos y técnicas de biología molecular, el acceso a nuevas metodologías biogeográficas, así como el conocimiento y puesta en práctica de metodologías ecológicas para el estudio de comunidades y poblaciones (no tan solo de anfibios y reptiles, sino de fauna en general) y lo que esto implicaba para la conservación de especies antes muy difíciles de estudiar. Otro factor importante fue el acceso a las Colecciones Científicas de anfibios y reptiles en el país, inexistentes o en formación hace más de cuarenta años, así como el establecimiento de bibliotecas especializadas en el tema.

Adicionalmente, la fundación de la Sociedad Mexicana de Zoología en 1974 fue el germen que permitió la formación de un Comité Herpetológico Nacional desde 1986, el que marcó un derrotero importante en la orientación del trabajo herpetológico en México. Este comité dio origen a la Sociedad Herpetológica Mexicana, A.C. en 1988, misma que mantuvo una revista, el *Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana* desde 1989 hasta 1995

(actualmente continúa como Revista Latinoamericana de Herpetología; <https://herpetologia.fciencias.unam.mx/index.php/revista>), que representó un foro importante para conocer el trabajo de la comunidad herpetológica a nivel nacional y mundial, así como un espacio para divulgar el conocimiento herpetológico nacional y regional a nivel latinoamericano, abriendo espacios de comunicación mediante sus reuniones bianuales en la especialidad.

Hasta este punto, cabe hacer notar que las reuniones bianuales tienen sus raíces en una primera reunión dentro del Congreso Nacional de Zoología, llevado a cabo en 1985, y que se realizó por la inquietud de formar una asociación especializada por connotados investigadores en herpetología mexicana como Zeferino Uribe Peña, Oscar Flores Villela, Richard C. Vogt, Gustavo Casas Andreu, así como otros herpetólogos mexicanos.

Solamente como una nota adicional muy local, se destaca la presencia de la herpetofauna en la historia arqueológica del estado de Jalisco al encontrarse serpientes en representaciones rupestres, tortugas de agua dulce como ofrendas mortuorias o iguanas como parte de la dieta de los antiguos pobladores. No fue sino hasta la Conquista cuando se preservan los primeros documentos escritos que refieren a la flora y la fauna de esta región. Así, se cuenta con la *Descripción de la Nueva Galicia*, cuyo manuscrito original fue elaborado por el cura Domingo Lázaro de Arregui (¿?-1636) en 1621 y en este les dedica un capítulo completo a los reptiles, a quien llama «animales imperfectos» por el hecho de nacer de un huevo y no estar completamente desarrollados según la clasificación Aristotélica.

Otro sacerdote, el franciscano Antonio Tello (1590-1653), fue el autor de la monumental obra *Crónica miscelánea de la sancta provincia de Xalisco*. En ella describe acontecimientos ocurridos durante la primera centuria del que fue el reino de la Nueva Galicia (1531-1821) de América Septentrional. Y, aunque la obra ofrece en algunos pasajes de sus 271 capítulos, valioso conocimiento sobre la historia natural de la flora y fauna de la región, destacan en ella los relatos sobre los lagartos y caimanes, nombres de uso común en la región para llamar específicamente al cocodrilo de río o americano, *Crocodylus acutus*.

Posterior a estas magnas obras, ha existido la incursión de naturalistas e investigadores, tanto extranjeros como nacionales, de instituciones públicas y privadas, que han abonado al conocimiento herpetológico del estado. De hecho, se han descrito un número significativo de nuevas especies, algunas de ellas con distribuciones muy restringidas, por lo que un proyecto editorial a desarrollar deberá ser la historia de la herpetología, no sólo del estado de jalisco, sino del occidente de México junto con Nayarit y Colima.

PERSPECTIVAS

Hasta el 2010, la ciencia de la herpetología se encontraba floreciente en México, pero con grandes retos que afrontar al futuro. Un aspecto que vale la pena destacar es la gran diversidad de especies de nuestro territorio, la necesidad de describir nuevas especies que nos permita establecer las refinadas relaciones evolutivas y filogenéticas entre ellas, así como entre los grandes grupos. Determinar con cer-

teza cuáles fueron los mecanismos para llegar a esta gran biodiversidad.

Como consecuencia de la gran biodiversidad, se requiere conocer cuáles son las áreas de endemismo y su impacto en la conservación de áreas en nuestro país. Se cuenta con conocimiento general de nuestra biodiversidad; por lo tanto, será necesario llegar a profundizar en el mismo para determinar las posibilidades de conservación y posible uso sustentable.

Un fenómeno producto de las actividades humanas, es el de las especies introducidas e invasoras, actividad que puede atentar contra la biodiversidad del entorno en que viven las especies nativas de nuestro país. De la misma manera, en la actualidad se ha detectado la presencia de otro fenómeno conocido como «Declinación o declive de poblaciones de anfibios», un problema tanto a nivel nacional como internacional. Al presente, ya se ha observado que existen poblaciones en México afectadas por este fenómeno, mismas que deben ser identificadas y atendidas para evitar su extinción y propagación a otras especies y áreas. Es importante considerar también que gran parte de la problemática de conservación en estos grupos, es por el tráfico de fauna.

Un capítulo verdaderamente crítico, es el de las especies en peligro de extinción que, junto con la destrucción del hábitat, significan un dilema y un reto para nuestra sociedad, por lo que habrá que buscar métodos y prácticas que permitan contender con este grave problema. Así, dada la gran destrucción de ecosistemas y recursos naturales, un reto importante será el generar consciencia social sobre la necesidad de conservar la biodiversidad en todos sus niveles. Indudablemente, para afrontar la problemática mencionada, será menester el

tratar de generar nuevas metodologías y técnicas de estudio.

Además de lo anterior, el fenómeno conocido como «Cambio Climático Global», representa un desafío sobre cómo afrontar las nuevas condiciones climáticas que se darán en nuestro planeta y la forma de mitigarlas para la conservación de las especies. Se tendrá que contribuir al conocimiento de este factor en el mayor número de especies de herpetofauna.

De igual forma, se ha definido la existencia de especies prioritarias que requieren de su estudio a corto plazo, por lo que será menester buscar la forma de conservarlas, particularmente mediante su uso sustentable. La investigación sobre especies de importancia económica nos permitirá su mejor aprovechamiento, sin el fantasma de la declinación de poblaciones y su eventual extinción.

Para la solución de problemas de salud pública ocasionados por algunas serpientes y saurios venenosos, se deberá continuar con la investigación desarrollada en años recientes en estos aspectos, con el fin de producir nuevos productos para beneficio de la población.

Las investigaciones básicas sobre la filogenia y evolución de los grupos de anfibios y reptiles, así como su taxonomía y sistemática, deberá continuar, ya que se están produciendo grandes cambios en esos campos que están revolucionando el conocimiento de esta fauna, no tan sólo en México, sino en el mundo.

Otro campo que han revolucionado el conocimiento de los anfibios y los reptiles es el de la biogeografía, ya que con el desarrollo y uso de metodologías computarizadas se está entendiendo mejor su distribución y los factores que la condicionan. Además, con la aplicación de modelos dentro de los sistemas de

información geográfica, se ha podido establecer con mayor precisión, algunas formas de conservación para esta fauna, por lo que es muy importante impulsar la investigación en este campo.

Finalmente, un aspecto que ha sido crítico desde mucho tiempo atrás, dada la riqueza de especies y la necesidad de su investigación dentro de los diferentes campos, es la formación de recursos humanos. Aun cuando se ha incrementado su número en forma importante hasta hoy, la problemática antes mencionada requerirá del concurso cada vez mayor de herpetólogos mejor capacitados que puedan atacar los desafíos que representarán su estudio y conservación en el futuro inmediato de nuestro país.

LITERATURA RELEVANTE

- Adler, K. (1989). Herpetologists of the past. Part. 1. En K. Alder (Ed.), *Contributions to the history of herpetology*, No. 5 (pp. 5-141). Society for the Study of Amphibians and Reptiles.
- . (2007). Herpetologists of the Past. Part 2. En K. Alder (Ed.), *Contributions to the History of Herpetology*, No. 21 (pp. 5-573). Society for the Study of Amphibians and Reptiles.
- Beltrán, E. (1982). *Contribución de México a la Biología. Pasado, presente y futuro*. Consejo Nacional para la Enseñanza de la Biología, A.C. Cía. Editorial Continental, S.A.
- . (1951). El panorama de la Biología Mexicana. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, XII(1-4), 69-99.
- Barco, M. del. (1988). *Historia Natural y Crónica de la antigua California (1770-1780)*. 2da. Instituto de Investigaciones Históricas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Berlandier, J. L. (1980). *Journey to Mexico during the years 1926 to 1834*. Texas State Historical Association/University of Texas Press.
- Berlandier, J. L. y Chovell, R. (2010). *Diario de viajes de la Comisión de Límites*. El Colegio de San Luis y Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Camarillo-Rangel, J. L. (1998). Nota cronológica sobre la herpetología en México. *Ciencia ergo-sum*, 5(2), 203-206.
- Casas-Andreu, G. (1984). La Herpetología en México. *Naturaleza*, 15(4), 216-224.
- . (2004). Nuevas interpretaciones y adiciones a los anfibios y reptiles en la obra del naturalista Francisco Hernández (1517-1584). *Ciencia ergo-sum*, 11(3), 308-312.
- . (2005). Anfibios, reptiles y otros animales de la Expedición Malaspina (1789-1794) en Nueva España, un capítulo inédito de la zoología mexicana. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 2(1), 246-250.
- . (2008). Contribuciones al estudio de los anfibios y reptiles de México durante el siglo XVIII y la Ilustración. *Ciencia ergo-sum*, 15(1), 101-107.
- . (2009). Anfibios y reptiles. En C. Herretero y J. Ramírez Pulido (Eds.), *Cosmos, enciclopedia de las ciencias y la tecnología en México: ciencias biológicas* (pp. 195-207). Consejo Nacional de Ciencia y la Tecnología, Universidad Autónoma Metropolitana e Instituto de las Ciencia y Tecnología del Distrito Federal.

- Casas-Andreu, G. y Cupul-Magaña, F. (2019). ¿Herpetología, o basta con decir anfibios y reptiles? *Elementos*, 26(113), 37-41.
- Clavijero, F. J. (1991). *Historia Antigua de México*. 9na ed. Porrúa.
- Hernández Gómez, J. A. (2015). *Historia de la herpetología en México* [tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Lázaro de Arregui, D. (1946). *Descripción de la Nueva Galicia*. Escuela de Estudios Hispano-Americanos de la Universidad de Sevilla.
- McCoy, C. J. y Flores-Villela, O. (1985). Amphibians and Reptiles of the Sesse & Mociño Expedition: A Lost Chapter in Mexican Herpetology. *Annals of the Carnegie Museum of Natural History*, 54(5), 189-193.
- Moreno, R. (1986). *Ensayos de Historia de la Ciencia y la Tecnología en México*. (Serie *Historia de la Ciencia y Tecnología* 2). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Históricas.
- . (1989). *Linneo en México. Las controversias sobre el Sistema Binario sexual 1788-1798*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Históricas.
- Flores-Villela, O. y Hodges, W.L. (1999). Biographical sketch of Miguel Alvarez del Toro (Don Miguel): 1917-1996. *Herpetological Review*, 30(2), 69-70.
- Flores-Villela, O. A., Smith, H. M. y Chiszar, D. (2004). The history of herpetological exploration in México. *Bonner Zoologische Beiträge*, 52(3/4), 311-335.
- Sahagún, F. B. (1999). *Historia general de las cosas de Nueva España*. Porrúa.
- Saladino García, A. (1990). *Dos científicos de la Ilustración Hispanoamericana: J.A. Alzate y F.J. de Caldas*. Centro Coordinador y Difusor de Estudios Latinoamericanos, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Smith, H. M., Conant, R. y D. Chiszar. (2003). Berlandier's Herpetology of Matamoros, México, 150 years ago. *Newsletter and Bulletin of the International Society for the History and Bibliography of Herpetology*, (4), 19-30.
- Smith, H. M. y Smith, R. B. (1973). *Synopsis of the herpetofauna of México. Volume II. Analysis of the literature exclusive of the Mexican Axolotl*. Eric Lundberg.
- Somolinos D'Ardois. G. (1960). *Vida y obra de Francisco Hernández*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- . (2015). *Vida y obra de Francisco Hernández*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Tello, A. 1891. *Libro segundo de la Crónica Miscelánea en que se trata de la conquista espiritual y temporal de la Santa Provincia de Xalisco en el nuevo reino de la Galicia y Nueva Vizcaya y descubrimiento de Nuevo México*. Imprenta de la «República Literaria» de Ciro L. de Guevara y compañía.
- Trabulse, E. (1997). *Historia de la Ciencia en México* (Versión abreviada). Fondo de Cultura Económica.
- Wiegmann, A. F. A. (1834). *Herpetologia Mexicana, seu Descriptio amphibiorum Novae Hispaniae*. Berolini, Sumptibus C.G. Lüderitz.

Bienestar animal en acuicultura: un análisis comparativo entre la Unión Europea y México

Fernando Vega-Villasante¹, Martín A. Aréchiga-Palomera^{1,2},
Olimpia Chong-Carrillo¹, Omar A. Peña-Almaráz^{1,2},
Karen Noemí Nieves-Rodríguez^{1,2} y Blanca Soro Mateo³

RESUMEN: El bienestar animal refiere al estado físico y mental de un animal respecto a sus condiciones de vida y muerte. La Unión Europea ha implementado legislación para proteger y promover el bienestar animal, que incluye animales acuáticos utilizados en investigación y acuicultura, destacando la Directiva 2010/63/UE. En contraste, México carece de una Ley General de Bienestar Animal y de mecanismos específicos para su implementación en animales acuáticos. Se propone desarrollar una Ley Integral, regular la experimentación con acuáticos, incluir disposiciones específicas, implementar transparencia y reportes, promover educación, investigar alternativas, mejorar la regulación acuícola y regular el sacrificio de organismos con importancia en la acuicultura siguiendo estándares humanitarios.

Palabras clave: legislación, dolor, acuicultura, animales acuáticos, experimentación.

INTRODUCCIÓN

El concepto de «bienestar animal» es definido por la Organización Mundial de Sanidad Animal (2023) como «el estado físico y mental de un animal en relación con las condiciones en las que vive y muere». En muchos países, incluyendo México, existe una falta de interés notable en minimizar el maltrato de animales acuáticos utilizados en experimentación y producción acuícola, lo que puede resultar en condiciones de estrés y sufrimiento para estos. Esta indiferencia se atribuye en parte a que de manera popular se cree que los animales acuáticos, como crustáceos, peces y moluscos, no experimentan dolor de la misma manera que

¹Laboratorio de Calidad de Agua y Acuicultura Experimental, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara.

²Programa de doctorado BEMARENA, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara.

³Facultad de Derecho, Universidad de Murcia. España.

Recibido: 12/05/2024

Aceptado: 27/02/2025

Publicado: 10/03/2025



Figura 1. Generada con la IA ChatGPT.

los mamíferos. Durante las últimas décadas, ha surgido un debate en la comunidad científica acerca de la capacidad de los organismos, como los peces, para experimentar dolor, según lo señalan Aréchiga-Palomera y sus colegas (2023). Algunos científicos argumentan que los peces son incapaces de sentir dolor debido a la falta de un córtex cerebral, considerado por ellos como necesario para experimentar dolor. Sin embargo, otros científicos sostienen que los peces sí pueden sentir dolor, respaldándose en evidencia a nivel de comportamiento y en la presencia de vías nociceptivas en sus sistemas nerviosos, similares a las de los mamíferos y que, además, también han sido encontrados en otros organismos que están en otras ramas del árbol genealógico de la vida, como pueden ser crustáceos, que también son organismos que poseen fuerte impacto comercial para la acuicultura.

BIENESTAR ANIMAL EN LA UNIÓN EUROPEA (UE)

La UE es un ejemplo exitoso de incluir leyes o normativas en este sentido, pues ha implementado una extensa legislación para la protección y el bienestar animal, entre estas leyes destacan la protección de animales en investigación y el reglamento sobre sacrificio animal. Estas normativas abarcan a todos los organismos en cuestión, como animales de ganadería, experimentación, transporte y cría de mascotas, estas incluyen a los animales acuáticos, tanto de cría como de experimentación. En el caso de la experimentación con animales acuáticos, se promueven principios éticos, exigencias de informes anuales, entre otras medidas que promueven la salud física y emocional de los animales (Figura 2). Dentro de las normativas de la UE, se puede destacar a la Directiva 2010/63/UE, que establece normas claras para proteger a los animales usados en investigaciones científicas, incluyendo los acuáticos, promoviendo los principios de las «3R» (reducción, refinamiento y reemplazo). Estas regulaciones enfatizan la transparencia y la responsabilidad mediante informes anuales sobre la utilización de animales en investigación, y se regula específicamente la experimentación con animales acuáticos (Figura 2).

BIENESTAR ANIMAL EN MÉXICO

En contraste, México carece de una Ley General de Bienestar Animal, enfrentando resistencias para su aprobación. Aunque existen disposiciones relacionadas con el bienestar animal en la LGEEPA (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente),



Figura 2. Bienestar animal en la Unión Europea.

esta carece de mecanismos específicos para su implementación. La normativa existente regula animales de laboratorio, excluyendo a los acuáticos, y la Ley de Pesca y Acuicultura Sustentables no se centra directamente en el bienestar animal. Aunque la LGEEPA aborda aspectos relacionados con el bienestar animal, no especifica los mecanismos o protocolos para garantizarlo, y la supervisión recae en la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), cuya incidencia en animales acuáticos en experimentación es limitada. La Norma Oficial Mexicana para Animales de Laboratorio (NOM-062-ZOO-1999) no contempla disposiciones específicas para animales acuáticos, y la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables se enfoca más en la sustentabilidad y conservación que en el bienestar animal (Figura 3).

Sin embargo, en el 2024 se logró un avance significativo con la aprobación de una reforma constitucional que prohíbe el maltrato animal. Dicha reforma establece un plazo de 180 días para la creación de leyes específicas que regulen la protección y bienestar de los animales en México. Adicionalmente, recientemente se ha presentado la iniciativa para expedir la Ley General en Materia de Bienestar, Cuidado y Protección de los Animales, que busca sancionar prácticas crueles y establecer estándares claros para el trato de los animales en diversos sectores, incluyendo la acuicultura. No obstante, aún es necesario garantizar que esta nueva legislación contemple de manera explícita a los animales acuáticos y establezca medidas concretas y protocolarias para su protección (Congreso de la Unión, 2024).



Figura 3. Bienestar animal en México.

PROPUESTAS PARA MÉXICO

Para mejorar la situación en México, se sugiere desarrollar una Ley de Bienestar Animal Integral, regular la experimentación con animales acuáticos tomando como referencia la normativa de la UE, incluir disposiciones específicas para animales acuáticos en normativas existentes, implementar transparencia y reportes anuales, promover educación sobre bienestar animal, incluir a expertos y comunidades locales en decisiones, estimular investigación en alternativas a la experimentación animal, mejorar la regulación de la acuicultura para garantizar un tratamiento ético, y regular el sacrificio de animales acuáticos siguiendo estándares humanitarios.

Con la reciente aprobación de la reforma constitucional y la presentación de la iniciativa

de la Ley General en Materia de Bienestar Animal, existe una oportunidad histórica para que la legislación mexicana incluya disposiciones específicas sobre el bienestar de los animales acuáticos. Es fundamental que los académicos, investigadores y el sector acuícola participen activamente en el desarrollo de estas leyes para asegurar su correcta aplicación y efectividad.

COMENTARIOS FINALES

Cuando hablamos de bienestar animal, solemos pensar en las mascotas como perros y gatos, pero rara vez en peces, crustáceos o moluscos. Aunque en México se han dado pasos hacia la protección de los animales domésticos, los organismos acuáticos siguen en el olvido. Esta indiferencia plantea una pregunta ética: si reconocemos que el sufrimiento debe



Figura 4. Generada con la IA ChatGPT.

evitarse en algunos animales, ¿por qué ignorarlo en otros? Implementar mejores prácticas en su manejo, por lo menos, no solo es un tema de sostenibilidad y calidad, sino también de justicia hacia todas las formas de vida. Adoptar modelos como los de la Unión Europea y promover una educación fundamentada en la ciencia sobre el bienestar animal es un paso clave para redefinir nuestra relación con el mundo natural y avanzar en la evolución del pensamiento y el conocimiento humano.

Notas

Los comentarios expresados aquí son responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la posición oficial de la revista *Lucidum Ciencia* o de alguno de sus integrantes del Consejo Editorial.

LITERATURA RELEVANTE

Aréchiga Palomera, M.A., Vega-Villasante, F., Vargas Ceballos, M.A., Chong-Carrillo, O., Nieves Rodríguez, K.N. y Nolasco-Soria, H. (2023). La insoportable levedad del pescador: el dolor en peces. *LUCIDUM CIENCIA*, 2(3), 21-28.

Congreso de la Unión. (2024). Aprueban reforma constitucional para establecer la prohibición del maltrato a los animales. Canal del Congreso. Consultado el 24 de febrero de 2025. <https://www.canaldelcongreso.gob.mx/noticia/aprueban-reforma-constitucional-para-establecer-la-prohibicion-del-maltrato-a-los-animales>

OMSA (Organización Mundial de Sanidad Animal) (2023). *Código Sanitario para los Animales Terrestres*. Acceso en línea al Código Terrestre. Consultado el 6 de marzo de 2024. <https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-codigo-terrestre/?id=169&L=1&htmlfile=glossaire.htm>

Entornos híbridos e inteligencia artificial (IA) en la Educación Superior. Experiencias en diálogo

Gabriela Scartascini Spadaro*

RESUMEN: Asumirnos en la globalidad es tarea de todos los días. Desde nuestra formación docente, reconocernos como protagonistas de una actualización pedagógica nunca antes vista es parte del desafío. Por ello, cotejar prácticas educativas de enseñanza-aprendizaje tradicionales con las nuevas herramientas tecnológicas es la brecha a recorrer; sobre todo, teniendo en cuenta que la mayoría de los profesores vigentes se han formado disciplinariamente sin el actual contexto. En este diálogo de experiencias, se presenta una entrevista en 2024, en articulación entre Argentina y México, en la cual se retoman temas como entornos híbridos e inteligencia artificial, recursos que los docentes de este siglo XXI requerimos conocer e incorporar a la práctica educativa para lograr un aprendizaje significativo en el estudiantado en Educación Superior que utiliza la virtualidad y la tecnología de manera permanente.

Palabras clave: sociedades en transición, Latinoamérica, estrategias pedagógicas, aprendizaje significativo en el siglo XXI, discurso académico y científico.

DESARROLLO

Cotejar experiencias de aprendizaje forma parte de nuestro quehacer como docentes. En ocasión de una estancia académica realizada en la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales –FLACSO– en la sede de Argentina, concreté esta entrevista con la Mtra. Valeria Odetti, coordinadora general del Programa de Educación a Distancia de FLACSO, Argentina, en julio de 2024.

Cabe destacar que Valeria Odetti es licenciada en Ciencias de la Educación por la Universidad de Buenos Aires (UBA) y Magíster en Educación, Lenguajes y Medio por la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM). A su vez,

Recibido: 27/01/2025

Aceptado: 27/02/2025

Publicado: 10/03/2025

Departamento de Estudios Internacionales y Lenguas Extranjeras, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara.

* Correo electrónico: gabriela.scartascini@academicos.udg.mx



Figura 1. En la foto, de izquierda a derecha: María Bazán, Gaspar Tessi, Emilia Cortina, Marcela Ordiz, Susana Mesa, Gabriela Scartascini y Valeria Odetti. Instalaciones de FLACSO Argentina, en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. 31 de julio de 2024. Foto propiedad de la autora.

es coordinadora de Educación a Distancia de la Universidad Nacional de General Sarmiento (UNGS). Es investigadora en temáticas vinculadas a narrativas digitales y, como docente, imparte los talleres I y II de Materiales Didácticos Digitales en la Licenciatura en enseñanza con tecnologías digitales de la Universidad de la Ciudad, en Buenos Aires, Argentina. En relación con las actividades de FLACSO a nivel internacional, es integrante del Comité Académico de la Maestría en Educación, innovación y tecnologías de la FLACSO Uruguay.

Con su autorización para publicarlo en un texto académico, dimos inicio a este diálogo de experiencias que se presenta a continuación:

—*Iniciaremos con precisión sobre uno de los grandes desafíos de nuestra labor docente universitaria. ¿Cómo manejar la incertidumbre frente a estas nuevas maneras de lograr conocimientos, saberes e información?*

—Es difícil pues, en general, los modelos pedagógicos con los que nos formamos los actuales

docentes, tienen que ver con quien tiene un saber completo; es decir, que puede dar todas las respuestas a nuestros estudiantes ante un hecho dado y, ahora, lo que la tecnología ofrece, no solamente por la tecnología en sí misma, sino por el avance tecnológico vertiginoso, es que todo el tiempo aparecen formas nuevas de construir conocimiento. El problema es que hoy los docentes podemos saber sobre nuestras disciplinas, pero ellas también cambian, especialmente en la forma de construir conocimiento, legitimarlo y circularlo luego.

En consecuencia, el manejo de la incertidumbre es lo más difícil y pues todavía no tenemos estrategias válidas; estamos en un proceso en el que no podemos ver las consecuencias, estamos como en el ojo de un huracán.

Para mí, una de las cuestiones más complejas de pensar la acción educativa hoy tiene que ver con la alteración de las percepciones de tiempo y espacio que hace que estemos todo el tiempo en todos los lugares pues estamos conectados e hiperconectados todo el tiempo.

Estamos en un aula en la institución educativa, pero, al mismo tiempo, estamos con *Whatsapp* y redes sociales en otro lugar y eso hace que la dispersión sea muy grave, que atente muchas veces contra el aprendizaje y que el docente tenga que estar muy pendiente de sus estudiantes (...).

Con el uso masivo y continuo de la tecnología, hay que separar el tiempo del estudio del tiempo del ocio; entonces nos volvemos nostálgicos o retrógrados si queremos eliminar la tecnología en nuestras aulas o lidiamos con la dispersión constante que hace que no sepamos si podemos concluir una clase y nuestros estudiantes estuvieron concentrados en el contenido temático de la asignatura.

—Y tomando en cuenta esta última afirmación, ¿cuáles pueden ser las estrategias específicas del rol docente en este cambio de perspectivas?

—Mi formación es en Pedagogía. Para mí, una estrategia efectiva es el contrato didáctico: establecer en la primera clase cuáles son las condiciones de tránsito de la materia, las pautas de conducta que vamos a sostener los decentes y que esperamos que mantengan los estudiantes y cuáles son las consecuencias si eso no ocurre.

El contrato didáctico es algo objetivo: yo espero de ustedes esto y yo me comprometo a dar esto otro y en ese contexto vamos a trabajar el tiempo que dure la asignatura. Debo decir que, a veces, también nos cuesta a los docentes respetar las consignas por el tema de dejar el celular en la mochila y nosotros tampoco mirarlo... y a veces es difícil.

—Respecto de los entornos híbridos y la inteligencia artificial, ¿cómo trabajar ese salto ¿cómo

incorporar la IA a esta forma de enseñanza-aprendizaje?

—En realidad, no son opciones. De lo que se trata es de pensar cómo se incorpora la IA al proceso educativo, entendiendo también que la IA no es tan inteligente. Hay una idea de que la IA puede hacer cosas que no puede, al menos hoy. Lo logrará seguramente y, probablemente, más rápido de lo que nosotros creemos.

Pero, en principio, es un tipo de tecnología que trabaja con un lenguaje lógico. Por ejemplo, para los que hacemos Ciencias Sociales, eso es muy difícil porque es una tecnología que busca dar respuestas cerradas, eficientes y que sean lógicas.

En muchos casos, quienes nos hallamos inmersos en las Ciencias Sociales, trabajamos con las contradicciones, las complejidades; la IA es un tipo de tecnología que, al menos el día de hoy, no puede dar una respuesta que implique leer entre líneas, comprender los supuestos epistemológicos o ideológicos detrás de lo que está diciendo.

Por otro lado, en el sentido más pedagógico, hay que entender también que es un tipo de tecnología que tiende a tener una perspectiva conductista del aprendizaje; entonces, la respuesta que nos va a dar cuando nosotros buscamos, le pedimos ayuda como docentes para poder armar una actividad o construir un examen, la respuesta que nos va a dar tendrán que ver con verificar cosas y no con reflexionar, Discutir una idea, no va a poderlo producir. Insisto con que todavía; al día de hoy, no.

Ahora, eso no quiere decir que no la podamos integrar, con alguna salvedad. Primero que la IA es muy útil cuando uno sabe, previamente, el tema o el contenido sobre el que quiere trabajar.

No porque inventa cosas, aunque a veces lo hace; sino porque es uno el que le va a poner el ojo a saber qué es verdadero o qué no y a interpretar esto de las perspectivas y los sesgos que la IA tiene.

Mi inquietud respecto del uso de la IA no es solo en el ámbito educativo, sino como investigadora en Ciencias Sociales y tiene que ver con qué capacidades humanas necesitamos tener bien garantizadas en nuestros estudiantes para que puedan usar IA; es decir, qué competencias tienen que haber desarrollado para que puedan ellos mirar críticamente lo que se produce con una IA.

Para mí, lo interesante es invertir siempre el orden: en general, los docentes se quejan pues los estudiantes utilizan la IA para escribir las respuestas a una tarea, a un examen; como estrategia, considero que hay que proponer lo inverso: que transparenten, que le pidan a la IA las respuestas pero que después la corrijan; entonces cuando ellos tienen que corregir a la IA, tenemos dos situaciones: primero, tienen que demostrar que saben, tienen que encontrar aquello que no es específico o verdadero. Pero, para ello, primero tienen que saber construir lo que se llama un *prompt*, esa palabra o instrucción, frase o imagen que sirve de estímulo a la IA para la generación de ideas o la creación de contenido. Y también tienen que saber del tema para ver si esa respuesta tiene la solidez que se está buscando y, posteriormente, al discutir con la IA si lo que dijo es correcto, la está entrenando a que dé mejores respuestas.

—Entonces, los docentes ahí tenemos una responsabilidad pues debemos conocer cómo desarrollar un *prompt* que cumpla con características

de eficiencia académica y enseñarles a construir esa estrategia.

—Sí, hay una responsabilidad muy grande. Nosotros ya pasamos la experiencia de creer que con las redes sociales se daría la democratización del conocimiento y terminamos en las *fake news* y discursos de odio. Ahora, tenemos que ser responsables y entender que a esta tecnología la tenemos que entrenar nosotros, que cada vez que nosotros le hacemos una pregunta, la estamos entrenando entonces, también ver con nuestros estudiantes formas éticas de utilizar esa tecnología para que lo que se vaya generando no termine siendo más odio o más *fake news*.

—La influencia de la pandemia en el contexto de aplicación de la tecnología educativa requiere una mención pues ha sido un fenómeno global que requirió la construcción e implementación de formatos alternativos para la enseñanza-aprendizaje.

—Evidentemente, primero, demostró que la tecnología sirve en contextos de enseñanza, especialmente en el nivel universitario, pero al mismo tiempo demostró, también, que tenía límites: que esa idea de que se podía aprender en cualquier momento, en cualquier lugar y que un teléfono era suficiente, no fue así.

El nivel de desconexión, o de complejidad, o de aprendizajes no tan logrados fue evidente a la salida de la pandemia, especialmente en aquellos que cambiaban de nivel educativo, por ejemplo, quienes iniciaron la universidad en un contexto de pandemia. Les costó mucho más, luego, comprender la vida universitaria completa lo que hace también a los aprendizajes.

En los últimos años, se mostraron estrategias, pero que también transparentaron

limitaciones. Uno puede tener entornos de enseñanza-aprendizaje mediados con tecnología sumamente exitosos, pero eso no reemplaza todo lo que implica la formación universitaria en tanto *habitus*, formación para el ejercicio profesional, todo aquello que aprendemos cuando estamos en la universidad físicamente.

—*En este contexto, ¿cuáles serían las habilidades y competencias específicas con las que tendrían que llegar los estudiantes al ámbito universitario?*

—Tienen que ver con la comprensión lectora, con las habilidades vinculadas a la lectura; no solamente leer y escribir textos básicos, sino poder argumentar una idea, refutarla, todo lo que se relaciona con poder leer textos complejos; Lamentablemente, esto no está pasando. Todos los sabemos, por lo menos en nuestra región y, entonces, siempre corremos desde atrás, y nos toca empezar a formar esta competencia en el momento en que llegan a la universidad. La investigadora argentina Paula Carlino dice que hay que enseñar a leer y escribir en todos los niveles educativos porque cada nivel tiene su especificidad y es cierto: la lectura académica es un tipo de escritura diferente. Ahora, hay una competencia básica que tendría que venir aprendida que implica leer entre líneas, poder comprender un texto complejo, entender la vinculación entre dos textos diferentes. Esas son competencias que, incluso, para quienes hagan carreras desde las Ciencias Exactas son necesarias pues las consignas vienen escritas.

Para mí, esto es lo básico y es lo que la pandemia demostró que no pudo enseñar. El deterioro, ahí, sí es mundial en ese tipo de competencias y es preocupante, naturalmente.

—*Mencionaste la ética en cuanto a cómo trabajarla/incluirla en la educación. Una pregunta obligada frente a la IA es la noción de plagio. ¿Cómo maniobrar en ese sentido?*

—Frente al plagio hay todo un tema de integridad académica. En muchos casos, el plagio ocurre porque, por un lado, la gente no sabe citar; pueden ser errores involuntarios entonces, evidentemente, no enseñamos lo suficiente qué implica una cita, una intertextualidad; por el otro, siempre voy a decir —desde mi postura de pedagoga—: «hagamos mejores exámenes».

Si nuestras preguntas se contestan con una IA, que todavía es muy rudimentaria, entonces estamos haciendo mal las preguntas.

Siempre, lo que implique aplicar el conocimiento a algo, la IA no lo puede hacer hoy todavía y trabajar después en la argumentación por qué se tomaron estas decisiones. Ahí, va a ser evidente si un estudiante sabe o no, independientemente que algo lo haya resuelto con IA.

Otra estrategia es transparentar directamente que la actividad la realiza con IA, pero entonces tiene que decir cuál fue la información que brindó al *prompt* para que le dé tal respuesta, cuál es la IA que utilizó, qué piensa de la respuesta. Hay que complejizar la actividad para que no pueda resolver solamente poniendo una pregunta y con un texto cualquiera que te devuelva una tecnología.

—*Y que, tal vez, ni siquiera luego leyó.*

—Para que los docentes puedan transformar sus prácticas, puedan usar nuevos recursos, tiene que haber una institución que acompañe eso. En general, nos olvidamos de que hay responsabilidades institucionales y también políticas que tienen que acompañar a la formación de los docentes porque, si no, todo termina

siendo más piedras en la mochila del docente y, después, también se lo culpa del fracaso. Digo, aquí hay que mirar una dimensión institucional de quienes regulan y una política de quienes manejan un país o jurisdicciones donde se anclan esos sistemas educativos.

—En este momento, qué significa aprendizaje significativo.

—El aprendizaje significativo viene de la corriente de Ausubel. Él decía que, para construir un nuevo aprendizaje, tiene que haber un aprendizaje previo en el que el nuevo aprendizaje se enlace; lo que él llamaba el *inclusor cognitivo*.

El problema de hoy es, primero, que hay un deterioro en los aprendizajes básicos y, después que, en las aulas latinoamericanas, la diversidad de experiencias que llegan —incluso a las universitarias— es enorme; entonces, es más difícil buscar esos *inclusores*, esas *significaciones* comunes a un grupo. Se requiere de un paso más largo.

Igual, para mí, lo que significa contextualizar la propuesta es que se entienda desde dónde hablan los autores y que eso permita conocerlos con otra riqueza; por ende, significativo al contexto social al que pertenecen. Muchas veces, traemos casos de países centrales y eso no les hace ruido, es como hablar de un mundo que no es el conocido. Es muy importante articular el conocimiento global con el local o con la implicación local que tiene.

Después, lo que me parece más difícil es tener tiempo de conocerlos. En la universidad es muy difícil conocer a nuestros estudiantes: tenemos muchos, los vemos poco pues las clases no son todos los días. A lo mejor, podríamos dedicar la primera clase para tener un panta-

llazo de cuáles son sus intereses, qué les importa.

—¿De dónde vienen? Pues, como en nuestra región, muchos estudiantes son *foráneos* nacionales y llegan a vivir solos. Ubicarlos en este contexto es, también, un paso que hay que dar desde las aulas.

—Especialmente en los primeros años. El primer año es clave porque uno permite construir el vínculo que hace que a los estudiantes les empiece a ser significativo aquello que va a ocurrir en la universidad.

También, empezar a entender que los formatos cambiaron y que, a lo mejor, hace 25 años leíamos un libro de una semana para la otra y hoy a los chicos les cuesta mucho. Entonces, pensar qué otros estímulos tenemos para que se enganchen.



Figura 2. Generada con la IA ChatGPT.

No digo olvidarnos de que estamos en la universidad; no digo transformarnos en «animadores», pero sí entender que un buen podcast puede reemplazar el capítulo de un libro, una buena conferencia. Tal vez, empezar a pensar que hay otros formatos que tienen mayor llegada, que nos permiten hacer más significativo lo que les estamos proponiendo.

—*Ese sería el mayor desafío o ¿Cuál sería?*

—El mayor desafío es encontrar ese punto en el que sigamos dando una solidez académica en otros formatos, porque queda claro que no cualquier *podcast* puede ser un *podcast* académico y no cualquier conferencia sirve, no cualquier meme sirve, y algunos sí, y los podemos producir con el sentido académico y universitario que queremos darle a esa propuesta.

—*Y volvemos a la primera pregunta: lo que permanece y lo que tiene que cambiar.*

—De lo que permanece, no nos tenemos que olvidar que la universidad tiene que formar profesionales. ¿Qué quiero decir? En Ciencias Sociales, un profesional tiene que poder presentar un proyecto de investigación; esas competencias las tenemos que seguir formando.

Uno tiene que realizar veinte versiones de un mismo texto, construir un problema de investigación y todo eso tiene que poder hacerlo, primero por sí mismo, y después, sí con la asistencia de todas las tecnologías que estén disponibles, pero si no hizo ese aprendizaje previo, que es algo que permanece y tenemos que defender, como docentes universitarios, va a ser muy difícil que todo lo demás tenga sentido.

Plantas vs. Patrañas: la importancia de compuestos activos de origen vegetal para mitigar enfermedades

Enrique Quiroz-Villanueva¹, Eduardo Ramírez-Ayala²,
César Antonio Sepúlveda-Quiroz³, César Arturo Ilizaliturri-Hernández⁴,
Rebeca Yasmín Pérez-Rodríguez⁵, Mayli Wong de la Mora⁶ y
Adrián Tintos-Gómez²

RESUMEN: Las enfermedades de transmisión vectorial (es decir, por medio de un organismo infectado) representan más del 17% de todas las enfermedades infecciosas y cada año a nivel mundial provocan más de 700,000 muertes. El chikungunya, dengue, zika y la malaria son algunas de las principales enfermedades propagadas por mosquitos. El uso indiscriminado de pesticidas en la agricultura ha generado una alta resistencia en ciertos vectores biológicos (insectos), lo que ha incrementado la propagación de ciertas enfermedades. Una estrategia para reducir la tasa propagación e infección de estas enfermedades es usar compuestos obtenidos de plantas

que actúan sobre los vectores biológicos. Estos compuestos obtenidos de ciertas plantas son llamados metabolitos secundarios y juegan un papel importante en la industria farmacéutica por sus diversos usos terapéuticos. La familia de las Annonaceae es un grupo de plantas muy importante de las cuales se puede obtener extractos vegetales y utilizarla como medicina alternativa, con efectos insecticidas, antitumorales y antibacterial. México al contar con un gran cantidad de especies de plantas, pueden aprovecharse para obtener diversos compuestos que ayuden al control de vectores biológicos, así como, la generación de medicamentos a base de estos compuestos.

¹ Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California.

² Programa de Posgrado BEMARENA, Departamento de Estudios para el Desarrollo Sustentable de Zonas Costeras, CUCSUR, Universidad de Guadalajara.

³ Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Villahermosa.

⁴ Facultad de Medicina, Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

⁵ Laboratorio de Servicios de espectroscopía, cromatografía y calorimetría DCNYE, Departamento de Química, Universidad de Guanajuato.

⁶ Facultad de Turismo y Gastronomía, Universidad de Colima.

Recibido: 14/01/2025

Aceptado: 04/03/2025

Publicado: 10/03/2025

Palabras clave: enfermedades, vectores, etnobotánica, compuestos activos, anonáceas.

BREVE HISTORIA DE LAS PLANTAS MEDICINALES

El uso de los extractos vegetales no es nuevo, ya que existe una larga historia de hierbas medicinales que se utilizan en el tratamiento de enfermedades, infecciones comunes mediante el principio antimicrobiano y contra plagas. Por ejemplo, en China el uso de los extractos vegetales de ciertas plantas está plasmado en diferentes registros antiguos, que han sido muy bien preservados y utilizados hasta la fecha. También, se han descubierto restos de plantas en numerosos sitios arqueológicos, incluyendo semillas, frutas, cortezas, hojas, maderas, raíces, fibras, colorantes y resinas, que usualmente se hallan en estado fragmentado o carbonizado y eran utilizadas principalmente en ceremoniales o rituales. En la India el uso de plantas para el tratamiento medicinal se remonta desde los 5,000 años, sin embargo, es posible que mucho de los datos prehistóricos sobre las plantas se han perdido por falta de registro. En México, culturas como la maya o la mexica también usaban plantas con fines ritualísticos y medicinales, ejemplo de ello es la practica de temazcales, donde empleaban diversas plantas y aceites obtenidas de ellas.

UN PANORAMA DE LA ETNOBOTÁNICA GLOBAL Y MÉXICO

La etnobotánica es una disciplina que estudia las plantas usadas por el hombre. Sus estudios reúnen e integran el conocimiento local y científico para promover la conservación bio-

cultural. Así mismo, recoge y analiza los usos, conocimientos, costumbres, ritos y creencias que tienen origen en la interacción hombre-plantas, considerando el método científico.

Los primeros trabajos realizados bajo el término etnobotánica consistían en realizar listas o catálogos de plantas con especificaciones de sus respectivos usos. Actualmente, en los países desarrollados la etnobotánica es vista con dos perfiles: a) como una materia que estudia los usos pasados, curiosos y raros de las plantas y b) una disciplina que advierte sobre el peligro del deterioro ambiental.

En México, hay registros de que culturas como la teotihuacana, obtenían recursos de bosques de pino y encino, reportándose hasta 125 especies diferentes de plantas que usaban con fines comestibles y médicos. Este conocimiento se fue transmitiendo con los años, permitiendo con ello que en México se formara una corriente sólida en la etnobotánica. Por lo



Figura 1. Generada con GPT-4o.

anterior, en mayo de 1786 se crea la cátedra de Botánica en la Real y Pontificia Universidad de la Ciudad de México. Posteriormente, se consolida la Comisión de Dioscóreas dentro del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIF), iniciando con ello la etapa moderna de la etnobotánica en México.

ESTUDIOS ETNOBOTÁNICOS SOBRE PLANTAS MEDICINALES

Las plantas siempre han jugado un papel importante en la vida humana debido a las propiedades de las plantas. El interés por el aprovechamiento de compuestos químicos provenientes de plantas consideradas medicinales, ha incrementado los estudios relacionados a comprender y entender dichos recursos naturales. Por esta razón, la etnobotánica, la fitoterapia y la fitoquímica están tomando importancia en la medicina complementaria en

el ámbito académico y científico. Existen varias plantas con propiedades medicinales, teniendo efectos analgésicos y antiinflamatorios. Además, el uso de las plantas en los países en desarrollo es un componente integral, de historia y prácticas culturales en las comunidades locales. Es por eso que en las dos últimas décadas ha aumentado considerablemente el interés por la medicina tradicional y en particular, por los medicamentos herbarios, tanto en países desarrollados como en desarrollo, reflejando una tendencia global hacia la evolución de este conocimiento ancestral.

LA FAMILIA DE LAS ANNONACEAE EN MÉXICO

La familia de las Annonaceae presenta cerca 2,300 especies constituidos principalmente por árboles y arbustos. Estas especies se encuentran en regiones tropicales y templadas, en México se encuentran 60 especies. De las 32 entidades federativas que conforman a México, Veracruz y Oaxaca son los estados con mayor número presencia de estas plantas, seguidos por Tabasco, Chiapas y Guerrero.

ESTUDIOS DE COMPONENTES BIOACTIVOS DE LA FAMILIA ANNONACEAE

Los resultados de la investigación en estas plantas medicinales, permiten la validación de sus usos tradicionales sobre varios grupos de enfermedades en los países de origen, lo que revela que estas plantas son de una fuente alternativa de moléculas terapéuticas. La especie de *Annona muricata*, conocida popularmente como la guanábana, se utiliza como medicina



Figura 2. Generada con GPT-4o.

tradicional para el tratamiento de hipertensión en Camerún. En Venezuela, se utiliza la especie *Annona montana* conocido como guanábano cimarrón, para controlar la Parotiditis (paperas). La *A. muricata* es reconocida por aportar positivamente a la salud y por ayudar en la prevención y tratamiento de varias enfermedades entre los que destacan la diabetes y el cáncer. Estos resultados han permitido la rápida comercialización de productos comerciales con extractos vegetales relacionados principalmente a la salud (Tabla 1).

USO DE COMPUESTOS EXTRAÍDOS DE LAS ANONÁCEAS PARA EL TRATAMIENTO VECTORES DE ENFERMEDADES TROPICALES

Las enfermedades tropicales como el dengue, malaria, zika, chikungunya, fiebre amarilla, entre otras, continúan siendo un verdadero problema de salud pública en muchos países

del mundo, tal como ocurre en Latinoamérica. El dengue es una enfermedad transmitida el mosquito al igual que el zika, la malaria y chikungunya. El zika se introdujo en América en el 2013 y con un brote notificado. En el 2015 se presentó en Brasil y se propago por todo América. Otra enfermedad es la malaria, ya que es una enfermedad infecciosa grave lo que representa una gran problemática de salud pública en todo el mundo. Es una enfermedad mortal causada por parásitos que se transmiten al ser humano por la picadura de mosquito hembra.

Existen estudios donde hacen referencia sobre extractos vegetales que actúan sobre los vectores (mosquitos), lo que reduce su propagación reduciendo la tasa de infecciosa. Por ejemplo, las especies de la familia anonáceas, han revelado componentes químicos podrían ofrecer nuevas alternativas para el control de la malaria, actuando sobre el vector (mosquito hembra). Así mismo, en el caso de la guanába-

Tabla 1. Productos comerciales a base de extractos de Anonáceas

Nombre científico	Extracto	Presentación	Usos	Nombre comercial
<i>Annpna muricta</i>	Guanábana	Aceite	Antienvejecimiento y antioxidante	Best Nature's
		Líquido	Fuente de acetogeninas y vitamina C	Greenside
		Líquido	Bebida	Ades
		Líquido	Suplemento dietético	Botanicals
		Té	Antiestrés	Therbal
		Cápsulas	Suplemento alimenticio	NATSA
<i>Annona cherimola</i>	Chirimoya	Líquido	Suplemento alimenticio	Herbone
		Líquido	Apto para celíacos	Colun
		Yogurt	Alimento probiótico	Vitagurt
		Crema	Antioxidante, hidratante y regenerador	Chyrcream
		Polvo	Polvos minerales	Cherimoya
		Gotas	Quemador de grasa	Idealica
		Shampoo	Anti-piojos	Mediker

na (*A. muricata*), se ha demostrado que tanto el uso de sus semillas, hojas y así como su macerado en un medio acuso tienen efectos de insecticida, repelente, anticancerígeno y anti-diabético. De igual manera, las semillas y hojas de la chirimoya (*A. cherimolia*) resultaron tener propiedades insecticidas y antidepresivos. Las hojas y semillas de anón (*A. squamosa*) también presentaron efectos antioxidantes, insecticida, antidiabético. En semillas de Anón amazónico (*A. mucosa*) presenta componentes insecticidas (Tabla 2). Como se puede observar, ya sea la semilla, raíz, hojas o fruto de las anonáceas pueden contener compuestos con características larvicidas o insecticidas, lo cual puede ayudar a reducir la propagación de vectores, ayudando con ello a controlar

enfermedades tropicales. Además, al estar los compuestos bioactivos presentes en semillas, raíces, hojas o frutos, son accesibles y puede ser empleado de manera preventiva en zonas rurales.

CONCLUSIONES

La investigación etnobotánica sobre la familia Annonaceae ha revelado un vasto potencial terapéutico. Los compuestos bioactivos presentes en especies como la guanábana y la chirimoya han demostrado propiedades antimicrobianas, insecticidas y anticancerígenas, entre otras. La familia Annonaceae puede ser considerada como una fuente prometedora de nuevos fármacos, especialmente para el trata-

Tabla 2. Efecto de las Anonáceas contra vectores de enfermedades tropicales

Nombre científico	Nombre común	Parte de la planta	Modelo de estudio	Actividad
Annona muricata	Guanábana	Semillas	Aedes aegypti	Insecticida
		Flores		
		Hojas		
		Corteza		
		Semillas	Anopheles albimanus	
		Raíz	Aedes aegypti	
Guatteria hispida	Anonáceas	Hojas	Aedes aegypti	Insecticida
		Hojas	Aedes aegypti	
		Hojas	Anopheles stephensi	
		Hojas	Culex quinquefasciatus	
Guatteria blepharophylla	Carahuasca amarilla	Hojas	Aedes aegypti	Insecticida
Guatteria friesiana	Anonáceas	Hojas	Aedes aegypti	Insecticida
Annona glabra	Anona	Hojas	Aedes aegypti	Larvicida
		Semillas	Aedes albopctus	Larvicida
Annona crassiflora	Marolo	Raíz	Aedes aegypti	Larvicida
Annona squamosa	Anón/ Chirimoya	Semillas	Aedes aegypti	Larvicida



Figura 3. Generada con ideogram IA.

miento de enfermedades tropicales transmitidas por vectores, como el dengue y la malaria. Sin embargo, es fundamental continuar investigando para comprender a fondo los mecanismos de acción de estos compuestos y desarrollar tratamientos seguros y eficaces. Los resultados obtenidos hasta ahora subrayan la importancia de preservar y estudiar las plantas medicinales, especialmente en regiones con alta biodiversidad como México, y de promover su uso sostenible.

LITERATURA CITADA

- Farnsworth, N. R. y Soejarto, D. D. (1991). Global importance of medicinal plants. *The conservation of medicinal plants*, 26(26), 25-51.
- Jiménez, V. M., Gruschwitz, M., Schweiggert, R. M., Carle, R., y Esquivel, P. (2014). Identification of phenolic compounds in soursop (*Annona muricata*) pulp by high-performance liquid chromatography with diode array and electrospray ionization mass spectrometric detection. *Food Research International*, 65, 42-46.
- Karthik, E. V. G., Vishnu Priya, V., Gayathri, R., y Ganapathy, D. (2021). Health benefits of *Annona muricata* - A review. *International Journal of Dentistry and Oral Science*, 8(7), 2965-2967. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85111120601&partnerID=40&md5=8b3600eadb5c02f64c0b32482d657ba5>
- Parthiban, E., Arokiyaraj, C., y Ramanibai, R. (2020). *Annona muricata*: An alternate mosquito control agent with special reference to inhibition of detoxifying enzymes in *Aedes aegypti*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 189. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110050>

El grillo doméstico: ¿es el platillo favorito de nuestros peces de cultivo?

Valeria Chablé-Ríos¹, Dafne Visnú Acosta-Delgado¹,
Obed Alexander Ortiz-Méndez¹, Pedro José Rabanales-Rodríguez¹,
Paulo César Molina-León¹, Uriel Rodríguez-Estrada^{1,2},
Carlos Alfonso Álvarez-González¹ y Rafael Martínez-García¹

RESUMEN: El grillo doméstico (*Acheta domesticus*) se ha convertido en una alternativa sostenible y altamente nutritiva para el consumo humano y animal. Este insecto, contiene proteínas de alta calidad (65-76%), y minerales esenciales como hierro, zinc y calcio. Además, su producción requiere menos recursos naturales que la ganadería convencional y genera un menor impacto ambiental. En el presente artículo, veremos las propiedades nutricionales de la harina de grillo, su potencial en la alimentación humana y su aplicación en la alimentación de peces. En acuicultura se ha evaluado como sustituto parcial o total de la harina de pescado y soya. Demostrando ciertos beneficios zootécnicos y a la salud general de los peces.

Palabras clave: harina de insectos, acuicultura, sustentabilidad, contenidos nutricionales, proteínas naturales.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población mundial ha incrementado la demanda de proteínas de alta calidad, lo que ha llevado a la búsqueda de fuentes alternativas y sostenibles. La entomofagia, o consumo de insectos, ha sido practicada en diversas culturas y, en los últimos años, ha despertado el interés de la comunidad científica debido a sus beneficios nutricionales y ambientales. La harina de grillo (*Acheta domesticus*) se ha convertido en un ingrediente prometedor debido a su alto contenido de proteínas y grasas saludables, además de su eficiencia en la digestibilidad y su bajo impacto ambiental. El sistema de producción de proteína animal convencional, incluyendo la ganadería y la pesca, enfrenta múltiples desafíos ambientales y económicos. Se estima que la producción de carne bovina es responsable de aproximadamente el 14.5% de las emisio-

Recibido: 28/02/2025

Aceptado: 07/03/2025

Publicado: 10/03/2025

¹ División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

² Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI).

nes globales de gases de efecto invernadero, además del consumo excesivo de agua y la deforestación asociada a la expansión de tierras de pastoreo. En contraste, la producción masiva de insectos requiere significativamente menos recursos y tiene una huella ecológica mucho menor, convirtiéndolos en una opción viable para la seguridad alimentaria. A diferencia de la ganadería tradicional, la cría de grillos requiere menos agua, espacio y alimentos, generando una menor emisión de gases de efecto invernadero. Además, la harina de grillo ha demostrado tener aplicaciones en la producción de pan, tortillas, barras proteicas, bebidas y suplementos nutricionales. La harina de grillo no solo representa una alternativa viable a las fuentes tradicionales de proteína, sino que también se alinea con los principios de la sostenibilidad y la seguridad alimentaria. Su inclusión en la dieta humana y animal puede ser clave para reducir el impacto ambiental de la producción alimentaria y diversificar las fuentes proteicas a nivel mundial.

¿SABES QUÉ SON LOS INSECTOS?

Primero comencemos con los insectos son organismos invertebrados pertenecientes al reino animal, del grupo de los artrópodos. Poseen un esqueleto externo (exoesqueleto) formado por una sustancia llamada quitina, el cual cubre todo su cuerpo, lo que le da dureza y flexibilidad, dicho cuerpo se puede dividir en tres secciones siendo: cabeza, tórax y abdomen. Todos los insectos poseen 3 pares de patas situadas en su tórax y un par de antenas sensoriales que se ubican en su cabeza. Además, algunos insectos poseen otras estructuras anatómicas como son las alas, ubicadas

también en el tórax. Poseen ojos compuestos que se diferencian de los ojos simples, por estar constituidos por numerosas celdas independientes, cada una con un lente individual. Estos tipos de ojos compuestos les permiten, a los insectos, tener una mejor percepción de los movimientos rápidos. Su sistema nervioso se compone de un cerebro, una cuerda nerviosa dorsal y de ganglios (que son acumulaciones de células nerviosas) distribuidos por el cuerpo. Su sistema circulatorio no posee venas ni arterias, por lo tanto, los nutrientes se distribuyen en sus tejidos mediante un fenómeno llamado difusión. Los insectos, tienen además otras estructuras denominadas tráqueas, las cuales salen del exoesqueleto por unas aberturas llamadas espiráculos (situados en el tórax y abdomen). Estos últimos cumplen la función del intercambio gaseoso tal cual hacen los pulmones en organismos superiores. Los insectos están clasificados en muchos grupos. Uno de ellos, es el grupo de los grillos.



Figura 1. Generada con la IA ChatGPT.

EL GRUPO DE LOS GRILLOS

Los grillos son insectos que pertenecen al orden Ortóptera. Tienen un tamaño que varía entre los 3 a los 50 milímetros. Poseen un cuerpo cilíndrico y una cabeza esférica, la cual cuenta con dos largas y delgadas antenas. Detrás de estas antenas podemos encontrar un par grande de ojos compuestos y la frente posee tres ojos simples. Poseen una modificación del tercer segmento de las patas traseras, lo que les permite una mejora en el salto en comparación con otros insectos. En sus patas delanteras presenta uno o más tímpanos, los cuales utiliza para la recepción del sonido. Sus alas se ubican en los costados del tórax y tienen un tamaño que puede variar entre las distintas especies y pueden estar incluso ausentes en algunas. Actualmente se han descritos más de 900 especies de grillos que se han agrupado en distintas subfamilias que integran a muchas especies. Una de las más representativas, que todos conocemos, es el grillo doméstico, el cual, científicamente se conoce como *Acheta domestica*.

EL GRILLO DOMÉSTICO

Esta especie, posee alas y puede llegar a medir 20 mm. Tiene además antenas largas y es de color amarillento con dibujos marrones oscuros. Los grillos tienen preferencia por el calor, por lo que es habitual encontrarlos en cocinas, sótanos con calefacción, panaderías, fábricas de cerveza, etc. En el exterior es posible encontrarlos en vertederos. Durante el día, los grillos se esconden y por la noche salen a buscar comida. Son omnívoros, pero prefieren los alimentos de origen vegetal. Cuando avanzan

rápidamente pueden hacer también saltos cortos. Resulta característico el canto de los machos para atraer a las hembras en la oscuridad. Debido a sus hábitos de alimentación, el grillo doméstico, posee propiedades nutricionales sobresalientes.

PROPIEDADES NUTRICIONALES DEL GRILLO DOMÉSTICO

El alto valor nutricional del grillo doméstico, particularmente su contenido de proteínas y grasas, ha llevado a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) a recomendar su consumo. Los grillos domésticos aportan una cantidad significativa de energía. Cuanto el grillo doméstico es producido masivamente, y convertido en harina, contiene una cantidad significativa de proteínas, grasas y carbohidratos. El esqueleto



Figura 2. El cultivo masivo de grillo. Fuente: Uriel Rodríguez-Estrada, PhD (Archivo personal).

externo de los grillos contiene un compuesto llamado quitina que es difícil de digerir por algunos organismos acuáticos. A pesar de esto, algunas investigaciones indican que los contenidos de quitina, pueden ser disminuidos mediante ciertos procesos industriales como la fermentación. Debido a sus propiedades nutricionales, el grillo doméstico, ha comenzado a ser utilizado como alimento para humanos.

¿LA HARINA DE GRILLO DOMÉSTICO EN NUESTRA MESA?

El grillo doméstico se ha convertido en un tema de suma importancia para garantizar la seguridad alimentaria y se ha propuesto su consumo por sus altos niveles de proteínas y grasas. La harina de grillo ha sido utilizada, principalmente en la dieta para poblaciones en las que el consumo de carnes es limitado. También ha sido utilizada en la industria panadera y la de los suplementos deportivos. La incorporación de harina de grillo, en snacks, puede ser una buena alternativa, ya que aumenta su calidad nutricional.



Figura 3. Harina de grillo doméstico. Fuente: Uriel Rodríguez-Estrada, PhD (Archivo personal).



Figura 4. Procesamiento del grillo para fabricación de harina (deshidratación). Fuente: Uriel Rodríguez-Estrada, PhD (Archivo personal).

¿LA HARINA DE GRILLO PARA ALIMENTAR PECES?

La harina de grillo doméstico, es un potencial sustituto de harinas de pescado y soya, en dietas para la acuicultura debido a su calidad nutricional y sostenibilidad. El empleo de harinas de insectos como fuentes de proteína, como sustituto de harinas proteicas tradicionales en las dietas de acuicultura, ha generado un creciente interés en la investigación científica en todo el mundo (Barroso *et al.*, 2014). A pesar de que diversos estudios han demostrado que las harinas de insectos pueden reemplazar parcial o completamente la harina de pescado o la harina de soya, aún falta información sobre sus efectos de organismos acuáticos de cultivo. Se ha estudiado el efecto de la sustitución de harina de pescado por harina de grillo doméstico en el desarrollo de juveniles de la totoaba, *Totoaba macdonaldi*, y también otros aspectos relacionados con su calidad nutricional (Carvajal-Soriano, 2022). Se ha demostrado que, en dietas para tilapia, la harina de grillo



Figura 5. Sistema experimental para la evaluación de la harina de grillo en peces. Laboratorio de Fisiología de Recursos Acuáticos), DACBIol (División Académica de Ciencias Biológicas), UJAT (Universidad Juárez Autónoma de Tabasco). Fuente: Uriel Rodríguez-Estrada, PhD (Archivo personal).

puede ser utilizada como fuente principal de proteína, sin comprometer el crecimiento de la especie (Lee *et al.*, 2017) y que su inclusión en dietas para guppy (*Poecilia reticulata*), no afecta negativamente su pigmentación ni comportamiento reproductivo (Champika-Perera y Bhujel, 2022).

CONCLUSIONES

Los insectos, se posicionan como una alternativa prometedora para la acuicultura, ya que sus harinas poseen grandes propiedades nutritivas. El grillo doméstico posee una estructura anatómica y fisiológica le permite, adaptarse a

diversos entornos, por lo tanto su producción en condiciones controladas e intensivas es posible. La importancia del grillo doméstico, ha tomado fuerza dentro de la industria alimentaria, tanto para el consumo humano como para el consumo animal (acuicultura). La harina de grillo destaca por su alto contenido en proteínas, grasas beneficiosas, vitaminas y minerales, convirtiéndose en un elemento clave en el desarrollo de productos enriquecidos nutricionalmente. Su inclusión en dietas acuícolas y humanas no sólo mejora la calidad de la alimentación, sino que también contribuye a la sostenibilidad debido a que disminuye el uso de recursos naturales y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Sin embargo, aún es necesario profundizar más en su impacto en la salud y el crecimiento de una gran variedad de organismos acuáticos. El uso de la harina de grillo, como fuente proteica representa un papel importante en la seguridad alimentaria y la reducción de la presión hacia los ecosistemas marinos y terrestres.

El presente trabajo, forma parte de la materia «Método Científico» 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 Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación).

LITERATURA RELEVANTE

Álvarez, P. J. Mateo, J., y Giráldez, J. (2020). Harina de grillo *Acheta domesticus*: composición lipídica y posibilidades sobre su modificación por medio de la dieta. *Bistua*

- (Revista de la Facultad de Ciencias Básicas), 18(2), 38-43. Pamplona, Colombia.
- Barroso, F. G., De Haro, C., Sánchez-Muros, M. J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., y Pérez-Bañón, C. (2014). The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*, 422-423, 193-201. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.12.024>
- Carvajal-Soriano, K. E. (2022). *Efecto de la sustitución de harina de pescado por harina de insecto (Hermetia illucens y Acheta domesticus) en el desempeño biológico, digestibilidad, actividad enzimática y perfil de ácidos grasos de juveniles de Totoaba macdonaldi* [tesis de maestría en Ciencias. CICESE (Maestría en Ciencias en Acuicultura)]. Ensenada, Baja California Sur México.
- Champika-Perera, G. S. y Bhujel, R. C. (2022). Replacement of fishmeal by house cricket (*Acheta domesticus*) and field cricket (*Gryllus bimaculatus*) meals: effect for growth, pigmentation, and breeding performances of guppy (*Poecilia reticulata*). *Aquaculture reports*, 25, 101260. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101260>
- Jiménez-Díaz, S. J. (2023). *Efecto de la adición de Acheta domesticus sobre las propiedades funcionales de reestructurados de Albula vulpes* [tesis de pregrado, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos]. Chiapas, México.
- Lee, S. W., Tey, H. C., Wendy, W., y Zahari, M. W. (2017). The effect of house cricket (*Acheta domesticus*) meal on growth performance of red hybrid tilapia (*Oreochromis sp.*). *International Journal of Aquatic Science*, 8(2), 78-82. http://www.journal-aquaticscience.com/article_70730_8a54b492509a1a1602b-71000bc68f8ff.pdf

Transformando el campus: hacia una gestión sostenible de residuos en el Centro Universitario de la Costa

Caterina Pregazzi y Jorge Ignacio Chavoya Gama

RESUMEN: Este artículo presenta los resultados de un diagnóstico integral sobre la gestión de residuos sólidos en el Centro Universitario de la Costa (CUC). Utilizando un enfoque mixto, se analizaron tanto datos cualitativos como cuantitativos para evaluar el nivel de conocimiento, sensibilización ambiental y patrones de generación de residuos en la comunidad universitaria. Los hallazgos revelan una conciencia ambiental limitada, procesos operativos ineficientes y una falta de separación de residuos en el origen. A pesar de ello, se identificaron oportunidades para implementar estrategias educativas y operativas (con base) basadas en principios de sostenibilidad y economía circular. Este diagnóstico busca sentar las bases para un modelo de gestión sostenible adaptado al contexto universitario.

Palabras clave: gestión de residuos, sostenibilidad universitaria, economía circular, conciencia ambiental, reciclaje y separación

EL DESAFÍO DE LOS RESIDUOS EN EL CUC: UN ENFOQUE INTEGRAL PARA LA SOSTENIBILIDAD

El manejo adecuado de los residuos sólidos es un componente esencial para el desarrollo sostenible en los entornos universitarios, ya que estos espacios albergan a una población diversa y activa que genera grandes cantidades de desechos diariamente. En el Centro Universitario de la Costa (CUC), se ha identificado que las acciones relacionadas con la gestión de residuos se llevan a cabo de manera fragmentada, lo que ha resultado en un manejo poco eficiente y una conciencia ambiental limitada entre los miembros de la comunidad universitaria.

Para abordar estos desafíos, se realizó un diagnóstico integral que combinó enfoques cualitativos y cuantitativos con el objetivo de entender mejor el nivel actual de conoci-

Recibido: 25/02/2025

Aceptado: 13/03/2025

Publicado: 18/03/2025

Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara.

miento, la sensibilización ambiental y los patrones de generación de residuos sólidos en el campus. Esta investigación buscó, además, proporcionar datos concretos que permitan desarrollar estrategias más efectivas para la gestión de residuos, alineadas con principios de sostenibilidad y economía circular.

ECONOMÍA CIRCULAR Y SOSTENIBILIDAD: CLAVES PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS EN LA UNIVERSIDAD

La gestión adecuada de residuos sólidos es un componente esencial para la sostenibilidad ambiental, particularmente en entornos universitarios, donde la generación de residuos es elevada debido a la gran cantidad de personas que interactúan en estos espacios diariamente. En este contexto, la gestión de residuos no solo implica la disposición adecuada, sino también la promoción de prácticas como la reducción, reutilización y reciclaje, elementos fundamentales dentro de la economía circular. La economía circular propone un modelo en el que los residuos se minimizan y los productos y materiales se mantienen en uso el mayor tiempo posible, favoreciendo la reducción de desechos y la regeneración de los sistemas naturales.

Uno de los principales retos que enfrentan las universidades en la gestión de residuos es la falta de sensibilización y educación ambiental dentro de sus comunidades. A pesar de que el concepto de sostenibilidad es ampliamente reconocido, los esfuerzos por integrar estas prácticas en las actividades cotidianas de los miembros de la comunidad universitaria a menudo son limitados, lo que dificulta la implementación efectiva de sistemas de gestión

de residuos sólidos. Además, las universidades frecuentemente presentan sistemas operativos ineficientes para la recolección y clasificación de los residuos en origen, lo que impide que los desechos sean gestionados de manera adecuada y eficiente.

La implementación de programas educativos y de sensibilización sobre el manejo de residuos es una herramienta poderosa para mejorar los hábitos de los estudiantes, docentes y personal administrativo. Diversos estudios sugieren que la educación ambiental tiene un impacto directo en la forma en que las personas perciben y gestionan sus residuos. Las iniciativas que combinan enfoques educativos y participativos han mostrado ser más efectivas en la creación de una cultura de sostenibilidad dentro de las universidades. Además, las actividades prácticas, como el análisis y la clasificación de los residuos generados en el día a día, permiten que los estudiantes se involu-



Figura 1. Generada con la IA ChatGPT.

cren de manera activa en el proceso y desarrollen una mayor conciencia ambiental.

En cuanto a la gestión operativa, la clasificación de residuos en origen es un desafío fundamental. La falta de infraestructura adecuada y procesos estandarizados para la separación de residuos en las instituciones educativas contribuye a que muchos materiales reciclables sean desechados de manera inadecuada, aumentando la cantidad de residuos que terminan en vertederos. La mejora en los procesos de recolección, clasificación y reciclaje es crucial para reducir la huella ecológica de las universidades y optimizar el uso de los recursos.

La gestión de residuos en los entornos universitarios es un tema complejo que requiere de un enfoque multidisciplinario que integre educación ambiental, infraestructura adecuada y la implementación de principios de economía circular. Solo a través de un enfoque integral será posible mejorar la sostenibilidad y reducir el impacto ambiental en estos contextos.

El presente estudio adoptó un enfoque mixto, combinando metodologías cualitativas y cuantitativas para abordar de manera integral la problemática de la gestión de residuos en el Centro Universitario de la Costa (CUC). Este enfoque permitió no solo analizar datos concretos y mensurables, sino también comprender las percepciones, actitudes y dinámicas sociales que influyen en la generación y manejo de los residuos dentro de la comunidad universitaria. La complementariedad de ambos enfoques proporcionó una visión holística y fundamentada para identificar retos y oportunidades de mejora.

Desde el enfoque cualitativo, la investigación se estructuró en tres líneas principales.

En primer lugar, se exploró el nivel de conocimiento y sensibilización ambiental de la comunidad universitaria mediante la aplicación de encuestas semidirectivas a personal mixto, compuesto por estudiantes, profesores y personal administrativo. Las preguntas, diseñadas en formato abierto y cerrado, permitieron no solo cuantificar respuestas, sino también capturar matices en el entendimiento y las actitudes hacia la gestión de residuos. Este ejercicio fue clave para evaluar la conciencia ambiental y detectar posibles barreras culturales o educativas.

En segundo lugar, se llevó a cabo un análisis detallado del perfil del usuario como generador de residuos. Este análisis se centró en comprender los hábitos de consumo y las prácticas de desecho predominantes dentro del campus, aportando información valiosa sobre los comportamientos individuales y colectivos que contribuyen a la generación de residuos. Finalmente, se realizó un diagnóstico de la operación actual del manejo de residuos en el CUC, mediante el análisis de información oficial proporcionada por la rectoría y el personal de mantenimiento. Este proceso permitió identificar áreas clave de ineficiencia, tales como la falta de clasificación en origen, procesos inadecuados de recolección o insuficientes mecanismos de aprovechamiento de residuos.

Desde el enfoque cuantitativo, se complementó el estudio cualitativo mediante la recopilación y análisis de datos objetivos. Por un lado, se documentó la población universitaria total del CUC, incluyendo estudiantes, personal académico y administrativo, como referencia para calcular la proporción de residuos generados por persona. Por otro lado, se recolectó información mensual a lo largo del año 2023

sobre la clasificación y el volumen de residuos sólidos generados en el campus, basándose en registros oficiales de la institución. Los datos se organizaron en cuatro categorías principales: residuos orgánicos aprovechables, orgánicos no aprovechables, inorgánicos aprovechables e inorgánicos no aprovechables.

Este proceso de categorización permitió identificar patrones clave en la generación de residuos, así como evaluar las capacidades del sistema actual para el manejo adecuado de cada tipo de residuo. Al integrar los hallazgos cualitativos y cuantitativos, el estudio no solo proporciona una descripción detallada del estado actual de la gestión de residuos en el campus, sino también una base sólida para diseñar estrategias dirigidas a mejorar la sostenibilidad y reducir el impacto ambiental de la institución.

NIVEL DE CONOCIMIENTO Y SENSIBILIZACIÓN AMBIENTAL DE LA COMUNIDAD UNIVERSITARIA

Se aplicó una encuesta a 232 alumnos de diversas carreras para evaluar la conciencia y las prácticas en torno a la gestión de residuos sólidos en el campus. Los resultados revelan patrones de comportamiento, barreras y oportunidades para la implementación de estrategias de reducción y reciclaje.

El 52% de los encuestados separa sus residuos siempre o casi siempre, el 30% lo hace ocasionalmente y el 18% nunca. Entre quienes no separan regularmente, las principales razones son la falta de infraestructura adecuada (40%) y el desconocimiento sobre cómo hacerlo correctamente (35%). Sin embargo, a pesar de los esfuerzos individuales por se-

parar los residuos, estos suelen ser mezclados nuevamente y recogidos en conjunto, como se presentará más adelante en el diagnóstico. Aunque el 85% de los participantes se considera consciente de la cantidad de desechos que genera, el 60% sigue utilizando productos de un solo uso. Las razones principales son la falta de alternativas reutilizables (40%), la comodidad (35%) y la falta de información sobre opciones más sostenibles (25%). En cuanto a las principales barreras para adoptar prácticas ecológicas, el 45% indicó la falta de tiempo, el 35% mencionó el olvido de llevar productos reutilizables y un 20% destacó la ausencia de incentivos. A pesar de estas dificultades, el 94% considera importante implementar medidas de reducción de residuos y el 92% estaría dispuesto a modificar sus hábitos si existiera infraestructura adecuada y estímulos para promover cambios de comportamiento. Además, el 78% de los encuestados cree que la univer-



Figura 2. Generada con la IA ChatGPT.

sidad debería prohibir los plásticos de un solo uso dentro del campus, mientras que un 15% considera que deberían reducirse progresivamente con campañas de concienciación y alternativas accesibles. En las respuestas abiertas, los encuestados expresaron preocupaciones y propuestas específicas. Ante la pregunta sobre qué medidas debería tomar la universidad para mejorar la gestión de residuos, las respuestas más recurrentes incluyeron la instalación de más estaciones de reciclaje bien señalizadas, la implementación de campañas educativas permanentes y la prohibición efectiva de plásticos de un solo uso dentro del campus. Sobre los motivos que dificultan la adopción de hábitos sostenibles, varios alumnos señalaron que, aunque intentan separar los residuos, estos son mezclados en la recolección, lo que desincentiva sus esfuerzos. También se mencionó la falta de opciones accesibles de productos reutilizables dentro de la universidad y la ausencia de incentivos para fomentar cambios de comportamiento. Por último, en relación con las acciones individuales para reducir la generación de residuos, los encuestados destacaron el uso de botellas y envases reutilizables, la disminución en el consumo de productos empaquetados y la preferencia por materiales biodegradables cuando es posible.

Con base en la información recopilada, se observa que el nivel de conocimiento y sensibilización ambiental de la comunidad universitaria es limitado. Aunque existe una conciencia general sobre el retraso en cuanto a la adopción de prácticas ecológicas, no se observa una inquietud significativa ni una motivación clara para implementar cambios sustanciales en este ámbito. En particular, los estudiantes no identifican el campus como un contexto eco-

lógico, y la falta de activismo en este sentido es evidente. A pesar de que algunos individuos muestran una actitud receptiva hacia el tema, la comunidad en general no ha desarrollado un enfoque proactivo hacia la sostenibilidad, lo que refleja una brecha importante en términos de compromiso ambiental dentro de la institución. Si bien un porcentaje de la población está consciente de la necesidad de reciclar, muchos desconocen el impacto de una gestión inadecuada de los residuos o no conocen las prácticas correctas para la separación y disposición de los mismos. Este hallazgo resalta la necesidad urgente de desarrollar programas educativos y de sensibilización para aumentar la participación activa en la gestión de residuos.

EVALUACIÓN DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y HáBITOS ALIMENTICIOS: UNA HERRAMIENTA EDUCATIVA TRANSFORMADORA

Durante el primer semestre de 2024, en el marco del curso de Ecología Urbana, los estudiantes participaron en una actividad diseñada para medir la producción y clasificación de residuos sólidos generados en su vida cotidiana. Este ejercicio no solo permitió explorar el impacto ambiental de sus hábitos, sino que también brindó un espacio para reflexionar sobre sus patrones de consumo alimenticio y su conexión con la sostenibilidad.

La tarea asignada consistía en que cada estudiante recopilara, clasificara y analizara los residuos que generaba durante un día, una semana y un mes. A partir de este análisis, se clasificaron los residuos en cuatro categorías: orgánico reciclable, orgánico no reciclable, inorgánico reciclable e inorgánico no recicla-

ble. Además, debían calcular las proporciones relativas de cada tipo de residuo y reflexionar sobre las implicaciones de sus hallazgos.

Aunque los datos cuantitativos derivados de esta actividad no contribuyen directamente a los objetivos más amplios de la investigación que busca realizar un diagnóstico integral sobre la generación de residuos sólidos en el campus para proponer un modelo de gestión sostenible, resultaron invaluable para fines educativos y personales. La variabilidad en los resultados, así como la presencia de casos extremos, limitó su utilidad en términos estadísticos, pero permitió generar un impacto profundo a nivel individual y reflexivo entre los participantes.

Desde una perspectiva educativa, esta actividad fue reveladora para la mayoría de los estudiantes. Antes de llevarla a cabo, muchos admitieron no tener conciencia del volumen de residuos que generaban ni del tipo de consumo que realizaban. El ejercicio, que implicaba conservar y clasificar los residuos generados, representó un desafío inicial debido al cambio de hábitos que requería. Sin embargo, con el tiempo, se convirtió en una herramienta poderosa para fomentar la introspección.

Uno de los aspectos más notables fue el vínculo evidente entre los hábitos alimenticios y la cantidad y tipo de residuos producidos. Aquellos estudiantes con dietas más balanceadas, basadas en alimentos frescos y mínimamente procesados, generaron una menor cantidad de residuos no reciclables. Por el contrario, quienes dependían en gran medida de alimentos procesados y empaquetados, a menudo debido a falta de tiempo o desorganización, reportaron una mayor producción de residuos inorgánicos no reciclables. Este

hallazgo no solo resaltó las diferencias en los patrones de consumo, sino que también permitió a los estudiantes identificar áreas de mejora tanto en términos de sostenibilidad como de salud personal.

Más allá de los números, el ejercicio llevó a una toma de conciencia generalizada. Muchos participantes comenzaron a replantearse sus hábitos de compra y consumo, reflexionando sobre la cantidad de alimentos que necesitaban semanalmente y sobre el impacto de sus elecciones en el medio ambiente. Esta autorreflexión no se limitó a la generación de residuos, sino que también abarcó cuestiones de salud y bienestar (Figura 3).

Algunos estudiantes compartieron que la actividad les hizo considerar cambios en su dieta, como priorizar alimentos más naturales y reducir el consumo de productos empaquetados, tanto por razones ambientales como por beneficios para su salud.

A pesar de las dificultades iniciales, la experiencia tuvo un impacto positivo y duradero. El ejercicio fue un catalizador para un



Figura 3. Despensa semanal de una estudiante del cuc, como parte del ejercicio sobre el consumo y la generación de residuos.

cambio de mentalidad, ayudando a los estudiantes a comprender mejor las consecuencias de sus hábitos diarios. Además, esta actividad demostró el poder de las estrategias educativas basadas en la práctica y la reflexión, destacando la importancia de conectar los temas ambientales con aspectos cotidianos como la alimentación.

En términos de investigación, aunque los resultados cuantitativos de este ejercicio no son fundamentales para los objetivos generales del estudio, sí contribuyeron indirectamente a enriquecer el análisis cualitativo y a generar un marco más amplio de reflexión. La investigación principal, centrada en un diagnóstico integral de los residuos sólidos generados en el campus, se apoya en este tipo de actividades para promover una mayor implicación y sensibilidad por parte de la comunidad universitaria, sentando las bases para el diseño de soluciones sostenibles adaptadas al contexto local.

En conclusión, esta actividad sirvió no solo como una herramienta educativa, sino también como un medio para empoderar a los estudiantes en la toma de decisiones más informadas y responsables. La experiencia dejó claro que la sostenibilidad no es un concepto abstracto, sino un esfuerzo cotidiano que comienza con pequeños cambios en nuestros hábitos. En este sentido, el impacto educativo de la actividad trasciende sus limitaciones cuantitativas, reafirmando el papel clave de la educación ambiental en la construcción de una ciudadanía más consciente y comprometida con el cuidado del planeta.

LA OPERACIÓN ACTUAL DEL MANEJO DE RESIDUOS EN EL CUC

El sistema de gestión de residuos en el CUC presenta varias ineficiencias operativas. Aunque el personal operativo realiza tres recolecciones diarias en los puntos de generación (aulas, sanitarios, cafeterías, áreas comunes y verdes), no existe un proceso estandarizado para la separación de residuos en estos puntos. Además, los residuos generados son mezclados, lo que impide su reciclaje y reutilización efectiva.

Diariamente, un camión de volteo transporta los residuos hasta el vertedero del Colorado, con un recorrido de aproximadamente 35 km, lo que genera un gasto aproximado de 1,000 pesos por día. Este servicio no forma parte de la recolección municipal, lo que aumenta los costos operativos para el CUC. A pesar de la frecuencia de la recolección, los residuos no se separan, lo que implica que no se realiza ningún tipo de reciclaje en el proceso.

Sin embargo, se destaca que una parte de los residuos orgánicos, específicamente los restos de poda son reciclados por el personal del vivero mediante compostaje, aunque no se cuenta con datos específicos sobre las cantidades recicladas. Este proceso de compostaje ayuda a reducir el volumen de residuos, pero no es suficiente para manejar la totalidad de los residuos orgánicos generados en el campus.

NÚMEROS QUE HABLAN: UN ESTUDIO SOBRE LA GESTIÓN DE RESIDUOS EN EL CUC

La población total del CUC, que incluye a estudiantes, personal docente y administrativo, es de aproximadamente 10,000 personas.

Tabla 1.

Categoría	Cantidad
Personal Académico	498
Personal Directivo	87
Personal Administrativos	120
Personal Operativo	63
Personal total	768

Tabla 2.

	Cantidad
Alumnos activos en licenciatura y posgrados	7,077

Los datos de la población del cuc, presentados en la investigación, no reflejan el número real de usuarios que asisten al campus en diferentes turnos y horarios. Además, no existen datos disponibles sobre las visitas, lo que hace que la población registrada no sea representativa de la cantidad de personas que efectivamente utilizan las instalaciones. Debido a esta limitación, se optó por centrar el análisis en las cantidades de residuos generados y su

clasificación, ya que estos datos son más consistentes y reflejan de manera más precisa la actividad real del campus.

HUELLA ECOLÓGICA EN EL CAMPUS: CLASIFICACIÓN Y VOLUMEN DE RESIDUOS GENERADOS

A través de los datos recolectados durante 2023, se obtuvieron los siguientes volúmenes de residuos generados por tipo (Tabla 3):

Estos datos evidencian una alta producción de residuos orgánicos, especialmente restos alimenticios y residuos de jardinería, lo que destaca la necesidad de mejorar la infraestructura para la separación en origen y el manejo de estos materiales. Además, los residuos reciclables como el vidrio, plástico, papel y cartón presentan volúmenes relativamente bajos, lo que señala una oportunidad significativa para optimizar la recolección y el reciclaje en el campus (Tabla 4).

Tabla 3.

	Vidrio (Kg)	Plástico (kg)	Papel (Kg)	Cartón (Kg)	Aluminio (Kg)	Sanitarios (Kg)	Restos alimenticios (Kg)	Jardinería (Kg)
Septiembre de 2023	4,410.00	2,307.53		411.60	17.00	3,885.65	6,709.47	22,993.89
Octubre de 2023	2,205.00	1,125.58	89.00	407.93	15.00	3,480.08	2,661.11	20,923.35
Noviembre de 2023	477.75	1,175.27	3,009.90	5257.28	0.00	15.00	21,829.50	29,226.11
Diciembre de 2023	0.00	668.85	392.49	36.75	0.00	50.00	8,930.25	18,064.71
Totales	6,615.00	5,277.23	3,491.39	1,113.53	32.00	7,430.73	40,130.33	91,208.06

Tabla 4.

Categoría		%
Inorgánico	Aprovechable	10.6
	No aprovechable	4.8
Orgánico	Aprovechable	55.2
	No aprovechable	29.4
Total		100

EL CAMINO POR RECORRER: IMPLICACIONES Y RETOS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

El estudio revela importantes desafíos en la gestión de residuos en el CUC. La falta de un sistema integral y la insuficiencia en la comunicación y educación ambiental han contribuido a perpetuar prácticas poco sostenibles. Los datos cuantitativos confirman que, aunque se generan grandes cantidades de residuos aprovechables, la infraestructura y los procesos actuales no permiten maximizar su uso.

La investigación cualitativa subraya la necesidad de estrategias educativas que aumenten la conciencia ambiental y fomenten una participación más activa de la comunidad universitaria. La implementación de programas de sensibilización, combinados con mejoras en la infraestructura de manejo de residuos, podría transformar el campus en un entorno más ecológico y eficiente

CONCLUSIONES

El diagnóstico realizado en el Centro Universitario de la Costa muestra que es urgente desarrollar un enfoque integrado y coordinado para el manejo de residuos sólidos. La educación ambiental y la mejora de la infraestructura son

esenciales para cerrar la brecha entre la generación de residuos y su gestión adecuada. Las recomendaciones futuras incluyen la creación de un sistema de reciclaje más eficiente y el fomento de una cultura de sostenibilidad a través de iniciativas educativas y participativas.

Es fundamental que los jóvenes universitarios asuman el rol de verdaderos agentes de cambio en la sociedad, promoviendo y liderando la transición hacia un paradigma más sostenible. La sostenibilidad debe ser vista no solo como un compromiso ético, sino también como un valor esencial y transversal que guíe todas las áreas del conocimiento y la práctica académica. Al adoptar este cambio de mentalidad, los estudiantes pueden impulsar un movimiento donde la sostenibilidad no sea simplemente un tema de interés, sino una moda positiva que inspire comportamientos y decisiones responsables. Solo con una integración profunda de estos principios en su formación académica y personal, los jóvenes podrán marcar la diferencia en la creación de un futuro más equilibrado y regenerativo.

LITERATURA RELEVANTE

Aka, N., Dembélé, M. E., y Soro, P. (2020). The role of environmental education in promoting sustainable waste management practices. *Environmental Education Research*, 26(1), 123-140. Reino Unido.

García, M. y Morales, G. (2020). Sustainable waste management in universities: Strategies for improvement. *Journal of Environmental Management*, 254, 109762. Reino Unido.

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., y Hultink, E. J. (2017). The circular eco-

- onomy - A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768. Países Bajos.
- González, M., Pérez, E., y Sánchez, A. (2021). Sustainable waste management practices in universities: A systematic review. *Sustainability*, 13(3), 1224. Suiza.
- Hernández, S., Rodríguez, M., y Martínez, A. (2019). Environmental awareness and sustainable practices in higher education. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 20(5), 899-913. Reino Unido.
- Tavares, A., Pires, A., y Silveira, A. (2020). A review of higher education institutions' role in promoting sustainability and waste reduction. *Sustainability*, 12(1), 37-56. Suiza.
- Vargas, L., García, P., y Fernández, R. (2019). Environmental education as a driver for sustainable waste management practices in universities. *Journal of Environmental Education*, 50(2), 121-132. Reino Unido.

Nanopartículas, el enemigo invisible

José Luis García-Cruz¹, Gabriel Núñez-Nogueira², Francisco López-Villarreal¹,
Nadxieli Guadalupe Chevez-Cruz¹, Leticia López-Valdivieso¹,
Graciela María Pérez-Jimenez³, Carlos Alfonso Álvarez-González³,
Rafael Martínez-García³, Omar Mendoza-Porras⁴ y
César Antonio Sepúlveda-Quiroz^{1,3}

RESUMEN: En los últimos años, el avance de la nanotecnología ha permitido la creación de nanopartículas, que son partículas extremadamente pequeñas, con tamaños que van desde 1 hasta 100 nanómetros (un nanómetro es la millonésima parte de un milímetro). Estas nanopartículas se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde la medicina hasta la industria alimentaria y la electrónica. Sin embargo, su uso masivo ha llevado a que, después de su vida útil, muchas de estas partículas terminen en los ecosistemas, especialmente en los acuáticos, donde pueden interactuar con los organismos que viven allí. Estudios recientes han demostrado que las nanopartículas pueden causar daños significativos en los organismos

acuáticos, especialmente en los peces. Estos daños incluyen afectaciones en órganos como el hígado, los riñones y las branquias, así como alteraciones a nivel celular, como daños en las mitocondrias (las «centrales energéticas» de las células) y en el ADN. Además, las nanopartículas pueden generar sustancias tóxicas que interfieren con la producción de proteínas y la actividad de las enzimas, lo que puede llevar a problemas de salud graves en los organismos expuestos. Por estas razones, es crucial entender mejor cómo funcionan las nanopartículas, cuáles son sus efectos adversos y cómo podemos manejarlas de manera responsable para evitar que se conviertan en un problema para la salud pública y el medio ambiente.

¹ Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Villahermosa.

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

³ Laboratorio de Fisiología en Recursos Acuáticos, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

⁴ CSIRO Livestock and Aquaculture, Queensland Bioscience Precinct.

Recibido: 05/01/2024

Aceptado: 18/03/2025

Publicado: 19/03/2025

INTRODUCCIÓN

La nanotecnología es una de las áreas de la ciencia que más ha crecido en las últimas décadas. Esta tecnología se enfoca en la manipulación de materiales a una escala extremadamente pequeña, conocida como escala nanométrica. Para darnos una idea de lo pequeño que es un nanómetro, imaginemos que un cabello humano tiene un grosor de aproximadamente 80,000 nanómetros. Las nanopartículas, que son el producto más común de la nanotecnología, tienen un tamaño que va desde 1 hasta 100 nanómetros, lo que las hace invisibles al ojo humano.

Estas partículas tienen propiedades únicas debido a su pequeño tamaño. Por ejemplo, pueden tener una mayor superficie en relación con su volumen, lo que las hace más reactivas y les permite interactuar de manera diferente con su entorno. Esto las hace útiles en una amplia variedad de aplicaciones, desde la medicina hasta la industria alimentaria y la electrónica.

Sin embargo, el uso masivo de nanopartículas ha llevado a que, después de su vida

útil, muchas de estas partículas terminen en el medio ambiente, especialmente en los ecosistemas acuáticos. Una vez allí, pueden interactuar con los organismos que viven en el agua, causando daños que van desde alteraciones celulares hasta problemas en órganos completos.

TIPOS DE NANOPARTÍCULAS

Las nanopartículas se pueden clasificar en tres grandes grupos, dependiendo de su composición:

Nanopartículas orgánicas

Estas están hechas de materiales basados en carbono, como carbohidratos, proteínas o lípidos. Son biodegradables, lo que significa que se descomponen naturalmente en el medio ambiente, y son compatibles con los seres vivos. Sin embargo, su producción es compleja y tienen limitaciones en cuanto a su resistencia al calor y a ciertos químicos.

Nanopartículas inorgánicas

Estas están hechas de metales como el oro, la plata, el óxido de titanio o el óxido de zinc. Tienen propiedades magnéticas, ópticas y eléctricas únicas, lo que las hace muy útiles en aplicaciones industriales. Sin embargo, pueden ser tóxicas para el medio ambiente y los organismos vivos, especialmente cuando se acumulan en los ecosistemas.

Nanopartículas basadas en carbono

Estas están compuestas de materiales como el grafeno o los fullerenos. Tienen excelentes propiedades mecánicas y térmicas, lo que las hace ideales para aplicaciones en la industria. Sin embargo, son muy costosas de producir y

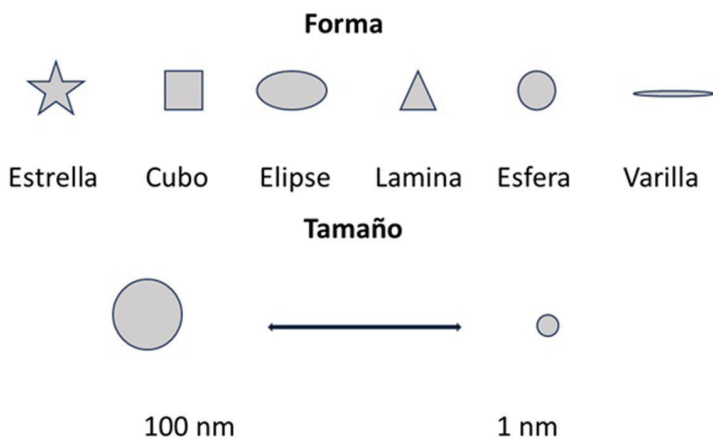


Figura 1. Características y aplicación de las Nanopartículas

también pueden ser tóxicas para los ecosistemas.

A continuación, se muestra la Tabla 1 con las principales ventajas y desventajas de algunas nanopartículas metálicas comunes.

USOS DE LAS NANOPARTÍCULAS

Las nanopartículas tienen una amplia variedad de aplicaciones en diferentes campos. En la medicina, por ejemplo, se utilizan para administrar fármacos de manera más eficiente, especialmente en tratamientos contra el cáncer. También se usan en la creación de imágenes médicas, como las resonancias magnéticas, y en la protección contra la radiación ultravioleta.

En la industria electrónica, las nanopartículas son clave en la fabricación de microprocesadores y otros componentes computacionales.

Su pequeño tamaño permite crear dispositivos más pequeños y potentes. En la industria alimentaria, se utilizan como conservantes en alimentos procesados y como aditivos nutricionales. Sin embargo, el uso masivo de estas partículas ha llevado a que, después de su vida útil, muchas de ellas terminen en los ecosistemas, especialmente en los acuáticos. Una vez allí, pueden interactuar con los organismos que viven en el agua, causando daños que van desde alteraciones celulares hasta problemas en órganos completos.

EFFECTOS TÓXICOS EN ORGANISMOS ACUÁTICOS

Las nanopartículas metálicas, que son las más comunes, pueden causar daños significativos en los organismos acuáticos, especialmente en los peces (Tabla 2). Estos daños incluyen in-

Tabla 1. Ventajas y desventajas de nanopartícula según su tipo

Orgánicas	Inorgánicas	Base en carbón
Ventajas		
Biocompatibilidad y biodegradabilidad. Flexibilidad de diseño. Modificación de superficie. Funcionalidad. Liberación controlada.	Propiedades magnéticas, eléctricas y ópticas únicas. Variabilidad en tamaño, estructura y geometría. Propiedades mecánicas superiores. Actividad catalítica.	Excepcionales propiedades mecánicas. Conductividad térmica. Estabilidad química. Superficie de funcionalidad. Biocompatibilidad y remediación biológica.
Desventajas		
Complejidad en su producción. Límites en su resistencia térmica y química. Preocupaciones regulatorias y de seguridad.	Problemas de aglomeración y estabilidad. Complejidad de producción y alto costo. Preocupaciones ambientales Problemas de toxicidad.	Problemas de toxicidad. Desafíos de agregación y dispersión. Producción compleja y altamente costosa.

flamación, estrés oxidativo (un desequilibrio en las células que puede dañar el ADN) y problemas en órganos como el hígado, los riñones y las branquias. Por ejemplo, se ha observado que las nanopartículas de plata y óxido de zinc pueden causar daños en el hígado y los riñones de los peces, mientras que las de dióxido de titanio pueden afectar el sistema nervioso. Estos efectos son especialmente preocupantes en especies como la tilapia, que es un pez muy consumido por los seres humanos. Además, las

nanopartículas pueden acumularse en los tejidos de los peces, lo que puede afectar su crecimiento, reproducción y comportamiento. Por ejemplo, se ha observado que la exposición a nanopartículas puede causar deformaciones en los peces durante su desarrollo embrionario, así como problemas en su capacidad para nadar y alimentarse. A continuación, se enlistan una serie de daños generados en distintos organismos a raíz de su interacción con las NPM.

Tabla 2. Afectaciones de las NPM en distintos organismos acuáticos

No.	Nanopartícula	Organismo	Efecto toxicológico
1	Arsénico (As)	Rohu (<i>Labeo rohita</i>)	Daño en hígado, branquias, riñones.
2	Dioxido de titanio (TiO ₂)	Bacteria (<i>Bacillus thuringiensis</i>)	Viabilidad, generación de ROS, alteración enzimática, absorción y aumento de cobre.
		Larvas de pez cebra (<i>Danio rerio</i>)	Mortalidad, malformaciones, decremento en la locomoción, alteración en la alimentación.
		Dafnia (<i>Daphnia magna</i> , <i>Tegillarca granosa</i>)	Bioacumulación y estrés acumulativo.
		Tilapia (<i>Oreochromis mossambicus</i>)	Genotoxicidad.
3	Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Estrés oxidativo, estrés proteínico y parámetros de toxicidad.
4	Óxido de zinc (ZnO)	Microalga (<i>Tetraselmis suecica</i>)	Toxicidad y reducción en el crecimiento.
5	Plata (Ag)	Comunidad microbiana	Disturbios enzimáticos.
6	Óxido de zinc (ZnO)	Tilapia (<i>Oreochromatis niloticus</i>)	Afectación en hígado y riñones.
7	Óxido de titanio (TiO)	Sábalo (<i>Prochilodus lineatus</i>)	Acumulación en hígado, músculos y cerebro.
8	Dioxido de titanio (TiO ₂)	Almeja (<i>Tegillarca granosa</i>)	Daños en el sistema nervioso.
9	Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	Tilapia (<i>Oreochromis mossambicus</i>)	Acumulación en hígado y daño en tejidos.

MECANISMOS DE TOXICIDAD

Las nanopartículas pueden entrar en los organismos a través de la inhalación, la ingestión o el contacto con la piel. Una vez dentro, pueden causar daños a través de varios mecanismos:

Inflamación

La inflamación es una respuesta natural del organismo para defenderse de agentes dañinos, como bacterias, virus o sustancias tóxicas. Es como un «sistema de alarma» que activa el sistema inmunológico para proteger el organismo. Cuando el cuerpo detecta una amenaza, como las nanopartículas metálicas (NPM), produce unas moléculas llamadas **citocinas**, que actúan como mensajeras para alertar al sistema inmunológico y movilizar las defensas. Sin embargo, cuando los niveles de citocinas son demasiado altos, esto puede ser señal de toxicidad. En respuesta, el cuerpo envía **leucocitos**, que son células del sistema inmunológico encargadas de eliminar sustancias extrañas o dañinas. Estas células producen sustancias como **especies reactivas de oxígeno (ROS)**, enzimas y otros compuestos químicos que ayudan a combatir la amenaza, pero que también pueden causar

daños colaterales en los tejidos. Este proceso da lugar a la inflamación, que, aunque es una parte importante del mecanismo de defensa y curación del cuerpo, puede volverse perjudicial si es excesiva o prolongada. En el caso de los peces expuestos a NPM, la inflamación puede dañar tejidos y órganos, afectando su salud y supervivencia.

Genotoxicidad

Las nanopartículas metálicas (NPM) pueden dañar el ADN de los peces. El ADN es como el «manual de instrucciones» de las células, ya que controla cómo funcionan y cómo se desarrollan los organismos. Este daño puede ocurrir de dos maneras principales: primero, las nanopartículas pueden unirse directamente al ADN, alterando su estructura. Segundo, pueden generar estrés oxidativo (un desequilibrio en las células que produce sustancias dañinas) o causar inflamación, lo que también afecta al ADN. Estos daños pueden manifestarse de varias formas: desde roturas en las cadenas de ADN hasta la pérdida de fragmentos de material genético (lo que se conoce como **deleciones**). También pueden provocar errores en la división celular, lo que lleva a que las células no se dividan correctamente. Estos cambios en el ADN pueden afectar gravemente la salud de los peces, alterando su crecimiento, desarrollo y capacidad para reproducirse.

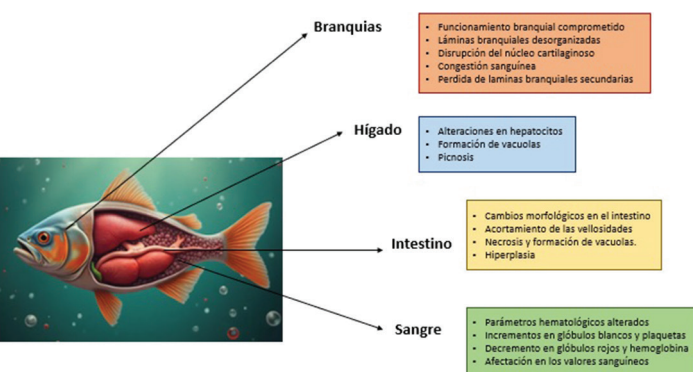


Figura 2. Alteración de las Nanopartículas metálicas (NPM) en peces.

Estrés oxidativo

El estrés oxidativo ocurre cuando hay un desequilibrio entre los «oxidantes» y los «antioxidantes» en el cuerpo. Los oxidantes, también conocidos como especies reactivas de oxígeno (ROS), son sustancias que pueden dañar las células y sus componentes si se acumulan en

exceso. Por otro lado, los antioxidantes son moléculas que ayudan a neutralizar estos oxidantes y protegen las células.

En condiciones normales, las células producen una cantidad controlada de oxidantes como parte de su metabolismo, pero también tienen enzimas antioxidantes, como la glutatión peroxidasa (GPx), la catalasa (CAT) y la superóxido dismutasa (SOD), que actúan como «guardianes» para mantener el equilibrio y evitar daños. Sin embargo, cuando hay factores externos, como la contaminación o la presencia de nanopartículas (NP), la producción de oxidantes puede aumentar demasiado, superando la capacidad de los antioxidantes para neutralizarlos. Este exceso de oxidantes lleva al estrés oxidativo, que puede dañar las células, provocando desde problemas en su funcionamiento hasta la muerte celular. En el caso de los organismos acuáticos, como los peces, este estrés oxidativo puede afectar órganos vitales como el hígado, los riñones y las branquias, comprometiendo su salud y supervivencia.

Deterioro de la membrana celular

Las nanopartículas metálicas (NPM) tienen la capacidad de atravesar las membranas celulares, que son como las «paredes» que protegen y dan forma a cada célula. Una vez dentro de la célula, estas nanopartículas pueden llegar a tejidos y órganos, donde pueden causar daños. Dentro de la célula, el citoplasma (el líquido que llena la célula) contiene moléculas que pueden «pegarse» a las nanopartículas, cambiando sus propiedades. Esto puede llevar a que las nanopartículas dañen las membranas celulares, principalmente a través de un proceso llamado **peroxidación lipídica**, que es

como una «oxidación» de las grasas que forman parte de la membrana celular. Este daño altera el funcionamiento normal de la célula, provocando una serie de problemas.

Como consecuencia, la célula puede activar respuestas inmunes e inflamatorias para defenderse, pero si el daño es muy grave, la célula puede incluso morir en un proceso conocido como **apoptosis** (muerte celular programada). Esto no solo afecta a la célula individual, sino que también puede tener efectos negativos en los tejidos y órganos donde se encuentran estas células.

Autofagia

La autofagia es un proceso natural de las células que actúa como un «sistema de reciclaje». Básicamente, las células «se comen a sí mismas» para descomponer y reutilizar componentes que ya no son útiles o que están dañados. Este mecanismo ayuda a mantener el equilibrio dentro de la célula (lo que se conoce como **homeostasis**) y también sirve para eliminar sustancias extrañas o dañinas. Durante la autofagia, las células forman unas estructuras llamadas **autofagosomas**, que capturan y aíslan partes dañadas de la célula, como proteínas u organelos (que son como los «órganos» de la célula). Luego, estos autofagosomas se fusionan con los **lisosomas**, que son como «plantas de reciclaje» dentro de la célula, donde se descomponen los materiales capturados. Sin embargo, cuando las células están bajo estrés ambiental, como la presencia de nanopartículas metálicas (NPM), este proceso puede salirse de control. Las NPM pueden activar la autofagia de manera excesiva, lo que lleva a la muerte de células sanas, un fenómeno conocido como **disbiosis**. Esto puede

ser especialmente dañino para los organismos, ya que afecta su capacidad para mantener un equilibrio saludable.

CONCLUSIÓN

El aumento en el uso de nanopartículas metálicas (NPm) ha llevado a que estas sustancias terminen en los ecosistemas acuáticos, donde interactúan con los organismos que viven allí. Estas interacciones pueden causar efectos negativos, que en algunos casos pueden ser tan graves que llevan a la muerte de los organismos afectados. Aunque la nanotecnología ofrece muchos beneficios y aplicaciones útiles, las NPm también representan un riesgo debido a su pequeño tamaño y su creciente presencia en el medio ambiente. Aún falta investigar más sobre cómo estas nanopartículas afectan la salud humana, especialmente cuando consumimos organismos acuáticos que han estado expuestos a ellas. Además, es importante evaluar el impacto que tiene el contacto directo con estas sustancias en las personas. En resumen, aunque las nanopartículas tienen muchos usos beneficiosos, también pueden convertirse en un problema serio para el medio ambiente y la salud humana si no se manejan adecuadamente. Es crucial seguir investigando para entender mejor estos riesgos y desarrollar estrategias que permitan aprovechar los beneficios de la nanotecnología sin poner en peligro la vida en el agua ni nuestra propia salud.

LITERATURA RELEVANTE

Dube, E. y Okuthe, G. E. (2023). Engineered nanoparticles in aquatic systems: Toxicity

and mechanism of toxicity in fish. *Emerging Contaminants*, 9(2), 100212.

Eker, F., Duman, H., Akdaşçi, E., Bolat, E., Sarıtaş, S., Karav, S., y Witkowska, A. M. (2024). A comprehensive review of nanoparticles: from classification to application and toxicity. *Molecules*, 29(15), 3482.

Imran, S. M., Al-Jubouri, M. O., Al-Haider, S. M., y Al-Thuwaini, T. M. (2025). Salinity and toxicity of zinc oxide nanoparticles in aquatic system: A review study. *Journal of Advanced Veterinary Research*, 15(1), 159-161.

Iqbal, K. J., Majeed, H., Khan, N., Kousar, T., Asghar, M., Iqbal, K. J., ... y Haider, R. (2025). Toxicity Effects of Green Synthesized Zinc Oxide Nanoparticles on Hematology and Biochemical Parameters in *Cirrhinus mrigala*.

Mandal, A. H., Ghosh, S., Adhurya, D., Chatterjee, P., Samajdar, I., Mukherjee, D., ... y Faggio, C. (2024). Exploring the impact of zinc oxide nanoparticles on fish and fish-food organisms: A review. *Aquaculture Reports*, 36, 102038.

Pulido-Reyes, G., Moreno-Martín, G., Gómez-Gómez, B., Navas, J. M., Madrid, Y., y Fernández-Cruz, M. L. (2024). Fish acute toxicity of nine nanomaterials: Need of pre-tests to ensure comparability and reuse of data. *Environmental Research*, 245, 118072.

Shanmugam, K., Sakthivel, E., Rajendran, J., y Jeyaraman, P. (2024). Nanoparticles in Aquatic Ecosystems: Origins, Destiny, and Ecological Consequences. *Environmental Science Archives*, 3(1), 111-124.

Microplásticos: amenaza para los ecosistemas y la salud humana

Marco Esau González-Navarro¹ y
María del Carmen Navarro-Rodríguez²

RESUMEN: Sin duda, los plásticos forman parte de nuestro consumo diario. Se estima que desde 1950, la producción y el uso de estos polímeros sintéticos ha aumentado de manera considerable alrededor del mundo e, incluso, se contempla que dentro de 25 años se generen 33 mil millones de toneladas. De hecho, el 9% de estos productos plásticos se recicla, pues su gran mayoría termina en vertederos y ocupando diferentes tipos de hábitats. Su sobreproducción masiva los hace presentes en diferentes tipos de productos, tanto de uso personal como industrial. Derivado de los plásticos, están los llamados microplásticos (MP), quienes actualmente representan un problema global, pues, además de alterar el equilibrio ecológico, amenazan el bienestar humano por su toxicidad. De hecho, ciertos MP favorecen el desarrollo de enfermedades mortales. Como respuesta a esta problemática, diversos países han puesto en práctica políticas de sustitución

estos materiales por otros biodegradables o han llegado a declarar la suspensión total de su producción.

Palabras clave: contaminación, impacto, patologías, plástico, salud pública.

INTRODUCCIÓN

Los plásticos son polímeros sintéticos de gran adaptabilidad, durabilidad y de bajo costo de producción, que han sustituido materiales tradicionales en un sinfín de usos. Cuentan con una serie de propiedades deseables: alta capacidad de deformarse sin romperse (ductilidad) y durabilidad. Además, sus costos de producción son relativamente bajos; sin embargo, estas ventajas industriales son también su principal inconveniente, ya que se degradan lenta y su permanencia en el ambiente, una vez desechados, puede ser de cientos de años.

Recibido: 20/02/2025

Aceptado: 03/04/2025

Publicado: 08/04/2025

¹ Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Universidad de Guadalajara.

² Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara.

Desde la década de 1950, la elaboración y el consumo de productos plásticos a nivel mundial se ha incrementado anualmente en un 4%. Para la década de 1990, la producción experimentó un incremento alarmante al alcanzar los 368 millones de toneladas anuales. Se estima que la producción de plástico se incrementará en 33 mil millones de toneladas anuales para el 2050.

Con el paso del tiempo, los plásticos son susceptibles de degradarse en fragmentos de menor tamaño llamados como microplásticos (MP). Los MP son materiales sintéticos con un diámetro menor a los cinco milímetros que se generan a partir fuentes primarias y secundarias. Las primarias son de tamaño micrométrico que se emplean como aditivos de abrasivos industriales o artículos personales (como cosméticos, productos de higiene personal como el champú, fibras sintéticas de productos textiles, por el desgaste de neumáticos, polímeros reciclados, pinturas o pellets plásticos). Por su parte, las secundarias provienen de procesos químicos, físicos y biológicos, como la radiación ultravioleta y las altas temperaturas, pues la exposición a estas condiciones ocasiona cambios en la estructura de los plásticos que

los hacen susceptibles a la fragmentación. (De hecho, como datos interesantes, la actividad pesquera, por el descarte de redes y, el transporte marítimo, por el desgaste de los cascos y la producción de basura, son fuentes significativas de microplásticos hacia el océano). (Figura 1).

IMPACTO AMBIENTAL

Los MP se acumulan y migran en grandes cantidades al ambiente, por lo que es común encontrarlos tanto en ecosistemas terrestres como acuáticos. Se han convertido en un nuevo problema global, pues se les localiza dentro del océano, en el agua dulce, en los sedimentos, en los suelos y en el aire, incluso, en regiones tan remotas como las polares.

Se estima que el 79% de los residuos plásticos mundiales se depositan en vertederos al aire libre; por lo tanto, es probable que el suelo sea un gran sumidero de MP. Se han comprobado sus efectos nocivos sobre el funcionamiento del suelo al alterar sus características físicas, reducir su fertilidad al bloquear los poros de las semillas e interrumpir la absorción de la humedad, con el consecuente retraso de

Figura 1. Microplásticos sobre la yema de un dedo. Foto: Stein, Al. Fuente: Parker, L. (2023). <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/microplastics-are-in-our-bodies-how-much-do-they-harm-us>



la germinación y la destrucción de las comunidades microbianas residentes. De igual manera, la calidad y circulación nutricional se ven comprometidas al perjudicar el crecimiento reproductivo de las plantas y exhibir toxicidad vegetal (Figura 2).

Además, el vertido de desechos plásticos hacia el mar continúa en aumento, lo que favorece su acumulación tanto en su superficie como en el fondo. De hecho, anualmente estos desechos encuentran su camino al océano en cantidades que oscilan entre 4 a 12 millones de toneladas directamente de la tierra, así como de 1 a 2 millones de toneladas por los ríos.

Como se mencionó, la formación de los MP es producto de procesos mecánicos y fotoquímicos impulsados por el movimiento de

las olas y la luz solar, respectivamente. Así, al incorporarse a los ambientes acuáticos, ciertas sustancias químicas contenidas en los MP, como los f-talatos o el bisfenol-A (proveen flexibilidad, suavidad, rigidez y transparencia a los plásticos, pero resultan tóxicos para plantas y animales), pueden migrar al medio marino y ser ingeridos por diversas especies a través de dos vías: consumo directo de alimento contaminado o por transferencia a partir de otros eslabones de la trama alimentaria (es decir, al alimentarse de otra especie que previamente ingirió MP). Se estima que casi 700 especies acuáticas a nivel mundial, han sido afectadas negativamente por la incorporación de MP en su cuerpo, tal como ha sido observado en tortugas marinas, pingüinos o crustáceos (Figura 3).

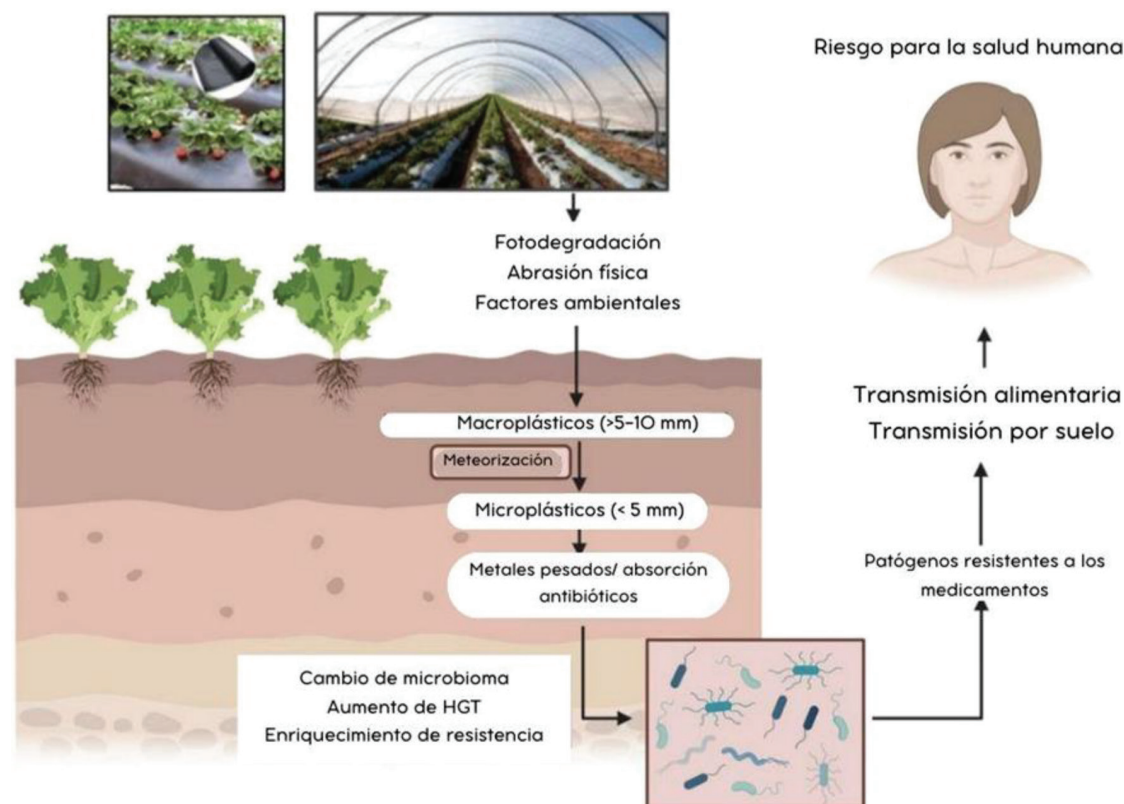


Figura 2. Representación de los efectos que tienen los MP en el desarrollo de las plantas. Fuente: Yalan Chen *et al.* (2024). <https://link.springer.com/article/10.1007/s44246-024-00124-1>

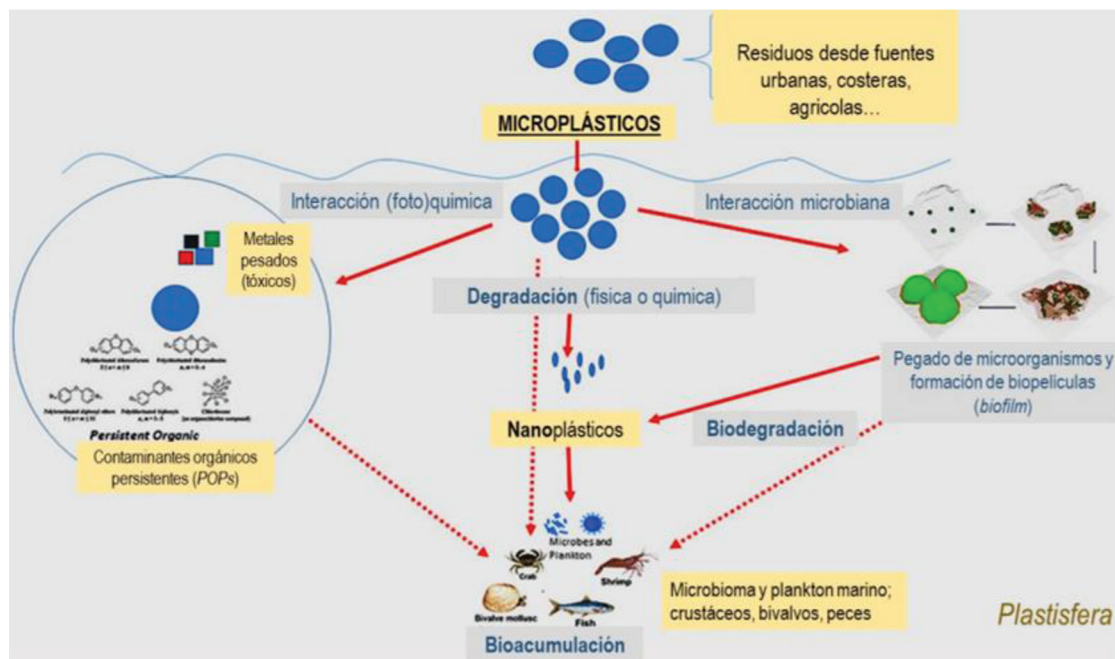


Figura 3. Presencia de MP en el océano y sus vías de afectación. Fuente: Cristian Ortiz Vasco y Elda Gupe. Espín Ocampo (2022). https://biotecmov.ibt.unam.mx/numeros/31/PDFs/bm_31_1.pdf

IMPACTO EN LA SALUD HUMANA

Los MP se han detectado en productos de consumo humano como mariscos, sal marina, bolsas de té, bebidas embotelladas y muchos otros más. La situación es preocupante porque se bioacumulan en los tejidos y órganos de animales y del propio ser humano. Su persistencia en las redes de alimentación, además de ser potencialmente tóxicos, actúan como vehículos para que ingresen al cuerpo patógenos y otros contaminantes.

Los MP ingresan al cuerpo humano principalmente por ingesta directa (la vía principal), inhalación y por contacto con la piel. Se estima que anualmente cada persona ingiere entre 39,000 a 52,000 MP, cifras que sin duda las exponen a consumir partículas menores a 150 micras (una micra equivale a una milésima parte de un milímetro; además, cuando

los microplásticos tienen diámetros menores a 100 micras se denominan nanoplásticos), las cuales, una vez dentro del tracto digestivo, pueden traspasar el epitelio (la capa que recubre el interior del aparato digestivo). Así, los científicos teorizan que las partículas mayores a 10 micras tienen la capacidad de atravesar la membrana celular, la barrera hematoencefálica (envuelve y protege al cerebro de sustancias dañinas) y la placenta (órgano que intercambia nutrientes y desechos entre la madre y el feto) (Figura 4).

En un reciente estudio, se analizó tejido postmortem del cerebro (la corteza frontal de un cadáver) de muestras recolectadas desde 1997 a 2013). En ellas se encontraron pequeñas partículas de MP, menores a 1 μm , en el parénquima (el tejido funcional); pero, lo más destacado fue haber encontrado que la concentración total de plásticos experimen-

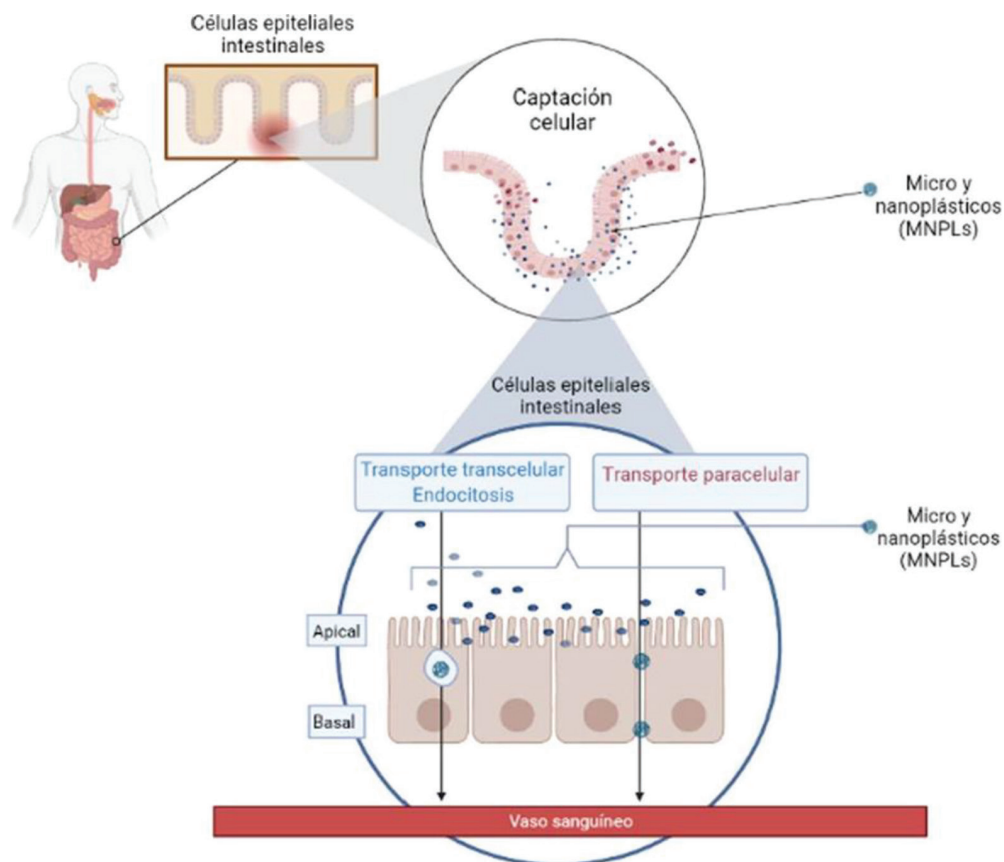


Figura 4. Ingesta y captación de MP y nanoplasticos en sistema digestivo (colon). Fuente: Emmanuel Cortes Roos y Karla Juárez Moreno (2023). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-56912023000200202

tó aumentó de cerca del 50% en las muestras recolectadas en los últimos ocho años del estudio. Estos resultados, permitieron a los investigadores concluir que las concentraciones exponencialmente crecientes de MP en el ambiente, repercuten de igual forma y sentido en las muestras de tejido cerebral. Los anteriores resultados, alertan sobre la realización de esfuerzos para entender el efecto de los MP sobre la aparición y desarrollo de trastornos neurológicos y fisiológicos sobre la salud humana (Figura 5).

Recientemente se han identificado MP en el meconio (la primera materia fecal) de fetos humanos, lo que aporta evidencia sobre su ex-

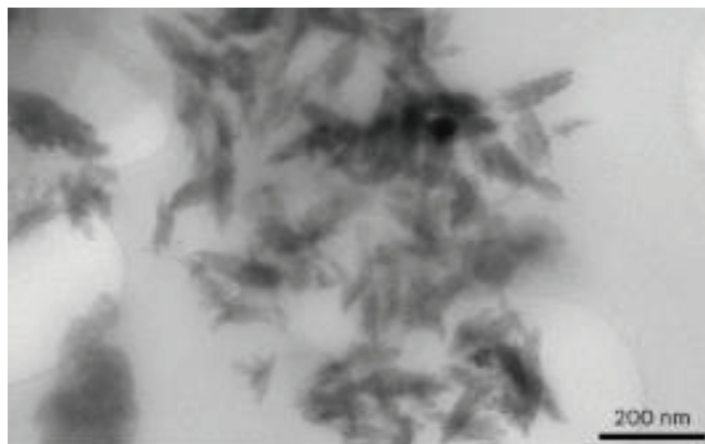


Figura 5. Partículas sólidas con forma de fragmentos en una muestra de tejido cerebral. Fuente: Alexander J. Nihart *et al.* (2025). <https://doi.org/10.1038/s41591-024-03453-1>

posición directa a este tipo de residuos. Además, resulta preocupante el impacto tóxico que puede repercutir, no solo en su desarrollo individual, si no en los efectos futuros sobre su propia descendencia (Figura 6).

Los MP, principalmente aquellos acumulados en el intestino humano, aumentan el riesgo de desarrollar enfermedades de tracto digestivo. Además, pueden migrar al hígado a través de la barrera intestinal y detonar una reacción hepatotóxica que puede dañar las células y ocasionar una respuesta inflamatoria. Como resultado, se presentará alteración el metabolismo de lípidos (grasas), además de una fibrosis hepática, un proceso de cicatrización, como respuesta del hígado a las lesiones.

Los pulmones también son afectados por los MP; de hecho, se estima que entre 2000 y 4000 partículas de microplásticos son inhaladas diariamente. Al depositarse en los pulmones, pueden llegar a provocar intoxicaciones. Asimismo, la presencia de f-talato de di- 2-etilhexilo (aditivo químico en productos plásticos) en el tejido nerviosos, inhibe la proliferación de organoides cerebrales, lo que perjudica el desarrollo temprano del cerebro humano. También, los MP pueden ser responsables de generar estrés, arterosclerosis, cáncer, diabetes, artritis reumatoide, lesiones por perfusión isquémica (ausencia de flujo sanguíneo), infartos, enfermedades cardiovasculares, inflamación crónica, accidentes cerebrovasculares, respuestas inmunes e inflamatorias,

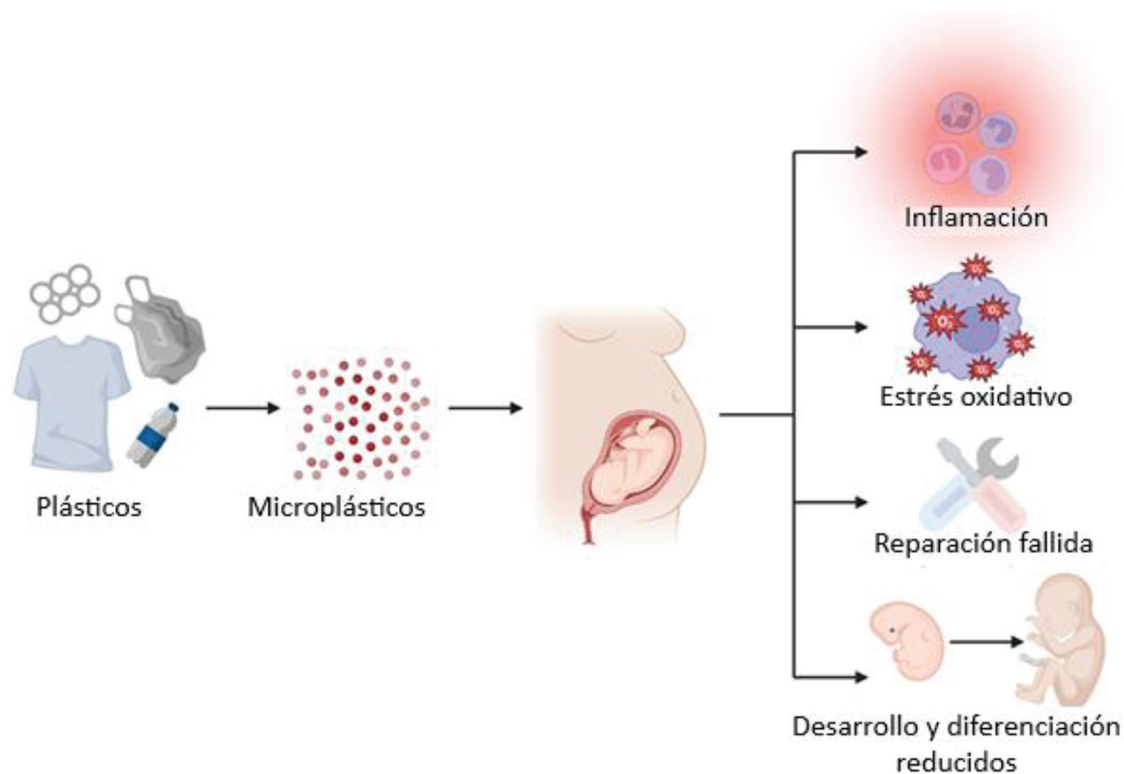


Figura 6. Impacto de los MP en el desarrollo embrionario. Fuente: Lars T. Hofstede *et al.* (2023). <https://www.cambridge.org/core/journals/cambridge-prisms-plastics/article/microplastics-a-threat-for-developing-and-repairing-organs/F4683C00B4F24CAF7506A467F1037CF5>

cambios metabólicos, necrosis celular, enfermedades autoinmunes y neurodegeneración en múltiples órganos, así como genotoxicidad (daño a la información genética dentro de una célula que causa mutaciones) (Figura 7).

SOLUCIONES PARA COMBATIR LA PROLIFERACIÓN DE MICROPLÁSTICOS

La incertidumbre y la falta de conocimiento sobre la interacción de los MP en el ambiente y el organismo, socavan su evaluación integral para determinar la gravedad de los riesgos, en todas las etapas del ciclo de vida del plástico,

para la salud. Esta situación limita la capacidad de los personas para tomar decisiones fundamentadas sobre sus hábitos de consumo de plásticos. Aunado a lo anterior, aún existe opacidad en cuanto a la información relativa a las sustancias químicas que componen los plásticos y sobre procesos involucrados en su fabricación. Ambos factores limitan la capacidad de las agencias ambientales de elaborar salvaguardias adecuadas, restringen a los consumidores para tomar decisiones bien fundamentadas, así como a las comunidades sociales de evitar la exposición a sus efectos dañinos.

La Organización de las Naciones Unidas en el año 2018, señala que son más de 60 países

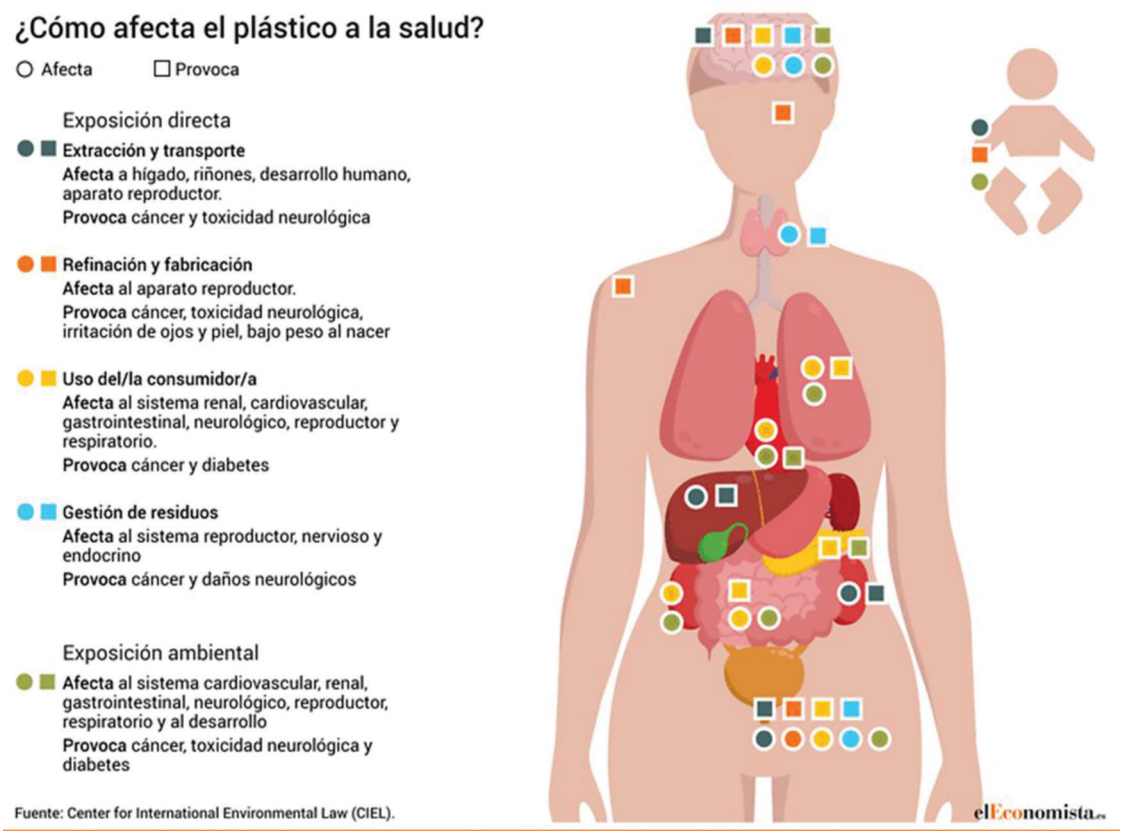


Figura 7. Efectos nocivos de los MP en el cuerpo humano. Fuente: Center for International Enviromental Law (CIEL) (2024). <https://www.eleconomista.es/actualidad/noticias/12842613/05/24/el-plastico-una-amenaza-silenciosa-para-la-salud.html>

los que implementan políticas para reducir el consumo de plásticos. Los países del Reino Unido, Estados Unidos, Canadá y Nueva Zelanda, han prohibido la fabricación de diversos productos de limpieza e higiene personal que contengan microesferas de plástico (microesferas utilizadas en productos de belleza por sus propiedades exfoliantes); se ha llegado a calcular que una simple ducha con gel de baño (hasta con 10,000 microesferas) puede ser el vehículo para que lleguen al océano a través del desagüe. Ahí, como se ha leído líneas arriba, pueden ser consumidas por la fauna marina y terminar por intoxicarla e incorporándolas en la cadena alimentaria.

Por consiguiente, en 2017 Costa Rica pronuncia una estrategia nacional con la finalidad de prohibir los plásticos de un solo uso, amonizando así la proporción de estos y que van a parar al océano, ríos y bosques. Por su parte Ruanda (2008) y Kenia (2017) prohíben la fabricación, uso, venta e importación de bolsas plásticas. Asimismo, la Unión Europea restringe el uso de plásticos de un solo uso, siempre y cuando cuenten con contrapartes amigables con el ambiente, como los cubiertos, platos, vasos y pajillas o popotes. En el caso de artículos que no dispongan de una contraparte amigable ambientalmente, se recomienda su uso limitando para reducir su consumo a nivel nacional, además de obligar a los productores de hacerse responsables de gestión y limpieza de residuos.

MÉXICO Y LA ECONOMÍA CIRCULAR DE LOS PLÁSTICOS

México se ha distinguido por ser un gran observador a nivel mundial, en diversos campos

de las prácticas y mejoras de otros. Por lo tanto, estas condiciones lo han hecho apto para adoptar ciertos elementos de éxito, destacando entre ellos, el modelo de la economía circular. Este modelo, busca maximizar la reutilización, el reciclaje y la regeneración de los recursos para reducir el desperdicio. Así, en el marco de las nuevas regulaciones ambientales en el país, se han generado varios fenómenos interesantes, entre los que destacan la propuesta de una legislación en materia de envases y empaques con alcances prohibitivos o restrictivos, que surgen de las entidades federativas, así como la integración de elementos de impacto productivo y económico en las leyes ambientales.

REGULACIONES PARA BOLSAS DE PLÁSTICO, POPOTES Y CONTENEDORES

De acuerdo con datos obtenidos por la Universidad Autónoma Metropolitana, señala que en materia de legislación de bolsas, popotes y contenedores (plásticos), el 88% de las entidades federativas mexicanas han establecido regulaciones, en las que, el 50% de los estados cuentan con normativas que plantean la prohibición de los plásticos, mientras que, el 15% promueven su eliminación y el 15% plantea una sustitución gradual. Lo anterior es complemento de instrumentos federales en materia ambiental, como la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente (LGEEPA) y la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR).

La tendencia regulatoria que, en principio se limitaba a mejorar leyes, reglamentos o normas relacionadas con residuos sólidos urbanos y los llamados plásticos de un solo uso, se ha

transformado al punto de impulsar la internalización del modelo de economía circular (Estrategia de Economía Circular y la Agenda Basura Cero de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), así como las recientes propuestas en revisión de la Ley General de Economía Circular del Senado de la República, la Ley para la Prevención, Gestión Integral y Economía Circular de los Residuos del Estado de Quintana Roo y la Ley de Economía Circular de la Ciudad de México).

Dichas obras han promovido numerosos esfuerzos de la industria formal y organizada, para adoptar procesos colaborativos, de tal forma que el desafío y éxito de una economía circular en México precisará de la creación de políticas y legislaciones que propicien mejores resultados en materia ambiental e impidan el riesgo de ostentaciones negativas en todos los sectores y logren mantener el equilibrio de la actividad económica del país.

CONCLUSIÓN

A pesar de la gran adaptabilidad que tienen los plásticos ante las necesidades básicas, su consumo masivo en los últimos años nos ha llevado a posicionarnos en situaciones alarmantes respecto al entorno y nuestra salud. Su sobreexplotación y la constante exposición de nuestros ecosistemas a ellos, ocasionaron el desarrollo de una problemática complicada de identificar: los microplásticos (MP). Estos han generado un desequilibrio ecológico global que hace vislumbrar graves escenarios: ecotoxicidad vegetal, contaminación de mares y suelos, deterioro de la calidad del aire, daño a corto y largo plazo a numerosas especies y a la salud humana.

Ante esta problemática de escala internacional, diversos países han optado por crear políticas para disminuir su elaboración, así como buscar nuevas opciones de materiales que los reemplacen o los haga amigables con el entorno. Sin embargo, estas acciones representan un desafío económico para las naciones, pues afectan directamente la productividad y comercialización en todos aquellos productos derivados de los plásticos.

La falta de conocimiento nos ha llevado a la búsqueda constante de alternativas tanto en políticas públicas, como en el adecuado reemplazo de fuentes primarias e incluso en la detección y manejo de patologías derivadas de estos polímeros. Sin embargo, la incertidumbre que surge a partir de la poca claridad por parte de grandes empresas y gobiernos sobre la elaboración de estos productos y sus efectos, representa una importante problemática en su evaluación integral y en la adecuada toma de decisiones para nuestro entorno y las comunidades afectadas. Por el momento, se continúa con la insistencia de mayor transparencia e información sobre los MP, al mismo tiempo que se abordan las alternativas idóneas para mitigar sus repercusiones en los ambientes y en los seres vivos.

LITERATURA RELEVANTE

- Barceló, D., Picó, Y., y Alfarhan, A. H. (2023). Microplastics: detection in human samples, cell line studies, and health impacts. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 101, 104-204.
- Blackburn, K. y Green, D. (2022). The potential effects of microplastics on human

- health: What is known and what is unknown. *Ambio*, 51(3), 518-530.
- Campanale, C., Massarelli C., Savion, I., Locaputo, V., y Uricchio, V. F. (2020). A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4), 1212.
- Cong, J., Wu, J., Fang, Y., Wang, J., Kong, X., Wang, L., y Duan, Z. (2024). Application of organoid technology in the human health risk assessment of microplastics: a review of progresses and challenges. *Environment International*, 188, 108744.
- Díaz Gaxiola, J. M. y Romero Luna, D. (2024). Determinación de la presencia de microplásticos en playa El Mavir, Los Mochis, Sinaloa. *Tecnológico Nacional de México*, 1(2), 1-23.
- Khan, F. R., Catarino, A. I., y Clark, N. J. (2022). The ecotoxicological consequences of microplastics and co-contaminants in aquatic organisms: a mini-review. *Emerging Topics in Life Sciences*, 6(4), 339-348.
- Marn, N., Jusup, M., Kooijman, S. A., y Klanjscek, T. (2020). Quantifying impacts of plastics debris on marine wildlife identifies ecological breakpoints. *Ecology Letters*, 23(10), 1479-1487. <https://doi.org/10.1111/ele.13574>
- Nihart, A. J., Garcia, M. A., El Hayek, E., Liu, R., Olewine, M., Kingston, J. D., Castillo, E. F., Gullapalli, R. R., Howard, T., Bleske, B., Scott, J., Gonzalez-Estrella, J., Gross, J. M., Spilde, M., Adolphi, N. L., Gallego, D. F., Jarrell, H. S., Dvorscak, G., Zuluaga-Ruiz, M. E., y Campen, M. J. (2025). Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains. *Nature Medicine*, 2025, 1-6.
- Yang, H., Yumeng, Y., Yu, Y., Yingling, H., Fu, B., y Wang, J. (2022). Distribution, sources, migration, influence and analytical methods of microplastics in soil ecosystems. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 243(114009), 114009. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114009>
- Zurub, R. E., Cariaco, Y., Wade, M. G., y Bainbridge, S. A. (2024). Microplastics exposure: implications for human fertility, pregnancy and child health. *Frontiers in Endocrinology*, 14, 1330396.

¿Aliado o enemigo? La inteligencia artificial a través de los ojos de los estudiantes universitarios

David Antonio García-Reyes^{1,2}, César Antonio Sepúlveda-Quiroz¹,
Hortensia Eliseo-Dantés¹, Francisco López-Villarreal¹,
Luz Alondra Katt-Morales² y Rosela Granados-Andrade²

RESUMEN: La Inteligencia Artificial (IA) ha evolucionado desde sus inicios en los años 40 hasta convertirse en una parte fundamental de la vida cotidiana, especialmente en la educación superior. Su trayectoria incluye hitos clave como el Test de Turing (1950) y el desarrollo de sistemas expertos en los años 70 y 80. Sin embargo, tras el periodo de estancamiento conocido como el «AI Winter», los avances en aprendizaje automático y redes neuronales reavivaron su progreso. En la educación universitaria, herramientas como ChatGPT, Grammarly y QuillBot facilitan la redacción, el aprendizaje personalizado y la gestión del tiempo, posicionándose como aliadas para los estudiantes. No obstante, también surgen preocupaciones sobre la dependencia tecnológica, la precisión de la información y los dilemas éticos relacionados con la privacidad y el plagio. Las percepciones estudiantiles están divididas: algunos ven en la IA una oportunidad

para democratizar el conocimiento, mientras que otros, temen el impacto en las habilidades cognitivas tradicionales. El reto es equilibrar el uso de estas tecnologías con el desarrollo de habilidades fundamentales y la educación sobre su uso ético y responsable.

Palabras clave: educación superior, acceso a la información, herramientas digitales, aprendizaje autónomo, ética.

LA IA DESDE SUS INICIOS

Aunque aparentemente el concepto de Inteligencia Artificial (IA) es nuevo, su evolución se remonta a más de siete décadas, desde sus fundamentos teóricos hasta su integración en la vida cotidiana. Sus orígenes se sitúan en la década de los 40, cuando McCulloch y Pitts propusieron un modelo de neuronas artificiales que sentó las bases del pensamiento computacional. Años después, en 1950, Alan

Recibido: 25/03/2025

Aceptado: 04/04/2025

Publicado: 08/04/2025

¹ Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Villahermosa.

² Programa de posgrado DITE, Facultad de Informática, Universidad Autónoma de Querétaro.



Figura 1. Analogía de la lucha entre la inteligencia artificial y el humano. Imagen generada con GPT-4o.

Turing planteó el célebre «Test de Turing», un experimento para evaluar la capacidad de las máquinas de mostrar inteligencia similar a la humana.

El término IA fue acuñado en 1956 por John McCarthy durante la conferencia de Dartmouth, momento que se considera el nacimiento oficial de esta disciplina. En esos años iniciales, el optimismo sobre el potencial de las máquinas para imitar la inteligencia humana era alto, y se desarrollaron programas pioneros como ELIZA (1966), uno de los primeros «chatbots» (programa informático que simula conversaciones humanas con usuarios). Este entusiasmo no tardó en enfrentarse a las limitaciones tecnológicas de la época.

Durante las décadas de los 70 y 80, los llamados «sistemas expertos» (programas informáticos) demostraron que las computadoras podían tomar decisiones complejas en campos específicos, como la medicina y la ingeniería. No obstante, las expectativas desmedidas, la falta de

resultados y la disminución del financiamiento provocaron un periodo de estancamiento conocido como el AI Winter (invierno de la IA). Este periodo marcó un retroceso significativo en la investigación y el desarrollo de la IA.

Con la llegada de la década de los 90, el panorama comenzó a cambiar gracias a los avances en el aprendizaje automático y al aumento en la capacidad de procesamiento de datos. El punto de inflexión llegó en 1997, cuando «Deep Blue», una computadora desarrollada por IBM, derrotó al campeón mundial de ajedrez Garry Kasparov. Este evento demostró que las máquinas podían superar a los humanos en tareas intelectualmente complejas.

En las primeras dos décadas del siglo XXI, la IA experimentó una transformación aún más significativa con el auge del «Deep Learning» (aprendizaje profundo) y las redes neuronales. Estos sistemas, inspirados en el funcionamiento del cerebro humano, permitieron avances en reconocimiento de imágenes, voz y texto. En 2012, el modelo AlexNet revolucionó el reconocimiento de imágenes al ganar la competencia ImageNet, marcando el inicio de una nueva era.

Paralelamente, la IA comenzó a formar parte de la vida cotidiana. En 2011, Siri de Apple integró asistentes virtuales en los teléfonos inteligentes, y en 2016, AlphaGo de DeepMind venció al campeón mundial de Go, un juego mucho más complejo que el ajedrez, demostrando el potencial de la IA para resolver problemas altamente sofisticados.

En años recientes, los modelos de lenguaje han cobrado protagonismo. Los Chatbots han revolucionado la interacción entre humanos y máquinas gracias a su capacidad para comprender y generar texto coherente. Estas

herramientas no solo ofrecen respuestas inmediatas, sino que también apoyan en la resolución de problemas, la generación de ideas y el aprendizaje personalizado.

INMERSIÓN DE LA IA EN
LA EDUCACIÓN SUPERIOR

El uso de herramientas de IA (IA) en la educación superior ha crecido notablemente en los últimos años. En particular, ChatGPT, desarrollado por OpenAI, ha emergido como un asistente virtual con el potencial de apoyar diversas actividades académicas. No obstante, la eficacia y las percepciones de los estudiantes universitarios sobre el uso de esta y otras herramientas como recurso educativo, aún no se han explorado exhaustivamente. La IA (IA) ha encontrado múltiples aplicaciones en la educación superior, desde sistemas de tutoría inteligente hasta el análisis predictivo para mejorar el rendimiento estudiantil. La IA prome-

te personalizar la educación, proporcionando asistencia individualizada y recursos adaptativos que pueden mejorar significativamente el proceso de aprendizaje.

Actualmente, la IA continúa expandiendo sus horizontes, desde la automatización industrial hasta la medicina y la educación. Pese a lo cual, junto con sus avances, han surgido debates sobre la ética, la privacidad y el impacto en el empleo. El futuro de la IA promete seguir sorprendiendo, pero también requiere de una reflexión profunda sobre cómo integrar esta tecnología de manera responsable y equitativa en la sociedad. Actualmente, existen diversas herramientas de IA que los estudiantes universitarios utilizan para su formación académica. La siguiente tabla muestra algunas de las IA más utilizadas por los estudiantes universitarios, junto con sus principales características:

Estas herramientas facilitan diversas tareas académicas, pero también presentan desafíos y preocupaciones que generan opiniones divi-

Tabla 1. Herramientas de IA más utilizadas en la educación superior

Herramienta de IA	Descripción	Gratuita o de pago	Aplicaciones principales
ChatGPT (OpenAI)	Generación de texto y asistencia en redacción	Gratuita (versión básica) / De pago (GPT-4)	Resúmenes, investigación, asistencia en tareas
Grammarly	Corrección gramatical y mejora de estilo	Gratuita / De pago (Premium)	Redacción de ensayos y corrección de textos
QuillBot	Parafraseo y generación de texto	Gratuita / De pago (Premium)	Reformulación de textos y resumen de contenido
DeepL	Traducción automática avanzada	Gratuita / De pago (Pro)	Traducción de artículos académicos
Perplexity AI	Motor de búsqueda basado en IA	Gratuita	Investigación y recopilación de información
DALL-E (OpenAI)	Generación de imágenes mediante IA	De pago	Creación de material visual para presentaciones



Figura 2. Fotografías representativas del uso de IA en dispositivos móviles en el aula.

didadas entre los estudiantes. A continuación, se exploran las principales ventajas y temores que emergen de su uso en el contexto universitario.

LA IA EN EL AULA: UNA REVOLUCIÓN EN CURSO

La integración de la IA en la educación universitaria ha cambiado la manera en que los estudiantes acceden a la información, resuelven problemas y desarrollan habilidades académicas. Dichas herramientas han permitido agilizar la búsqueda de información, mejorar la redacción de trabajos y resolver dudas en tiempo real. Este avance también ha generado interrogantes sobre la dependencia tecnológica, la originalidad del aprendizaje y la calidad de las respuestas proporcionadas por los modelos de IA.

PRINCIPALES VENTAJAS

Los estudiantes universitarios han identificado varias ventajas en el uso de la IA, entre las que destacan:

- *Accesibilidad y disponibilidad:* La IA está disponible las 24 horas del día, lo que permite a los estudiantes resolver dudas en cualquier momento sin depender de la disponibilidad de un profesor.
- *Personalización del aprendizaje:* Herramientas como ChatGPT pueden adaptar sus respuestas según las necesidades específicas de cada estudiante, facilitando un aprendizaje más flexible y dirigido.
- *Optimización del tiempo:* La capacidad de generar resúmenes, reformular textos y proporcionar explicaciones rápidas ayuda a los estudiantes a gestionar mejor su tiempo de estudio.
- *Mejora de la redacción y corrección de textos:* Plataformas como Grammarly y QuillBot permiten mejorar la calidad de los ensayos y trabajos académicos.

Desde la perspectiva de los estudiantes, estas ventajas pueden hacer que la IA se perciba como un aliado valioso, ya que facilita el acceso a información precisa y mejora la productividad académica.

PRINCIPALES TEMORES

A pesar de los beneficios, también existen preocupaciones respecto al uso de la IA en el aprendizaje universitario:

- *Dependencia tecnológica:* Algunos estudiantes temen volverse demasiado dependientes de la IA, lo que podría afectar su capacidad de pensamiento crítico y resolución de problemas.
- *Precisión de la información:* La IA no siempre proporciona respuestas completamente

te precisas, lo que genera dudas sobre la fiabilidad de los contenidos generados.

- *Plagio y originalidad:* El uso excesivo de IA en la redacción de textos plantea el riesgo de desmotivación en el desarrollo de habilidades de escritura propia y la posibilidad de incurrir en plagio involuntario.
- *Cuestiones éticas y privacidad:* El almacenamiento de datos personales y la generación de contenido automatizado han suscitado preocupaciones éticas sobre el uso responsable de estas herramientas.

Estas inquietudes reflejan un dilema en la comunidad estudiantil: mientras que la IA puede ser una herramienta poderosa, también requiere un uso crítico y regulado para evitar consecuencias negativas.

OPINIONES DIVIDIDAS

En diversos contextos de Latinoamérica, la percepción de los estudiantes universitarios sobre la IA varía según la manera en que la utilizan y su nivel de confianza en estas tecnologías. Algunos consideran que la IA es una revolución educativa que democratiza el acceso al conocimiento y potencia el aprendizaje autónomo. Otros, en cambio, la ven como una amenaza para el desarrollo de habilidades académicas tradicionales y la interacción humana en el aprendizaje.

En general, la clave para aprovechar al máximo la IA en la educación superior radica en encontrar un equilibrio entre su uso como herramienta complementaria y el desarrollo de habilidades cognitivas esenciales. La regulación y la educación sobre su uso ético y responsable pueden ayudar a que esta tecnología

se convierta en un aliado en lugar de un desafío insalvable.

CONCLUSIONES

La IA está transformando la educación universitaria a nivel internacional, brindando oportunidades para personalizar el aprendizaje y mejorar la eficiencia académica. Sin embargo, también plantea desafíos que deben abordarse con responsabilidad. La percepción de los estudiantes es diversa: algunos la ven como un recurso invaluable, mientras que otros temen sus implicaciones a largo plazo. La clave estará en encontrar un equilibrio que permita integrar la IA en la educación sin comprometer el desarrollo de habilidades fundamentales para el aprendizaje.

Para equilibrar el uso de la IA, es fundamental combinar sus ventajas tecnológicas con el desarrollo de habilidades humanas esenciales. Es necesario fomentar el pensamiento crítico mediante actividades que inviten al análisis y la reflexión profunda, permitiendo que los estudiantes cuestionen y verifiquen la información más allá de las respuestas automáticas generadas por estas herramientas. Asimismo, establecer lineamientos éticos y políticas académicas claras puede prevenir el plagio y promover la originalidad, incentivando un uso responsable y consciente de la tecnología. Además, incluir en los planes de estudio el desarrollo de habilidades digitales contribuye a que los estudiantes comprendan cómo funcionan las herramientas de IA, sus limitaciones y cómo utilizarlas de manera efectiva. Equilibrar el aprendizaje asistido por tecnología con la interacción humana es también esencial; el debate, el trabajo en equipo

y el aprendizaje colaborativo enriquecen el proceso formativo de manera que ninguna máquina puede reemplazar. Por último, diseñar evaluaciones que valoren no solo el resultado final, sino también el esfuerzo, la creatividad y el pensamiento original, ayuda a mantener el enfoque en las competencias esenciales para el desarrollo académico. De esta manera, se puede integrar la IA como un aliado en la educación sin comprometer la formación integral de los estudiantes.

LITERATURA RELEVANTE

Bustamante-Bula, R. y Camacho-Bonilla, A. (año). Inteligencia Artificial (IA) en las escuelas: una revisión sistemática (2019-2023). *Enunciación [online]*, 29(1), 62-82. <https://doi.org/10.14483/22486798.22039>

Diego-Olite, F. M., Morales-Suárez, I. R., y Vidal-Ledo, M. J. (2023). ChatGPT: origen, evolución, retos e impactos en la educación. *Educación Médica Superior*, 37(2), e3851. <https://ems.sld.cu/index.php/ems/article/view/3851/1503>

Mosqueda-Chávez, E. (2024). La IA como aliada del aprendizaje y el pensamiento crítico. *Revista Mexicana de Bachillerato a Distancia*, 16(32). <https://doi.org/10.22201/cuaid.20074751e.2024.32.89555>

Tramallino-Carolina P. y Zeni, A. (2024). Avances y discusiones sobre el uso de IA (IA) en educación. *Educación*, 33(64), 29-54. <https://doi.org/10.18800/educacion.202401.m002>

Las bacterias del olor a... ¡huevo podrido!

Cristian Hakspiel Segura

RESUMEN: En el fondo de los ecosistemas acuáticos, donde no hay oxígeno ni luz, habitan microorganismos llamados bacterias reductoras de sulfato. Estas transforman el sulfato en un gas de olor característico a huevo podrido, conocido como sulfuro de hidrógeno (H_2S). Algunas también tienen la capacidad de convertir el nitrógeno del aire en nutrientes esenciales. Además, compiten con otras procariotas, lo cual reduce la emisión de metano, un potente gas de efecto invernadero. Sin embargo, el H_2S que liberan tiene efectos ambivalentes. Por un lado, al ascender a la atmósfera, contribuye a la formación de aerosoles de sulfato, que reflejan la radiación solar y mitigan temporalmente el calentamiento global. Por otro lado, estos mismos aerosoles pueden acidificar la lluvia y alterar los patrones de precipitación, afectando tanto a ecosistemas naturales como a cultivos. Aunque imperceptibles a simple vista, estas bacterias

desempeñan un papel clave en los ciclos biogeoquímicos globales, y su impacto depende del equilibrio entre sus procesos químicos y el contexto ambiental en el que se desarrollan.

Palabras clave: bacterias reductoras de sulfato, fijación de nitrógeno, especies químicas del azufre, modulación climática

UN OLOROSO SECRETO DEL FONDO SUBACUÁTICO

En lo profundo de lagos y mares, donde la luz difícilmente llega o es ausente y el oxígeno se consume rápidamente, existe un mundo silencioso y oscuro que guarda secretos nauseabundos. Es un entorno tranquilo, donde los sedimentos y la materia orgánica se depositan gradualmente, estrato tras estrato, semejando las hojas de un libro que contiene relatos de transmutaciones químicas.

Recibido: 20/02/2025

Aceptado: 28/04/2025

Publicado: 30/04/2025

Investigador posdoctoral, Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Baja California, Ensenada, México. Correo electrónico: chakspiel@uabc.edu.mx.

En este abismo anóxico, la supervivencia depende de procesos bioquímicos que parecen sacados de una fábula alquímica donde cada molécula cuenta. Sus habitantes son diminutos magos invisibles que laboran sin tregua, para obtener materias primas y fuentes de energía derivadas de la materia orgánica entrante y de las condiciones reductoras del ambiente.

Bajo este desierto, el azufre, el nitrógeno y el carbono, entre otros elementos, mantienen un delicado equilibrio que sustenta a esta comunidad microscópica, caracterizada por el predominio de bacterias reductoras de sulfato (BRS) y arqueas metanogénicas. Ambos grupos heterotróficos utilizan y compiten por compuestos orgánicos previamente degradados, como el acetato y el lactato que son su fuente de energía; sin embargo, cada especie puede hacerlo de manera diferente. Las BRS oxidan estos compuestos utilizando sulfato, el tercer

ión más abundante en el agua de mar, como aceptor de electrones, produciendo sulfuro de hidrógeno (H_2S) como subproducto. Por otro lado, las metanogénicas respiran estos compuestos para producir metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2).

A diferencia del CH_4 , que es inodoro, el H_2S tiene un olor penetrante que evoca rápidamente al olor de huevos podridos, como cuando se descomponen estos y otros alimentos ricos en aminoácidos azufrados como la cisteína y la metionina. Este gas es el mismo que se libera en erupciones volcánicas y fuentes hidrotermales, donde previamente y sin la participación de actividad biológica, se produjo a partir de la oxidación de minerales de sulfuro, como la pirita (FeS_2). En zonas pantanosas, estanques u otros ambientes acuáticos con fondos mal oxigenados, las bacterias reductoras de sulfato (BRS) producen H_2S que se acumula en forma de microburbujas, quedando temporalmente atrapadas en los sedimentos y emergiendo a la superficie. De esta manera, este gas puede hacerse perceptible al olfato cuando el fondo se remueve o se perturba (Figura 1).

AUNQUE NO HUELEN BIEN, SON CAPACES DE FIJAR NITRÓGENO

Las BRS juegan un papel significativo en el ciclo del nitrógeno. Sin embargo, no todas las especies tienen la capacidad de convertir el nitrógeno atmosférico (N_2), un gas inerte e inaccesible para la mayoría de los seres vivos, en amoníaco, que es una fuente vital de nitrógeno. El amoníaco es fácilmente asimilable por otros microorganismos de la cadena trófica y puede ser convertido en aminoácidos, que a su vez forman las proteínas que constituyen la

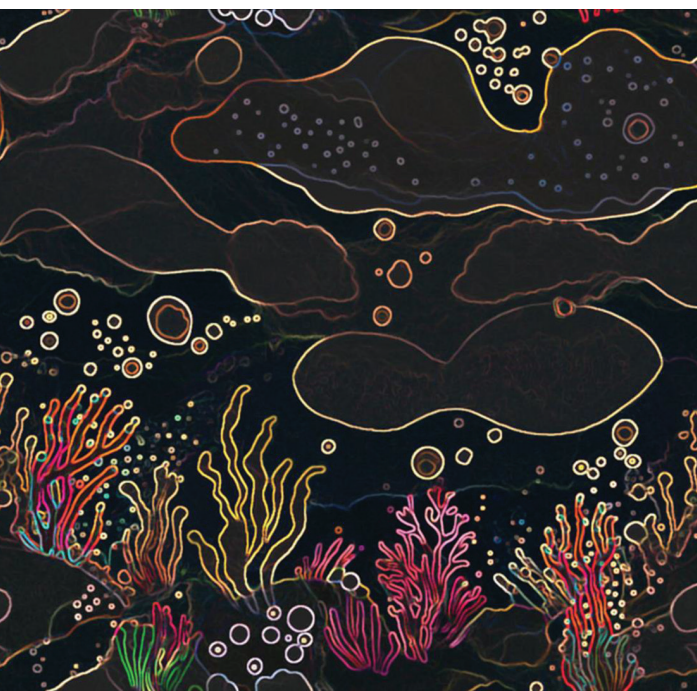


Figura 1. Fondo submarino. Generada con la IA Canva. <https://www.canva.com>.

biomasa. Este proceso, conocido como fijación de nitrógeno, se lleva a cabo mediante la lectura y expresión de una familia diversa de genes denominados *Nif*, los cuales codifican todas las proteínas necesarias para el ensamblaje, regulación y reparación del complejo enzimático llamado nitrogenasa.

La capacidad de fijación de N_2 de las BRS puede variar dependiendo de las condiciones específicas del ambiente como: la temperatura, la salinidad, las concentraciones de macronutrientes (por ejemplo, fósforo y carbono orgánico) y de metales traza (como hierro, molibdeno y vanadio), entre otras. Eventualmente, las BRS comparten su nicho siendo fijadoras de nitrógeno (o diazótrofos) con otros microorganismos, tal como las cianobacterias, otras bacterias heterótrofas y ciertas arqueas. En algunos casos, pueden existir sinergias entre las BRS y otros microorganismos en consorcios microbianos, donde el amoníaco producido por la fijación de nitrógeno puede ser utilizado por otras procariotas, creando un ciclo biogeoquímico eficiente (Figura 2).

UN ROL DESAPERCIBIDO EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

El trabajo de las BRS no se detiene ahí. En un mundo donde los ciclos del carbono, el azufre y el nitrógeno están entrelazados, estas bacterias actúan como guardianas del equilibrio biogeoquímico. Desde que estas procariotas se originaron hace 3.5 a 4 mil millones de años, su actividad ha ayudado a regular la concentración de nitrógeno y otros gases en la atmósfera, influyendo sutilmente en el clima global.

Cuando el H_2S emitido de los sedimentos y los cuerpos de agua alcanza la atmós-



Figura 2. Bacterias reductoras de sulfato y microburbujas de sulfuro de hidrógeno. Generada con la IA Canva. <https://www.canva.com>.

fera, comienza un viaje químico intrigante. Inicialmente, este gas se oxida rápidamente, transformándose en dióxido de azufre (SO_2) y más tarde en sulfatos (SO_4^{2-}). Por su parte, el SO_4^{2-} forma aerosoles que pueden reflejar la luz solar de regreso al espacio, creando un efecto de enfriamiento que, aunque pequeño, tiene impactos tanto locales como globales. Estos aerosoles también influyen en la formación de nubes y en la distribución de la lluvia, lo que altera el régimen hidrológico y, por consiguiente, la disponibilidad de agua para los ecosistemas y la agricultura.

Aunque no relacionado directamente con el clima, los aerosoles de SO_4^{2-} y el SO_2 afectan la calidad del aire al contribuir a la formación del «smog», una combinación de contaminantes suspendidos en el aire, como el humo, gases y otras partículas, los cuales representan riesgos tanto para la salud (como alergias, irritaciones

respiratorias y oculares) como para el medio ambiente. Además, en presencia de humedad, el SO_2 puede convertirse en ácido sulfúrico, un agente corrosivo que pone en riesgo infraestructuras y materiales, especialmente en áreas con altas concentraciones de este gas. Desafortunadamente, las emisiones de estos contaminantes a la atmósfera son en gran medida el resultado de actividades humanas; la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y sus derivados en plantas de energía, industrias y vehículos son ejemplos de los actos irracionales provocados por nuestra propia especie. Esto se suma, aunque en menor cantidad, a las emisiones episódicas y localizadas de las erupciones volcánicas (Figura 3).

Por otra parte, las BRS moderan las emisiones de CH_4 , un gas clave en el efecto invernadero, al competir por sustratos orgánicos con las arqueas metanogénicas y al generar un ambiente inhóspito, saturado de H_2S .

Además, el CH_4 contribuye a la formación de ozono troposférico, distinto del ozono estratosférico, que protege contra la radiación ultravioleta. Este ozono troposférico es un contaminante atmosférico que, al igual que los aerosoles y los gases de azufre mencionados previamente, tiene efectos perjudiciales para la salud animal y humana.

La contribución de las BRS a la productividad biológica y al cambio climático es, en esencia, un relato de adaptación y resiliencia a

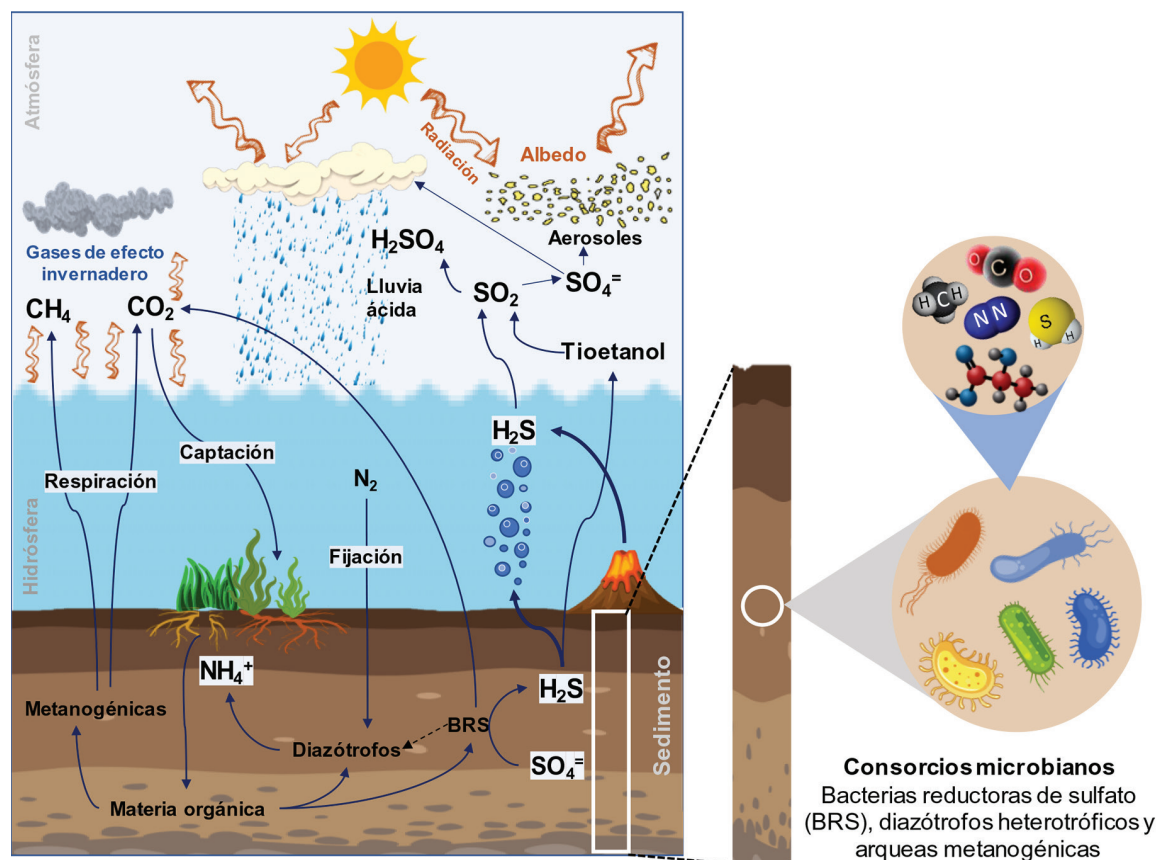


Figura 3. Modelo biogeoquímico de las interacciones del azufre con otros ciclos y la modulación climática. Creación propia.

la degradación ambiental y a la señal de calentamiento superpuesta por la actividad humana. Las BRS son un eslabón esencial de los ciclos biogeoquímicos en los ecosistemas anóxicos, demostrando que, incluso en los rincones más inéditos del planeta, la vida encuentra su camino, transformando lo inerte en alimento y la oscuridad en posibilidad.

LITERATURA RELEVANTE

Camacho, F. J. E. (2024). *Bioexploración de las relaciones metabólicas entre comunidades de bacterias fermentadoras con arqueas metanógenas metilotróficas de ambientes hipersalinos* [Tesis de maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste]. Repositorio CIBNOR. https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/2987/1/camacho_j%20TESIS.pdf

Flores Silva, V. (2020). El dióxido de azufre (SO₂). *Inteligencia Epidemiológica*, 10(1), 29-33. <https://ddsisem.edomex.gob.mx:24243/index.php/iecevece/article/view/75/78>

Jabir, T., Vipindas, P. V., Jesmi, Y., Divya, P. S., Adarsh, B. M., Miziriya, H. S. N., y Mohamed Hatha, A. A. (2021). Influence of environmental factors on benthic nitrogen fixation and role of sulfur-reducing diazotrophs in a eutrophic tropical estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 165, 112126. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112126>

Pester, M., Knorr, K.-H., Friedrich, M. W., Wagner, M., y Loy, A. (2012). Sulfate-reducing microorganisms in wetlands - Fameless actors in carbon cycling and climate change. *Frontiers in Microbiology*, 3, 72. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00072>

Conservando el futuro: el reto de la preservación bacteriana

Lizeth N. Raygoza-Alcantar¹ y Elizabeth Avila-Castro^{2*}

RESUMEN: Alguna vez te dijeron algo así como: ¡No toques eso! ¡Está sucio y tiene bacterias! Eso evitaba que jugaras con la tierra, o en casos extremos, te la comieras. Había bacterias malas por todos lados, el patio, el perro, la alberca, los juguetes, el mar... Lo escuchamos inclusive en la televisión, en los comerciales de desinfectantes y medicamentos. Pero, ¡Sorpresa! Si hay bacterias malas en todos esos lugares. Pero espera: no todas las bacterias son villanas. La mayoría de ellas son nuestras aliadas, esenciales e indispensables para nuestra salud y el ambiente. En este artículo, te llevaremos a descubrir algunas de las increíbles funciones que estos diminutos organismos desempeñan en los seres vivos y los ecosistemas. Además, de la importancia de estudiarlas en condiciones de laboratorio, y para ello, tenemos que

poner a dormir a las bacterias ¿Sabías que eso se podía hacer? Te invitamos a un emocionante recorrido por las técnicas más utilizadas en los laboratorios de microbiología para mantener a estos microorganismos en perfecto estado durante largos periodos de tiempo. ¡Ponte tu bata, guantes y cubrebocas, y acompáñanos en esta aventura microbiana!

Palabras clave: microbios, biotecnología, ecología, criopreservación, microbiología.

INTRODUCCIÓN

Las bacterias son organismos procariotas unicelulares, es decir, organismos compuestos por una sola célula con características diferentes comparadas con las células que conforman a las plantas, animales y humanos. Estas

¹ Programa de Posgrado BEMARENA. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. lizeth.raygoza@alumnos.udg.mx

² Investigadora Posdoctoral (SECIHTI) asociada al Laboratorio de Microbiología, Instituto de Fisiología Celular. Departamento de Biología Celular y Molecular, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. *eavilacastro09@gmail.com

Recibido: 18/02/2025

Aceptado: 09/05/2025

Publicado: 14/05/2025

bacterias viven libremente en el suelo, aire, sedimentos, y océanos. En pocas palabras, se encuentran presentes en todos lados. De igual forma, las encontramos en asociación con animales; viviendo en la piel, boca, tracto gastrointestinal, inclusive en las plantas; en las flores, hojas, néctar, raíces, tallos. Así que sí, también habitan en nosotros, en la cara del ahora lector, por ejemplo.

Estos increíbles microorganismos son de gran importancia tanto para los organismos como para el ambiente, ya que realizan funciones únicas e indispensables para el mantenimiento y el equilibrio ecológico. En ecosistemas terrestres y marinos, las bacterias son las encargadas de múltiples tareas como la captación de energía, contribuyen a la descomposición de la materia orgánica y al reciclamiento en los ciclos biogeoquímicos (p. ej., nitrógeno, carbono y azufre). Además, actúan de superhéroes por fungir como escudos protectores en los seres vivos (p. ej., corales, colibríes, y tu peor enemigo), ya que las bacterias proveen la defensa contra microorganismos infecciosos y en otros casos, son capaces de recuperar ambientes contaminados, regresándolos a su condición natural (p. ej., derrames petroleros, desechos de aguas negras). Finalmente, colaboran de igual forma con las plantas (sí, esas plantas del patio de tu casa o de las flores favoritas de tu mamá), al ayudarlas a obtener nitrógeno del aire, y eso hace que crezcan grandes y fuertes.

BACTERIAS CULTIVABLES

Las bacterias pueden aislarse, esto es, lograr hacerlas crecer en condiciones de laboratorio. Los microorganismos que crecen en los me-

dios de cultivo, los denominamos «bacterias cultivables», ya que no todos los microorganismos lo hacen, de hecho, solo del 1 al 10% son cultivables. En ambientes marinos el porcentaje de bacterias cultivables es aún menor al 0.1%. Los medios de cultivo utilizados para hacer crecer bacterias proveen los nutrientes indispensables que toda bacteria necesita: una fuente de carbono, una fuente de nitrógeno y una de sales, principalmente. Ojo, a pesar de que el porcentaje de bacterias cultivables es bajo, el cultivo y su preservación en condiciones de laboratorio es de gran importancia tanto en temas ecológicos (Figura 1) como biotecnológicos (Figura 2).

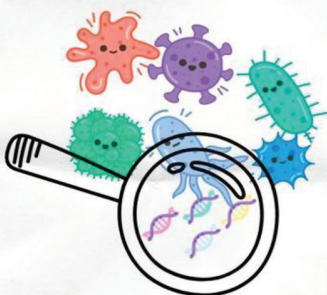
¿POR QUÉ PRESERVAR LAS BACTERIAS?

Una vez que lograste la gran hazaña de aislar una bacteria, no te puedes dar el lujo de dejarla morir. Por lo que se deben de guardar, y no por algunos días o meses, ¡No!, tienes que conservarla por años. Pero, ¿Cómo preservarlas manteniendo sus funciones vitales intactas? En la actualidad, existen métodos, ya desarrollados, que nos permiten esto. El objetivo de estas técnicas es ralentizar las funciones vitales de las bacterias, algo así como ponerlas a dormir, así se mantienen en un estado de «vida suspendida» durante largos periodos de tiempo. De este modo, existen múltiples laboratorios que cuentan con colecciones de cepas bacterianas de gran importancia en diversas especialidades.

Estas técnicas de preservación deben de, sí o sí, cumplir con tres fundamentos principales: 1) Garantizar la sobrevivencia de al menos el 70 al 80% de las células, está bien que

APLICACIONES ECOLÓGICAS

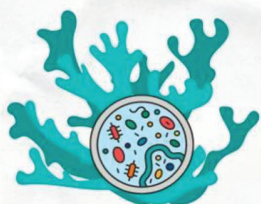
La preservación de la diversidad genética



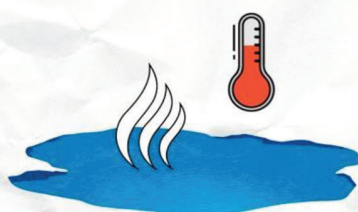
Las bacterias biopreservadas se utilizan para conocer algunas de sus funciones:



Interacciones huésped-bacteria



Resistencia a antibióticos



Adaptación a condiciones extremas



Figura 1. La preservación de las bacterias cultivables tiene aplicaciones ecológicas en la conservación de la biodiversidad microbiana ya que permite preservar la diversidad genética de microorganismos que juegan roles esenciales en los ecosistemas. Además, son importantes en los estudios acerca de la diversidad funcional que los microorganismos desempeñan en los ecosistemas y en sus huéspedes. Por ejemplo, interacciones simbióticas, resistencia a los antibióticos y la adaptación a condiciones extremas. Las ilustraciones fueron creadas con Canva.com el 07 de septiembre 2024, por Lizeth N. Raygoza Alcantar.

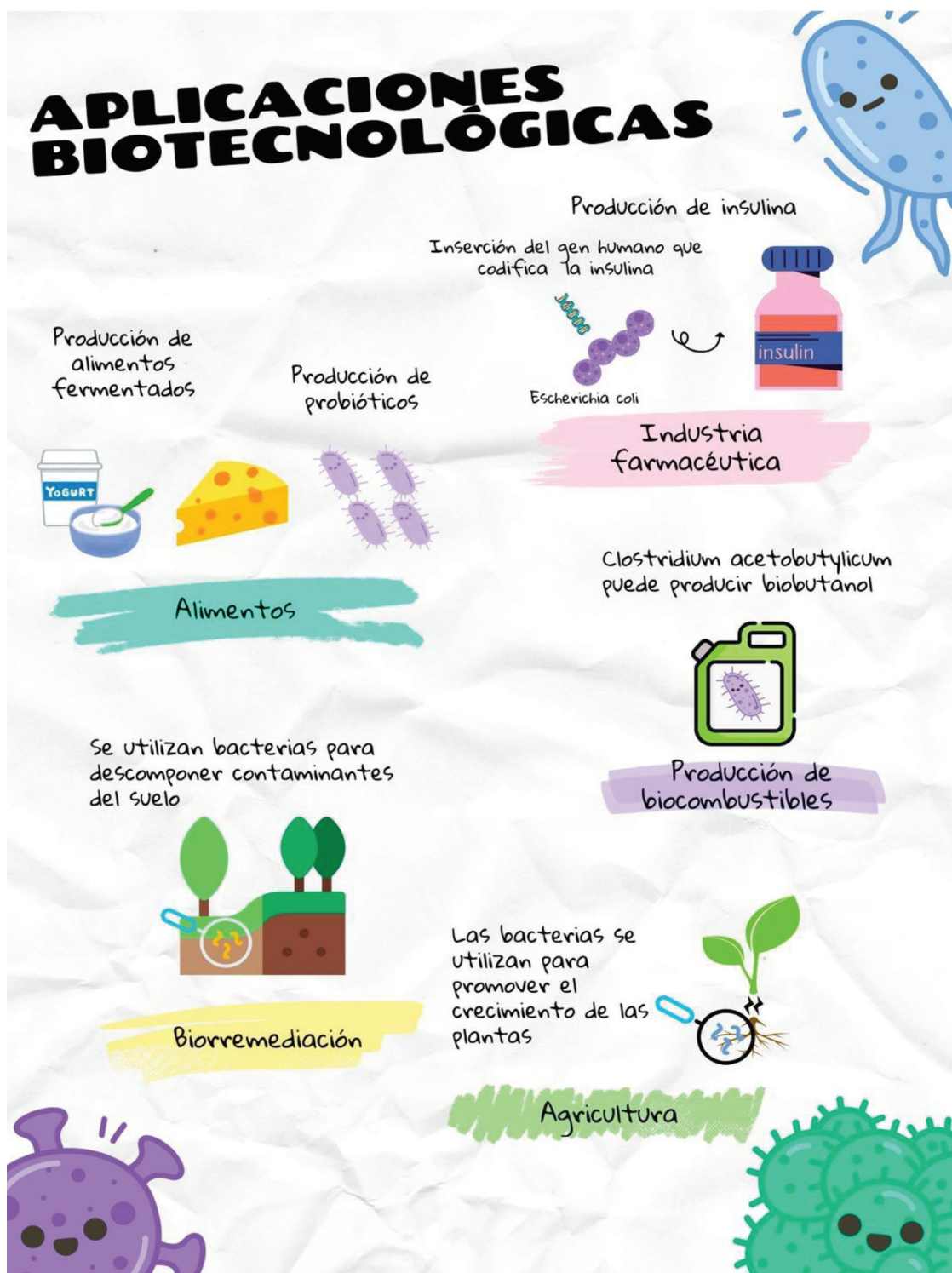


Figura 2. La preservación de las bacterias cultivables tiene diferentes aplicaciones biotecnológicas. 1) En la industria farmacéutica se utilizan para producir medicamentos. 2) En la producción de alimentos fermentados y probióticos. 3) En la producción de biocombustibles. 4) Algunas bacterias tienen potencial biorremediador. 5) En la agricultura, las bacterias son utilizadas para promover el crecimiento de las plantas. Las ilustraciones fueron creadas con Canva.com el 08 de septiembre 2024, por Lizeth N. Raygoza Alcantar.

se mueran algunas, pero no más de la mitad, 2) Mantener la pureza de la cepa, es decir, que solo crezca la bacteria que quieres guardar, no se aceptan invitados, y 3) Preservar la estabilidad genética, o sea, que no vaya a mutar y convertirse en una súper bacteria.

Previo a elegir cualquier técnica, debes de considerar que tus aislados bacterianos deben de estar completamente puros, contar con un código y con las características morfológicas del microorganismo que vas a preservar, todo esto para llevar el adecuado control de tus ceparios bacterianos.

MÉTODOS DE PRESERVACIÓN

Criopreservación

Este es el método más utilizado, se basa en la reducción del metabolismo al mínimo, lo suficiente para mantenerlo vivo, y se logra por medio de la congelación. Algo similar como lo que le ocurrió a Steve Rogers en Capitán América. Las células bacterianas se mantienen entre temperaturas de -80°C a -190°C . Y ya sea que se congelen por medio del equipo de congelador o por medio de nitrógeno líquido, la desventaja de este último es que genera un alto costo de operación debido a que se necesita un suministro permanente de nitrógeno líquido.

La Federación Mundial de Colecciones de Cultivo (wfcc), algo así como la dirección de la escuela, nos indica que la técnica de criopreservación cumple con los requisitos para preservar cultivos microbianos a largo plazo, (esos fundamentos que te comentamos anteriormente). Esta técnica implica tener a las células en un líquido que actuará como un agente protector, este es súper importante porque es el que protege a la célula del daño

que se pueda producir en la formación de los cristales. Cuando el agua se congela, la primera estructura que se forma, son pequeños cristales que actuarían como navajas y perforarían las membranas de las células, el líquido protector evita que se formen esos cristales. Cuando hablamos de agentes protectores, tenemos dos equipos estrella. En el equipo de los penetrantes se encuentra el glicerol, el dimetilsulfóxido (DMSO) y el propanediol. Estos pequeños y ágiles jugadores son de bajo peso molecular y atraviesan la membrana celular con facilidad. Por otro lado, en el equipo de los no-penetrantes encontramos a la sacarosa, glucosa, dextrosa y dextrano. Estos gigantes de alto peso molecular son perfectos para las altas velocidades de congelación, promoviendo una rápida deshidratación celular. ¡Y lo mejor es que ambos equipos suelen trabajar juntos para una protección óptima! (Figura 3).

Ventajas:

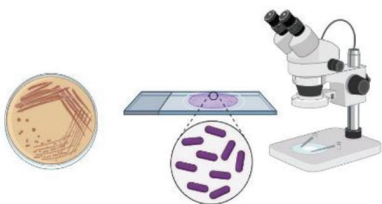
- Se puede aplicar a la mayoría de los géneros microbianos.
- La criopreservación permite que los microorganismos se puedan conservar durante décadas sin perder sus propiedades genéticas y fenotípicas.
- Existe menos riesgo de que las colonias preservadas se contaminen, debido a las bajas temperaturas.

Desventajas:

- Dependiente de suministro de nitrógeno líquido o electricidad.
- Requiere de la adquisición de equipos de alto costo.
- Los continuos procesos de congelamiento y descongelamiento producen cambios en

Técnica de Criopreservación

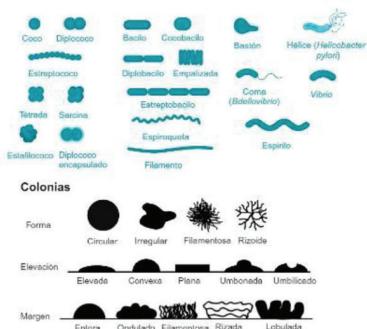
- 1 Verifica la pureza de las colonias bacterianas



- 2 Identifica todos los aislados a biopreservar con un código



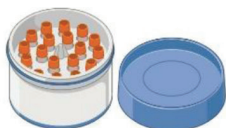
- 3 Incluye la morfología tanto de las células como de las colonias



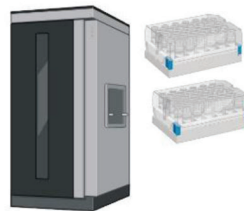
- 4 Realiza 4 copias de cada aislado criopreservado, una será el "testigo"



- 5 Los criopreservados se someten a un sistema de descenso de temperatura



- 6 Los criopreservados se meten en cajas y se mantienen en congelación



- 7 Después de 48 h, se retira la copia testigo para verificar su viabilidad



Asegúrate que el microorganismo se logró recuperar y fue resistente al proceso de preservación



Figura 3. Técnica de criopreservación, breve descripción de los pasos a seguir que se realizan en laboratorios certificados para una correcta criopreservación de aislados bacterianos. Las ilustraciones fueron creadas con BioRender.com el 01 de agosto 2024, por Lizeth N. Raygoza Alcantar.

las células que pueden resultar letales para las mismas.

- Si el procedimiento no se hace de manera adecuada, es posible que exista la formación de cristales de hielo, por lo que se puede propiciar el daño celular y la elección inadecuada de crioprotectores puede producir contaminación.

Liofilización

Esta técnica consiste en eliminar el agua presente en una sustancia congelada mediante la sublimación del hielo. Es decir, el agua en estado sólido pasa directamente a estado gaseoso sin pasar por el estado líquido. ¡Sí, esto es posible! Es similar a la comida de los astronautas, que se conserva para mantener su valor nutricional. Lo mismo ocurre con las bacterias: mantienen sus características morfológicas y funciones. Este método nos permite congelar el agua libre de las células y luego eliminarla mediante vacío, sin necesidad de aumentar la temperatura, lo que podría afectar la supervivencia del microorganismo.

Para este método, se debe de tener el cultivo celular, una solución compuesta de agua y una sustancia lioprotectora, que tiene la misma función del agente protector del método anterior, pero con diferente nombre. Los lioprotectores son como los superhéroes de la liofilización bacteriana. Entre ellos, tenemos al suero equino, algunos polialcoholes y una pandilla de disacáridos que terminan en «osa», como la trehalosa, lactosa, maltosa y sacarosa. Pero el verdadero campeón, por su bajo costo, es la leche descremada al 10% con 1% de glutamato de sodio. Este método es súper recomendable por su comodidad para almacenar y enviar cepas, ya que una vez liofilizadas,

¡pueden guardarse a temperatura ambiente sin problemas! (Figura 4).

Ventajas:

- La preservación de los microorganismos es independiente de electricidad o nitrógeno líquido.
- Se tiene menos riesgo de que los aislados preservados se contaminen, debido a las bajas temperaturas.

Desventajas:

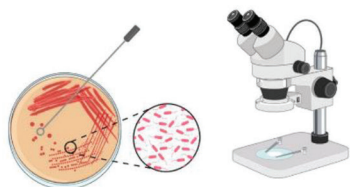
- Durante el proceso de congelación y sublimación, los cristales de hielo pueden dañar las células si no se utilizan protectores adecuados.
- No todos los géneros bacterianos son resistentes al proceso de liofilización, por lo que no pueden ser preservados con este método.

CONCLUSIÓN

La preservación de células es fundamental, ya que nos asegura una fuente constante de recursos para diversas aplicaciones. La Federación Mundial de Colecciones de Cultivos (wfcc) recomienda los métodos mencionados para una preservación adecuada. Ahora que has explorado un poco más del fascinante mundo microbiano, te invitamos a seguir descubriendo los increíbles trabajos que se realizan en los laboratorios de microbiología. ¡La biopreservación es clave en investigaciones ecológicas y biotecnológicas! Así que, sigue aprendiendo y maravillándote con los secretos que estos diminutos organismos tienen para ofrecer.

Técnica de Liofilización

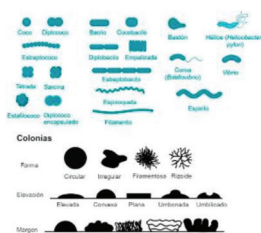
- 1 Asegúrate de que las cepas bacterianas se encuentren puras



- 2 Identifica todos los aislados a liofilizar con un código



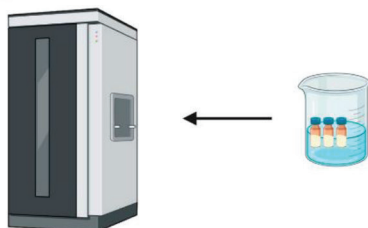
- 3 Incluye la morfología tanto de las células como de las colonias



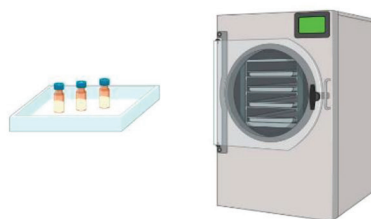
- 4 Realiza la suspensión lioprotectora con la muestra y dispensa en viales de vidrio



- 5 Sumerge los viales en etanol a -60°C y -70°C de 2 a 10 min



- 6 Introduce los viales al liofilizador con las condiciones óptimas de presión y temperatura



- 7 Almacena los viales en gavetas resistentes, y deben mantenerse en oscuridad a 5°C



Asegúrate que el microorganismo se logró recuperar y fue resistente al proceso de liofilización

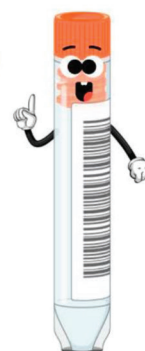


Figura 4. Técnica de liofilización, breve descripción de los pasos a seguir que se realizan en laboratorios certificados para liofilizar de manera correcta los aislados bacterianos. Las ilustraciones fueron creadas con BioRender.com el 09 de agosto 2024, por Lizeth N. Raygoza Alcantar.

REFERENCIAS

- López, M. D. G. y Fernández, F. U. (2000). La conservación de cepas microbianas. *SEM@foro*, 30(200), 12-16.
- Miyamoto-Shinohara, Y., Sukenobe, J., Imaizumi, T., y Nakahara, T. (2008). Survival of freeze-dried bacteria. *The Journal of general and applied microbiology*, 54(1), 9-24.
- Moreno-Gámez, S. (2022). How bacteria navigate varying environments. *Science*, 378(6622), 845-845.
- Ocares, Y. y Castro, J. F. (2020). Preservación de microorganismos por congelación. *Boletín INIA*, (428), 119-134.
- Ong, J. W., Song, Z., Abid, H. A., Lin, E. S., Liew, O. W., y Ng, T. W. (2022). Cryoprotectant-free preservation of bacteria using semi-spherical drops. *Cryobiology*, 104, 98-101.
- Torsvik, V., Øvreås L., y Thingstad T. F. (2002). Prokaryotic diversity-Magnitude, dynamics, and controlling factors. *Science*, 296, 1064-6
- wfcc (World Federation for Culture Collections) (2010). *For the establishment and operation of collections of cultures of microorganisms*. 3rd Edition: wfcc. Consultado el 22 de diciembre de 2024. <https://wfcc.info/guideline>

¿Chopopo, popoyote, puyequé o dormilón? Llámallo como quieras... ¡pero Pruébalo!

Alondra Guadalupe Figueroa Salazar^{1,2}, Cinthya Montoya-Martínez¹,
Evelin Morales Martínez³ y Fernando Vega-Villasante¹

RESUMEN: El chame, también conocido como chopopo, dormilón gordo, popoyote o puyequé (*Dormitator latifrons*), es un pez nativo de las costas del Pacífico americano que ha sido parte esencial de la cocina tradicional de regiones de México, Guatemala, El Salvador y Ecuador. Este artículo de divulgación explora su alto valor nutricional, destacando su aporte de proteínas de alta calidad, ácidos grasos omega-3 y bajo contenido de grasa, lo que lo convierte en una excelente opción alimentaria para dietas saludables. Además, se incluye un recetario con preparaciones tradicionales y creativas que muestran la versatilidad gastronómica del chame y su potencial para recuperar protagonismo en las mesas actuales.

Palabras clave: chame, dormilón gordo, calidad nutricional, recetas tradicionales, gastronomía.

SALUD EN LAS OLAS: LOS BENEFICIOS ASOMBROSOS DEL PESCADO

¿Alguna vez te has preguntado por qué los expertos en nutrición recomiendan incluir pescado en nuestra dieta? La respuesta es fascinante: el pescado es uno de los alimentos más completos que la naturaleza nos ofrece, el cual esconde en su carne un arsenal de nutrientes esenciales para nuestra salud. Aunque, cuando hablamos de este alimento, es inevitable no pensar también en la carne de otros animales, y no es para menos, todas se destacan por sus excelentes aportes nutricionales, pero cada una tiene sus características especiales. La buena noticia es que nuestra dieta tiene espacio para una gran variedad de alimentos saludables, como: frutas, verduras, cereales in-

¹ Laboratorio de Calidad de Agua y Acuicultura Experimental. Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. México.

² Programa de Maestría en Ciudad, Cambio Climático y Resiliencia. Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. México.

³ Restaurante «La Mojarra», San Pedro de las Playas, Acapulco Guerrero, México.

Recibido: 15/01/2025

Aceptado: 13/05/2025

Publicado: 16/05/2025

tegrales, legumbres, frutos secos, aceite de oliva, ingesta equilibrada de pescado y mariscos, consumo limitado o moderado de productos lácteos y un bajo nivel de consumo en carne roja y alimentos procesados. Por esta razón, incorporar pescado regularmente, como parte de una alimentación sana y equilibrada, puede ser una excelente manera de diversificar nuestras fuentes de proteínas y disminuir el consumo de grasas saturadas.

Pongámoslo de la siguiente manera, imaginemos el pescado como una cápsula premium de alta calidad, repleta de elementos vitales para nuestro organismo, que es capaz de absorberse fácilmente, con proteínas de alto valor y fácil digestión, además de grasas benéficas (omega 3) que actúan como guardianes de nuestro corazón y ayudan al desarrollo cerebral y de la visión. El conjunto de estos beneficios se ve reforzado por un coctel impresionante de vitaminas A, B, D y E, que trabajan en equipo para mantener las defensas ante cualquier amenaza, funcionando cual protector natural, fortalecido por minerales esenciales como calcio, yodo, zinc, fósforo y sodio.

Sin duda, incorporar el consumo de pescado tres o más veces por semana en nuestra dieta regular es una de las decisiones más inteligentes que podemos tomar para nuestra salud (cardiovascular y reducción del riesgo de diabetes) ya que, frecuentemente, los mejores remedios para nuestro bienestar no vienen en frascos, sino directamente de nuestra mesa.

DORMILÓN Y DELICIOSO: LA JOYA COSTEÑA QUE DEBES PROBAR

El dormilón gordo del Pacífico chame, puyequé, popoyote, chopopo o chalaco (*Dormitor latifrons*), es una especie nativa de México,

cuya distribución va desde California hasta las costas de Perú. Es consumido de manera tradicional en países como Guatemala, El Salvador y Ecuador, incluso en este último se lleva a cabo una exposición gastronómica llamada la «Feria del Chame». También se consume en otras zonas de la costa del Pacífico americano, incluida la región suroeste de México (Guerrero, Oaxaca y Chiapas), posicionándose como un manjar local.

Pero, ¿qué hace tan especial a este pescado como para haberse ganado un lugar en la cocina tradicional de estas regiones? La respuesta está en su carne, la cual es blanca, de pocas espinas, agradable sabor, olor delicado, textura firme y agradable, e incluso las huevas son muy apreciadas por su delicado gusto. Resulta ser un verdadero tesoro alto en proteínas y también en grasas benéficas sin embargo, se clasifica como bajo en grasa, lo cual es especialmente interesante para quienes buscan de opciones de dietas de este tipo.

Así que la próxima vez que estés pensando en una alternativa de comida saludable, recuerda a nuestro amigo el dormilón gordo. No solo estarás disfrutando de un delicioso platillo, sino que también estarás dando a tu cuerpo un verdadero festín nutricional.

ALETAS A LA COCINA: RECETAS DORMILONAS PERO TAMBIÉN DELICIOSAS

En un mundo donde cada vez somos más conscientes de la importancia de una alimentación saludable, el pescado se presenta como una opción no solo nutritiva sino también versátil y deliciosa, que busca aprovechar los ingre-

dientes comunes de muchas cocinas. Ya sea a la parrilla, al vapor, en ceviche, en sopas, estofado o frito, cada método de preparación nos permite aprovechar al máximo sus beneficios mientras deleitamos nuestro paladar. A continuación, te presentamos un compendio de recetas del dormilón gordo del Pacífico que a pesar de que es consumido tradicionalmente frito, ha demostrado tener una alta capacidad culinaria. Hemos mantenido el nombre de las recetas de acuerdo con la región geográfica y/o la autora de estas (Evelin Morales= EM, Cynthia Montoya= CM).

Caldo Costeño (4 porciones) San Pedro las Playas, Guerrero (EM)

Ingredientes

4 piezas de popoyote
2 jitomates
¼ de cebolla
3 chiles serranos
Orégano
1 rama de epazote
Sal al gusto
1 litro de agua

Procedimiento

Las 4 piezas de popoyote se escaman y se les saca las vísceras se les hacen cortes diagonales y se le pone sal al gusto.

Para la base del caldo se cortan en juliana los jitomates y la cebolla para posteriormente poner a sofreír en una cacerola en la cual que hará el caldo, ya sofrito se le anexa el litro de agua y se sazona con el orégano el epazote, ya que hierbe el caldo se le anexan los popoyotes limpios y rectificas el sabor de la sal, esperas

hasta que la carne esta blanda y el caldo costeño ya estará listo

Ceviche de popoyote estilo Acapulco (4 porciones) San Pedro las Playas, Guerrero (EM)

Ingredientes

1 kg carne de popoyote cortada en cuadritos grandes
3 jitomates
½ cebolla
1 manojito de cilantro
1 cucharadita salsa bruja
100 g aceitunas sin hueso
200 g salsa cátsup
600 ml de clamato
1 taza de jugo de naranja
5 jugos de limones
Orégano
Aceite de olivo
1 diente de ajo



Figura 1. Restaurante «La Mojarra», San Pedro de las Playas, Acapulco Guerrero, México.



Figura 2. Filete de puyequé crudo. Foto de Cynthia Montoya.

Procedimiento

Se pasa el popoyote por agua caliente por unos 2 minutos para que el pescado no se deshebre y se reserva, se corta en cubitos el jitomate, la cebolla y el cilantro. Las aceitunas se ponen enteras o cortadas por la mitad. Se ponen juntos en un recipiente de cristal junto con la salsa de tomate, salsa bruja, el clamato, el jugo de naranja y el jugo de limón.

Dato importante: para sazonar se calienta el aceite de oliva y en él se pone a quemar el ajo, ya que este quemado se agrega a la mezcla.

El pescado se le anexa al final ya que esta todo el ceviche listo para que la carne de popoyote mantenga su forma, este se sirve con aguacate al gusto, galletas y tostadas.

Chilorio de puyequé (CM)

Ingredientes

8 filetes de puyequé picados
2 chiles anchos desvenados, asados y suavizados en agua
2 chiles guajillos desvenados, asados y suavizados en agua

$\frac{1}{4}$ de cebolla, asada
1 diente de ajo, asado
2 clavos de olor
2 pimientas gordas
 $\frac{1}{4}$ de raja de canela
1 pizca de comino
1 pizca de orégano
1 cucharadita de vinagre blanco
1 cucharadita de manteca o aceite de oliva
Sal y pimienta al gusto

Procedimiento

Licúa los chiles con la cebolla, el ajo, las especias (clavo, pimienta, canela, comino, orégano) y el vinagre blanco hasta obtener una salsa espesa. Cuela para eliminar residuos sólidos y reserva.

Sazona los filetes de puyequé con sal y pimienta. En una sartén caliente con manteca o aceite de oliva, cocina el pescado hasta que esté dorado. Luego, desmenúzalo ligeramente con una cuchara de madera o espátula.

Vierte la salsa sobre el pescado y cocina a fuego bajo durante 5 minutos, revolviendo suavemente hasta que el chilorio tome una textura uniforme y sabrosa.

Sugerencia de consumo: sirve caliente en tostadas, tacos o burritos. Puedes acompañar con frijoles negros refritos, guacamole y cebollitas encurtidas.

Chopopo zarandeado (CM)

Ingredientes

8 filetes de chopopo o puyequé
3 jitomates
1 chile guajillo sin semillas
1 diente de ajo chico
 $\frac{1}{4}$ de cebolla

1 pizca de comino
 1 pizca de orégano seco
 Jugo de naranja (cantidad suficiente para licuar)
 Sal al gusto

Procedimiento

Hierve los jitomates, el chile guajillo, el ajo y la cebolla hasta que estén suaves. Después, licúa estos ingredientes junto con una pizca de comino, orégano y un chorrito de jugo de naranja hasta obtener una pasta espesa. Sazonar con sal al gusto.

Mientras tanto, limpia los filetes de pescado y sazónalos con sal y unas gotas de jugo de limón. Luego, úntalos por ambos lados con la pasta que preparaste.

Coloca los filetes en una charola para hornear, cúbrelos con papel aluminio y hornéalos a temperatura media (180 °C) durante 20 a 25 minutos, o hasta que estén cocidos y ligeramente dorados.

Dormilón acapulqueño (EM)

Ingredientes

600 g de filetes de puyequé picados en cubos medianos
 1 taza de jugo de limón
 ½ de taza de cebolla morada picada finamente
 1 aguacate en cubos
 ½ de taza de cilantro picado
 ½ taza de cátsup
 3 cucharadas de jugo sazónador (tipo MAG-GI®)
 ½ taza de jugo de naranja natural
 1 cucharada de aceite de oliva
 ¼ Taza de aceitunas sin hueso, rebanadas
 Sal y pimienta al gusto

Procedimiento

Coloca los cubos de pescado en un recipiente de vidrio y cúbrelos con el jugo de limón. Refrigera durante 30 minutos para que el pescado se marine y adquiera una textura firme y sabor cítrico.

Escurre el exceso de jugo de limón y añade la cebolla, el aguacate, el cilantro, el cátsup, el jugo sazónador, el jugo de naranja, el aceite de oliva y las aceitunas. Mezcla con suavidad para integrar todos los ingredientes sin deshacer el pescado. Sazonar con sal y pimienta al gusto.

Sugerencia de consumo: sirve frío como ceviche, acompañado de galletas saladas o tostadas. Es una opción refrescante y nutritiva, ideal para climas cálidos.

Empapelado de puyequé a la mexicana (CM)

Ingredientes

4 puyequés enteros
 2 jitomates en rebanadas
 ½ cebolla en aros
 Chiles verdes sin semillas en rajas (cantidad al gusto)
 Sal de ajo, sal y pimienta al gusto
 1 cucharadita de aceite de oliva
 Cilantro y epazote fresco al gusto

Procedimiento

Coloca un trozo de papel aluminio suficiente para envolver completamente cada pescado. Barniza la superficie interior con aceite de oliva. Acomoda un puyequé sobre el papel y sazónalo por dentro y por fuera con sal de ajo, sal de mesa y pimienta.

Rellena el interior del pescado con rebanadas de jitomate, aros de cebolla, rajas de chile

verde, cilantro y epazote fresco. Cierra el papel aluminio doblando varias veces los bordes para formar un paquete hermético.

Cocina sobre una plancha caliente o comal durante 10 a 12 minutos por cada lado, o hasta que el pescado esté cocido al vapor dentro de su envoltura.

Sugerencia de acompañamiento: sirve caliente con arroz blanco o ensalada fresca. Es una excelente opción baja en grasa y rica en sabor.

Hamburguesa de puyequé (CM)

Ingredientes

600 g de pescado molido o picado finamente (puyequé o popoyote)

1 cebolla mediana, finamente picada

1 diente de ajo

Perejil fresco al gusto

1 huevo

1 cucharada de jugo sazonador (tipo MAG-GI®)

Pan molido (cantidad necesaria para dar consistencia)

Aceite de oliva extra virgen

Sal y pimienta blanca al gusto

Para servir:

Panes para hamburguesa

Rodajas de jitomate natural

Hojas de lechuga (cualquier variedad al gusto)

Mayonesa, catsup y mostaza al gusto.

Procedimiento

En un tazón grande, mezcla el pescado molido con la cebolla, el ajo, el perejil, el huevo, el jugo sazonador, sal, pimienta y suficiente pan molido hasta obtener una mezcla compacta y manejable.

Forma cuatro porciones de carne con las manos y aplánalas para dar forma a las hamburguesas. Si deseas, puedes colocarlas sobre papel encerado o film para facilitar su manipulación.

En una sartén antiadherente, calienta un poco de aceite de oliva y cocina las hamburguesas durante 3 a 4 minutos por cada lado, hasta que estén bien doradas y cocidas por dentro.

Sugerencia de consumo: sirve cada hamburguesa dentro del pan con jitomate, lechuga y los aderezos de tu preferencia. Una excelente alternativa para introducir pescado en la dieta de una forma práctica y sabrosa.

Hueva asada

San Pedro las Playas, Guerrero (EM)

Ingredientes

250 g hueva de popoyote

Sal

Limón al gusto

Procedimiento

Presentación asada. Coloca la hueva limpia sobre una superficie cubierta y déjala reposar al



Figura 3. Hueva cruda de puyequé. Foto de Cynthia Montoya.

sol durante un día, espolvoreando sal al gusto para ayudar a su secado. Una vez que esté ligeramente deshidratada, ásala en un sartén caliente durante aproximadamente 3 minutos, volteando para que se cueza de manera uniforme.

Presentación frita. Usando los mismos ingredientes también puedes freír la hueva en un sartén con un poco de aceite y sal al gusto. Fríe durante aproximadamente 5 minutos, hasta que esté dorada por fuera y cocida por dentro. Retírala y escúrrela en papel absorbente. Sirve como aperitivo, acompañada de limón y tu salsa favorita.

Machaca de chopopo (CM)

Ingredientes

8 filetes de puyequé
1 cebolla picada
4 jitomates sin semillas y picados
1 chile verde picado (o 1 chile poblano, sin semillas y picado, si lo prefieres sin picante)
1 taza de cilantro picado
Sal de ajo, orégano y pimienta al gusto
Aceite de oliva de oliva

Procedimiento

En una sartén, calienta un poco de aceite de oliva y sofríe la cebolla hasta que esté transparente. Agrega los filetes de puyequé y cocina a fuego medio hasta que estén cocidos. Con ayuda de una espátula, desmenúzalos ligeramente.

Sazonar con sal de ajo, orégano y pimienta. Incorpora el jitomate, el chile verde y el cilantro, mezclando todos los ingredientes. Cocina hasta que el guiso quede casi seco, para concentrar los sabores.

Sugerencia de consumo: sirve caliente como relleno para tacos en tortillas de maíz o harina.

Puedes acompañar con limón, salsa al gusto o guacamole para un platillo nutritivo, lleno de sabor local.

Pescadilla de popoyote

San Pedro las Playas, Guerrero (EM)

Ingredientes

½ cebolla picada
3 jitomates picados
4 filetes de popoyote
Sal al gusto
1 diente de ajo
3 hojas de laurel
Orégano seco al gusto
Aceite vegetal
Tortillas de maíz
Ensalada y salsa picante (para acompañar)

Procedimiento

En una sartén con un poco de aceite, sofríe la cebolla, el jitomate y el ajo hasta que estén bien cocidos. Agrega los filetes de popoyote



Figura 4. Pescadillas de popoyote. Foto de Evelin Morales.

troceados o enteros, junto con las hojas de laurel, el orégano y la sal. Cocina a fuego medio hasta que el pescado esté suave y los sabores se hayan integrado. Si es necesario, añade un poco de agua para evitar que el guiso se seque.

Una vez que el pescado esté bien cocido y el líquido haya reducido, retira del fuego. Toma las tortillas y rellénalas con el guiso, formando pequeños tacos. Fríelos en aceite caliente hasta que estén dorados por ambos lados. Escurre en papel absorbente.

Sugerencia de consumo: sirve las pescadillas acompañadas de ensalada fresca y salsa al gusto. Una excelente opción para disfrutar el sabor del mar con un toque tradicional costeño.

Popoyote a la talla (4 porciones) San Pedro las Playas, Guerrero (EM)

Ingredientes

4 piezas de popoyote limpio y abierto en corte mariposa
100 g chile guajillo
100 g de mantequilla
3 dientes de ajo pelados
 $\frac{1}{4}$ de Cebolla
Sal
Orégano
3 Hojas de laurel
Mayonesa (opcional)

Receta para el adobo:

En un sartén, tatema ligeramente el chile guajillo, los dientes de ajo y la cebolla. Una vez que estén dorados, licúalos con un poco de agua, añadiendo orégano, las hojas de laurel y sal al gusto. Esto formará un adobo de sabor intenso y aromático.

Procedimiento

Coloca cada pieza de popoyote sobre papel aluminio. Unta por ambos lados con mantequilla y, si se desea, con una capa ligera de mayonesa. A continuación, distribuye el adobo por la superficie del pescado y deja reposar durante 10 minutos para que absorba los sabores.

Lleva las piezas a la parrilla a temperatura media y cocina durante aproximadamente 8 minutos por lado o hasta que estén doradas y cocidas por completo.

Sugerencia de acompañamiento: este platillo se disfruta mejor con ensalada fresca, arroz blanco o papas a la francesa.

Popoyote al chingadazo (4 porciones) San Pedro las Playas, Guerrero (EM)

Ingredientes

4 popoyotes abiertos (estilo mariposa)



Figura 5. Puyequé y tilapia preparados para freír. Foto de Cynthia Montoya.



Figura 6. Puyequé y tilapia fritos. Foto de Cynthia Montoya.

250 g chile serrano o el de tu preferencia
3 dientes de ajo
 $\frac{1}{4}$ de cebolla
1 manojo de epazote
Sal

Procedimiento

Las 4 piezas de popoyote limpio y con sal al gusto se ponen a freír en un sartén con abundante aceite para que no se pegue y dejás cocinar hasta que la carne este de un color dorado aproximadamente 5 minutos por cada lado, hasta que están bien fritos. Licua el chile serrano con el ajo y la cebolla. En el mismo sartén o cacerola en el cual se cocinó el pescado, sacándole un poco del aceite se vierte la salsa para que se sazone con el epazote y un poquito de sal hasta que toda la mezcla quede bien cocinada y sazonada.

Este platillo se puede servir de dos maneras vertiendo salsa directo el plato listo para presentar a la mesa el popoyote frito bañado de salsa al chingadazo o puedo anexarle los popoyotes fritos a la salsa y esperar uno 3 min hasta que todos los sabores se integren. Para emplatar se acompañan de arroz, ensalada o frijoles.

Snacks de puyequé (CM)

Ingredientes

10 filetes de puyequé
4 hojas de laurel
40 g sal de grano
 $\frac{1}{2}$ litro de agua

Procedimiento

Hierve medio litro de agua en una olla y añade las hojas de laurel. Deja hervir durante 10 minutos para que suelten su aroma. Retira las hojas y agrega la sal, mezclando bien hasta disolverla por completo. Deja que esta solución salina se enfríe ligeramente.

Sumerge los filetes de puyequé en el agua salada tibia durante 10 minutos. Luego, escúrrelos bien y colócalos sobre una charola para hornear.

Hornea a 50 °C durante aproximadamente 3 horas, o hasta que los filetes estén completamente deshidratados y crujientes. Una vez fríos, guárdalos en un recipiente hermético y consérvalos en refrigeración.

Sugerencia de consumo: disfrútalos como botana acompañados de jugo de limón y salsa picante. Son una opción ligera, rica en proteínas y fácil de conservar.



Figura 7. Snack de puyequé. Foto de Cynthia Montoya.

Tiritas de pescado popoyote

San Pedro las Playas, Guerrero (EM)

Ingredientes

1 kg de filete de popoyote (sin espinas)
 1 cebolla morada en julianas
 4 chiles habaneros en julianas
 15 limones (jugo)
 1 pepino en rodajas (opcional)
 1 aguacate en cubos
 Sal al gusto

Procedimiento

Corta el filete de popoyote en tiras delgadas (tipo juliana) y colócalas en un recipiente de vidrio. Refrigerera durante 15 minutos para que el pescado se mantenga fresco. Mientras tanto, exprime el jugo de los limones y corta en julianas la cebolla y los chiles.

Transcurrido el tiempo, incorpora al pescado el jugo de limón, la cebolla, los chiles y una pizca de sal. Mezcla suavemente para no romper las tiras de pescado y deja marinar en refrigeración durante 30 minutos.

Sirve frío, acompañado de rodajas de pepino, cubos de aguacate y tostadas o galletas saladas al gusto.

LITERATURA RELEVANTE

Basto-Rosales, M. E. R., Carrillo-Farnés, O., Montoya-Martínez, C. E., Badillo-Zapata, D., Rodríguez-Montes de Oca, G. A., Álvarez-González, C. A., Nolasco-Soria, H., Vega-Villasante, F. (2020). Meat protein quality of *Dormitator latifrons* (Pisces: Eleotridae): arguments for use by rural communities. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(1), e2172.

López-Huerta, J., Vega-Villasante, F., Viana, M., Carrillo-Farnes, 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.

Montoya-Martínez, C. E., Carrillo-Farnés, O., Barreto-Curiel, F., Badillo-Zapata, D., Álvarez-González, C. A., Ruíz-Velazco Arce, J. M.J., Nolasco-Soria, H., y Vega-Villasante, F. (2023). Somatic indices and nutritional composition of the roe of *D. latifrons*. *Agro Productividad*, 16(2), 37-45.

Montoya-Martínez, C., Vega-Villasante, F., Carrillo-Farnés, O., Álvarez-González, C. A., Martínez-García, R., Badillo-Zapata, D., y Nolasco-Soria, H. (2022). Yield, sensory and proximate analysis of *Dormitator latifrons* fillets prepared with different cooking methods. *Agro Productividad*.

Nieves-Rodríguez, K. N., Aréchiga Palomera, M., Peña Marín, E. S., Badillo Zapata, D., Chong Carrillo, O., y Vega-Villasante, F. (2022). Un dormilón gordo nutritivo pero menospreciado: el «chopopo». *Lucidum Ciencia*, (1), 33-38.

Vega-Villasante, F., Ruiz-González, L. E., Chong-Carrillo, O., Basto-Rosales, M. E. R., Palma-Cancino, D. J., Tintos-Gómez, A., Montoya-Martínez, C. E., Kelly-Gutiérrez, L. D., Guerrero-Galván, S. R., Ponce-Palafox, J. T., Zapata, A., Musin, G. E., y Badillo-Zapata, D. (2021). Biología y uso del durmiente gordo del Pacífico *Dormitator latifrons* (Richardson, 1844): revisión del estado del arte. *Revista Latinoamericana de Investigaciones Acuáticas*, 49(3), 391-403.

La criatura que susurra en Xochimilco: el ajolote entre el mito y la desaparición

Gabriela Huerta Ávila^{1,2} y Olimpia Chong Carrillo^{1,3}

RESUMEN: El ajolote mexicano, símbolo de resistencia y transformación, ha transitado desde su hábitat natural en los canales de Xochimilco hasta convertirse en un ícono cultural presente en billetes, videojuegos y campañas educativas. Este artículo explora la dualidad de su existencia: una especie en peligro crítico de extinción que goza de gran visibilidad simbólica. A través de ejemplos de apropiación cultural y de una encuesta de percepción pública, se reflexiona sobre la importancia de ir más allá del atractivo visual y promover una conciencia colectiva que impulse su conservación. El reto actual no es solo mantener viva su imagen, sino asegurar su existencia real como patrimonio biocultural de México.

Palabras clave: ajolote mexicano, conservación, identidad cultural, educación ambiental, extinción.

UN DIOS QUE SE NIEGA A DESAPARECER

¿Cómo puede una criatura enigmática como el ajolote estar tan presente en nuestra vida cotidiana y tan ausente en su propio hábitat?

Desde hace siglos el ajolote ha sido una figura de relevancia en la cultura mexicana. En los tiempos prehispánicos ya albergaba un lugar en la forma en que los mexicas entendían el mundo, relacionando al ajolote mexicano con Xolotl, un dios que representa el cambio, la dualidad y lo incierto. Curiosamente, aquella mítica conexión se refleja hoy en día, ya que al igual que el Dios Xolotl, el ajolote mexicano huye de su destino negándose a desaparecer, luchando por sobrevivir.

Aunque su hogar natural, los canales de Xochimilco, se encuentra bastante deteriorado,

¹ Laboratorio de Calidad de Agua y Acuicultura Experimental. Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. México.

² Programa de Maestría en Ciudad, Cambio climático y Resiliencia. Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. México.

³ Estancias Posdoctorales por México. SCIIIT. México.

Recibido: 13/02/2025

Aceptado: 19/05/2025

Publicado: 20/05/2025

esta especie ha logrado sobrevivir, pero ¿cómo lo ha hecho? Paradójicamente, gracias a la ayuda del mismo culpable que ha puesto en riesgo su existencia: el ser humano. Con proyectos de conservación y cría en cautiverio, el ajolote ha podido mantenerse con vida, aunque ya no como antes, en total libertad.

DEL CÓDICE AL CÓMIC: EL AJOLOTE EN LA CULTURA POPULAR

Más allá de su importancia ecológica, el ajolote también ha conquistado un espacio en la cultura popular, actualmente se erige como un emblema de la identidad mexicana, presente en obras literarias, caricaturas, videojuegos y toda clase de productos. En 2017, por ejemplo, los diseños de Itzel Oropeza Castillo fueron

seleccionados como emojis representativos de la Ciudad de México y a partir del mes de septiembre, del mismo año, se podían descargar desde la aplicación oficial en la Play Store como *Emoji by CDMX*, aunque dicha aplicación ya no se encuentra vigente (Figura 1).

Posteriormente, para el año 2018, el equipo de baloncesto Capitanes de la CDMX, adoptó al ajolote mexicano como su mascota oficial, nombrándolo «Juanjolote» (Figura 2a) con el objetivo de concientizar sobre su conservación, y a su vez, difundir sobre su importancia y rescate. Simultáneamente, en el mismo año, el Senado de la República Mexicana, por propuesta de la senadora Silvia Guadalupe Garza Galván, Senadora por el Estado de Coahuila, sometió la iniciativa de que cada 1° de febrero se celebrara el «Día Nacional del Ajolote»



Figura 1. Emoticones creados por Itzel Oropeza Castillo para la aplicación *Emoji By CDMX*, tomados de los noticieros web *Verne* (Rodríguez, 2017), *México desconocido* (Ochoa, 2017) e *Hipertextual* (Redondo, 2017).



Figura 2. a) Juanjolote, mascota oficial de los Campeones de la Ciudad de México, fotografía obtenida de la página oficial <https://capitanes.mx/juanjolote/>. b) Cartel oficial de Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas anunciando la celebración del día nacional del ajolote mexicano (Obtenida del sitio oficial Mexican Cultural Institute San Antonio). c) Billete con denominación de 50 pesos con la ilustración de «La Gorda» (Fotografía de Huerta-Ávila).

(Figura 2b), con festivales educativos que subrayen su valor cultural y ecológico. Este proyecto tiene como finalidad reconocer el valor biológico y cultural que representa la supervivencia del ajolote mexicano, y que los mexicanos se comprometan en conservar a la especie y los valores culturales de la región. En el año 2021, el Banco de México, usando como modelo a «La Gorda» ejemplar hembra del museo «Axolotitlan», puso en circulación el billete de

50 pesos con ella como protagonista, y como fondo el Lago de Xochimilco (Figura 2c).

Otro punto que destacar es la influencia de esta especie que trascendió más allá de las fronteras de la Ciudad de México, inspirando diversas manifestaciones artísticas y culturales en todo el país y el mundo digital. Desde murales urbanos (Figura 3a) hasta su inclusión en videojuegos populares como Minecraft (Figura 3b) y su celebración en plataformas



Figura 3. a) Mural de ajolote en el restaurante «Casamar» en el Malecón de Puerto Vallarta, Jalisco, México (Autor desconocido); b) Ajolotes de diversos colores dentro del videojuego Minecraft, tomada del sitio oficial minecraft.net; c) *Doodle* interactivo del 20 de mayo de 2023 celebrando el lago Xochimilco elaborado por Helene Leroux; d) Introducción del *doodle* interactivo de Google; e) Vistazo de la dinámica del juego, donde se toma una fotografía al hacer *click* sobre el ajolote y te proporciona un dato curioso o chiste sobre el ajolote mexicano; f) Ilustración final al completar el *doodle*. c) d) e) y f) son ilustraciones, diseños y animaciones elaboradas por Helene Leroux.

globales como Google, a través de un *doodle* interactivo, el ajolote se ha convertido en un ícono cultural contemporáneo.

LO QUE SABEMOS (Y NO) DEL AJOLOTE: UNA ENCUESTA REVELADORA

Sin embargo, a pesar de su creciente presencia simbólica, este carismático anfibio continua en peligro crítico de extinción. Esta contradicción nos lleva a preguntarnos: ¿es su atractivo visual lo único que nos importa?

Una encuesta realizada al público en general, en Puerto Vallarta, Jalisco, reveló que el 48% tenía bajo conocimiento del ajolote, el

41.8% poseía conocimiento moderado y solo un 7.2% un conocimiento avanzado. Sin embargo, un dato muy alentador fue que el 90.4% opinó que el ajolote debería estar más presente en los programas educativos. Lo anterior permite concluir que, aunque no todos lo conocen bien, existe una aceptación generalizada de su valor tanto ecológico como de símbolo de identidad mexicana.

Estos resultados reflejan que, a mayor conocimiento sobre el ajolote, mayor es la apreciación por su valor simbólico. Aquellos con un entendimiento más profundo tienden a identificar al ajolote no solo como un animal curioso, sino como una representación viva de la historia, mitología y biodiversidad mexicana.

¿ÍCONO VISUAL O SER VIVO? EL RETO DE LA CONSERVACIÓN REAL

El reto actual es no solo difundir la imagen del ajolote, sino en educar sobre su importancia ecológica y cultural. Solo a través del conocimiento y la sensibilización podremos evitar que se convierta en un símbolo de lo que ya no supimos proteger. Promover su imagen en el ámbito educativo, fortalecer su representación en la cultura mexicana y generar estrategias que conecten emocionalmente a la sociedad con su historia y valor biológico son acciones clave para su preservación.

Por lo tanto, el ajolote mexicano representa más que una especie de anfibio en peligro de extinción, un emblema de la riqueza biológica y cultural de México. Su permanencia dependerá de la capacidad de la sociedad para reconocer su importancia y tomar medidas, asegurando que las futuras generaciones no solo lo conozcan como una figura en un billete o videojuego, sino como parte viva de nuestro patrimonio.

LITERATURA RELEVANTE

Aguilar Moreno, R. y Aguilar Aguilar, R. (2019). The mythical monster of the lake: the conservation of the axolotl in

Xochimilco. *Revista Digital Universitaria*, 20(1), 1-15. <https://doi.org/10.22201/co-deic.16076079e.2019.v20n1.a1>

González, C. (13 de enero de 2022). Juanjolote, la mascota del equipo de basquetbol de la CdMx. *Central Puebla Irreverente*. <https://Www.Periodicocentral.Mx/Rayas-s/Virales/Juanjolote-La-Mascota-Del-Equipo-de-Basquetbol-de-La-Cdmx/5288/>

Narváez, A. (2024, 1 de febrero). *¿El ajolote del billete de 50 pesos sí existe! Se llama «La Gorda» y está en la CDMX*. UNOTV.com. <https://www.unotv.com/virales/ajolote-la-gorda-el-animallito-que-inspiro-el-billete-de-50-pesos/>

Ochoa, J. (2017). *Un ajolote es el emoji oficial de la CDMX*. México Desconocido. <https://www.mexicodesconocido.com.mx/un-ajolote-es-el-emoji-de-la-cdmx.htm>

Rodríguez, D. (2 de agosto de 2017). Este ajolote será el emoji oficial de la Ciudad de México. *El País*, Lo Mejor de Verne. https://verne.elpais.com/verne/2017/08/02/mexico/1501634575_416527.html

Van Hecke, A. (2009). Hibridez y metamorfosis en Juan Villoro: el universo mágico-mitológico del ajolote. *Iberoamericana*, 9(34), 43-56. <https://doi.org/10.18441/ibam.9.2009.34.43-56>

El langostino invisible: una joya ribereña amenazada por el impacto humano

Tania Yoselin Mendiola Altamirano^{1,2} y Manuel Alejandro Vargas Ceballos^{1,3}

RESUMEN: El langostino de río (*Macrobrachium tenellum*) es una especie nativa de gran valor ecológico, alimentario y cultural en los ecosistemas fluviales del occidente de México. Sin embargo, enfrenta múltiples amenazas derivadas de actividades humanas como la contaminación, la sobrepesca, la construcción de presas, el cambio de uso de suelo y el cambio climático. Este artículo de divulgación explora, de forma accesible para todo público, el papel que juega esta especie como bioindicador de la salud de los ríos y como fuente nutricional para comunidades vulnerables. A partir de estudios científicos, encuestas comunitarias y análisis territoriales, se describen las causas del deterioro de sus poblaciones y se reflexiona sobre su resiliencia ecológica. El texto también

destaca la importancia de integrar el conocimiento local y las acciones comunitarias para su conservación. La protección del langostino no solo representa una necesidad ecológica, sino también un compromiso con la memoria cultural y el bienestar social de quienes han convivido históricamente con esta especie.

Palabras clave: camarón de río, contaminación, cambio climático, resiliencia ecológica, seguridad alimentaria, pesca artesanal, conservación.

UNA CRIATURA QUE POCOS VEN, PERO MUCHOS NECESITAN

A lo largo de los ríos del occidente mexicano habita un crustáceo pequeño, de movimientos

¹Laboratorio de Calidad de Agua y Acuicultura Experimental. Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara.

²Programa de Maestría en Ciudad, Cambio climático y Resiliencia. Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara.

³Estancias Posdoctorales por México para la Formación y Consolidación de las y los Investigadores por México. Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación. (SECIHTI).

Recibido: 02/02/2025

Aceptado: 17/05/2025

Publicado: 20/05/2025

sigilosos y enorme valor: el langostino de río (cuyo nombre científico es *Macrobrachium tenellum*). Aunque muchas personas no lo conocen, este organismo cumple funciones esenciales en los ecosistemas acuáticos, como reciclar materia orgánica y mantener el equilibrio ecológico. Además, su carne es una fuente de proteína de alta calidad que ha nutrido por generaciones a diversas comunidades ribereñas.

Sin embargo, en los últimos años, el langostino ha comenzado a desaparecer de muchas zonas donde antes era común. Las causas son variadas, pero tienen un punto en común: las actividades humanas. Cambios drásticos en el uso del suelo, contaminación del agua, sobrepesca y la construcción de presas han alterado los hábitats naturales donde este crustáceo se reproduce y crece. Además, el cambio climático ha sumado nuevas amenazas al modificar la temperatura del agua y los patrones de lluvias.

En este artículo te contaremos por qué el langostino de río es mucho más que un marisco local. Es un bioindicador del estado de salud de nuestros ríos, un alimento valioso y un reflejo de cómo nuestras acciones están transformando el entorno natural. A través de estudios científicos, mapas, encuestas comunitarias y análisis nutricionales, exploraremos el delicado equilibrio que sostiene a esta especie y lo que podríamos perder si no actuamos a tiempo.

DONDE EL RÍO YA NO SUENA...

El río Ameca, que cruza los estados de Jalisco y Nayarit antes de desembocar en la Bahía de Banderas, es el hogar natural de este langostino. Esta cuenca fluvial alguna vez estuvo rodeada por selvas caducifolias, bosques y

vegetación ribereña que ofrecían refugio, alimento y rutas de migración para muchas especies acuáticas. Hoy, gran parte de esa riqueza natural está siendo sustituida por campos agrícolas, asentamientos urbanos y desarrollos turísticos. Durante las últimas cuatro décadas, el paisaje de la cuenca ha cambiado drásticamente. Las selvas y zonas de vegetación secundaria han disminuido en más de un 30%, mientras que las áreas urbanas han crecido aceleradamente. Esta transformación no solo representa una pérdida de cobertura verde, sino también una fractura en la conectividad ecológica. Para el langostino, esto significa menos espacios para refugiarse, reproducirse y alimentarse. Los mapas satelitales muestran que el hábitat del langostino se ha vuelto cada vez más fragmentado: más parches pequeños de vegetación, más bordes expuestos y menos corredores naturales. Esta fragmentación afecta especialmente a especies como *M. tenellum*,



Figura 1. Generada con la IA ChatGPT.

que necesita desplazarse río arriba y abajo durante su ciclo de vida. Cuando se interrumpe este flujo, la especie pierde su capacidad de mantener poblaciones saludables.

El ruido del río, ese murmullo continuo que alguna vez acompañó la vida en la cuenca del Ameca, se está apagando. Y con él, también podría extinguirse uno de los habitantes más antiguos y valiosos de sus aguas.

¿A DÓNDE SE FUE EL LANGOSTINO?

La desaparición progresiva del langostino no se debe a un solo factor, sino a una combinación de amenazas que, al actuar juntas, lo ponen en grave peligro. Entre ellas están el cambio climático, la sobrepesca, el uso de prácticas ilegales como el envenenamiento del agua y la contaminación por desechos agrícolas e industriales.

Uno de los efectos más preocupantes del cambio climático es el aumento en la temperatura del agua. Esto altera los ciclos reproductivos del langostino, reduce su tasa de supervivencia y puede afectar su crecimiento. Además, cambios en los patrones de lluvia y la frecuencia de sequías modifican la cantidad y calidad del agua disponible. Por otro lado, las presas y bordos construidos en los ríos interrumpen sus rutas migratorias naturales. Aunque los juveniles pueden escalar algunas barreras, muchas son simplemente infranqueables, lo que impide que completen su ciclo de vida. Estudios experimentales muestran que, aunque *M. tenellum* es capaz de nadar contra la corriente y trepar superficies inclinadas, su resistencia tiene límites que son superados por las estructuras artificiales comunes en los ríos intervenidos.

La pesca sin regulación es otro problema grave. Aunque existe un periodo de veda para proteger a las hembras con huevos, muchas veces no se respeta. A esto se suma el uso de sustancias tóxicas para facilitar la captura, una práctica ilegal que afecta a todas las especies presentes en el río, no solo al langostino.

Finalmente, la contaminación del agua con pesticidas, fertilizantes, metales pesados y microplásticos genera daños a nivel fisiológico y genético en los langostinos. Algunos estudios revelan alteraciones en su sistema digestivo y en su ADN, lo que compromete su salud, capacidad reproductiva y supervivencia.

Estas amenazas no solo afectan a una especie. Son un reflejo de la crisis que enfrentan nuestros ecosistemas fluviales y, por extensión, las comunidades que dependen de ellos. El langostino es solo el mensajero de un problema mucho mayor.

PEQUEÑO, PERO PODEROSO

Pese a su discreto tamaño, el langostino de río es un alimento con un enorme valor nutricional. Su carne contiene todos los aminoácidos esenciales que requiere el cuerpo humano, con un perfil comparable al de la tilapia, el atún o la carpa. Según estudios recientes, su músculo posee una alta digestibilidad y calidad proteica, adecuada incluso para niños menores de dos años. Esto lo convierte en una alternativa alimentaria muy valiosa para comunidades que enfrentan dificultades para acceder a otras fuentes de proteína animal. A diferencia de alimentos procesados o importados, el langostino puede capturarse localmente y prepararse en casa, formando parte de la tradición culinaria de muchos pueblos ribereños.

Pero su valor va más allá de la nutrición. El langostino también es parte de la identidad cultural de las comunidades del occidente de México. En varios estados, su pesca artesanal se transmite de generación en generación, con conocimientos locales sobre las mejores temporadas, técnicas y preparaciones. En lugares como Jalisco, Colima, Nayarit y Sinaloa, estos crustáceos no solo nutren el cuerpo, sino también la memoria colectiva.

Si el langostino desaparece, no solo perderemos una fuente de alimento. También se desvanecerá parte del saber tradicional, de las festividades comunitarias y de la economía local que gira en torno a su captura y venta. Por eso, conservarlo no es solo una acción ecológica, sino también un acto de justicia social y cultural.

LA VOZ DEL RÍO: LO QUE PIENSA LA COMUNIDAD

La ciencia no siempre necesita microscopios. A veces, basta con escuchar a quienes viven cerca del río. Para conocer la percepción de las personas sobre el langostino y los cambios en su entorno, se realizaron encuestas en comunidades cercanas al río Ameca. Sus respuestas ofrecen una valiosa mirada sobre la relación entre el ser humano y esta especie.

Más del 80% de los encuestados reconocieron conocer o haber visto langostinos de río, aunque solo un pequeño porcentaje los pesca o consume con regularidad. Esto revela una desconexión creciente entre las personas y los recursos naturales que las rodean.

Cuando se les preguntó si percibían una disminución en la población de langostinos, casi la mitad afirmó que sí. Además, la gran



Figura 2. Generada con la IA ChatGPT.

mayoría identificó al cambio climático y a la contaminación del agua como factores que podrían estar afectando a la especie. También se mencionaron otras causas como la pesca ilegal durante el periodo de veda y el uso de venenos en la captura, prácticas que dañan de forma severa los ecosistemas acuáticos.

Llama la atención que muchas personas desconocen las normativas existentes para proteger al langostino. Por ejemplo, pocos sabían que existe una veda y menos aún que su uso como alimento podría contribuir a mejorar la nutrición familiar. Esta falta de información representa una barrera para las estrategias de conservación.

Sin embargo, también hubo esperanza. La mayor parte de los encuestados consideró que el langostino debe ser protegido y propuso acciones concretas como la reforestación de los ríos, el control de la contaminación y el respeto a los periodos de veda. Estas opiniones

revelan que, aunque la relación con el río se ha debilitado, todavía existe conciencia y disposición para recuperarla.

Escuchar la voz del río, encarnada en sus habitantes, es fundamental para construir soluciones que no solo vengan desde la ciencia, sino también desde la comunidad. Solo así podremos restaurar los lazos que alguna vez unieron al ser humano con la vida acuática de su entorno.

RESILIENCIA: EL ÚLTIMO ESCUDO DEL LANGOSTINO

En ecología, la resiliencia es la capacidad de una especie o ecosistema para resistir perturbaciones y recuperarse. En el caso del langostino de río, esta capacidad se encuentra bajo constante presión. Aunque el langostino ha demostrado ser una especie tenaz, capaz de adaptarse a ciertas condiciones adversas, los

impactos acumulativos están llevando su resiliencia al límite.

Por un lado, hay indicios alentadores: esta especie puede escalar barreras si tienen la rugosidad adecuada, nadar contra corrientes moderadas y tolerar ciertas variaciones ambientales. Su importancia para las comunidades podría ser un motor de acción colectiva en favor de su protección. Por otro lado, se enfrenta a un entorno cada vez más hostil. Las represas, la contaminación, la pesca descontrolada y el calentamiento del agua no son amenazas aisladas, sino problemas interconectados que se potencian entre sí. La falta de vigilancia efectiva y la escasa aplicación de la ley permiten que estas amenazas persistan sin consecuencias. La resiliencia del langostino ya no puede depender exclusivamente de su biología. Requiere de un apoyo humano decidido: programas de educación ambiental, restauración de hábitats, regulación de la pesca artesanal, y alternativas sustentables como su cultivo responsable. También hace falta voluntad política para reforzar las normas existentes y apoyar a las comunidades locales en su papel como guardianas del río.

Proteger al langostino es proteger la posibilidad de que los ecosistemas fluviales sigan cumpliendo sus funciones y de que las culturas ribereñas sigan floreciendo. Su resiliencia aún existe, pero necesita una oportunidad para manifestarse.

SALVAR AL LANGOSTINO ES SALVAR MÁS QUE UNA ESPECIE

El langostino de río, ese crustáceo discreto y escurridizo, es mucho más que un componente de los ecosistemas acuáticos. Es un símbolo



Figura 3. Generada con la IA ChatGPT.

del equilibrio ecológico, un alimento valioso y una herencia cultural que ha acompañado a comunidades enteras a lo largo de generaciones. Hoy, sus poblaciones enfrentan una combinación de amenazas que van desde la pérdida de hábitat hasta el cambio climático, pasando por la contaminación y la pesca desregulada. Su resiliencia, aunque admirable, no basta por sí sola para garantizar su supervivencia.

Cada vez que cuidamos un arroyo, respetamos una veda, evitamos contaminar o compartimos un platillo tradicional preparado con respeto, estamos dando un paso hacia la conservación. Porque salvar al langostino es también salvar las memorias, los sabores y las historias que fluyen con él.

LITERATURA RELEVANTE

- Barange, M. y Perry, R. I. (2009). Repercusiones físicas y ecológicas del cambio climático en la pesca de captura marina y continental y en la acuicultura. En K. Cochrane, C. De Young, D. Soto, y T. Bahri (Eds.), *Consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura: visión de conjunto del estado actual de los conocimientos científicos* (pp. 7-118). FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura No. 530. Roma: FAO.
- Peña-Almaraz, J. A. et al. (2024). Estudio experimental sobre la capacidad de nado contracorriente de *Macrobrachium tenellum* bajo diferentes flujos de agua. [Referencia completa pendiente de publicación].
- Cruz-Sánchez, J. L., Wakida-Kusunoki, A. T., Amador-del Ángel, L. E., Frutos-Cortés, M., y Brito-Pérez, R. (2019). Características socioeconómicas en la pesca de los langostinos del género *Macrobrachium* en el río Palizada, Campeche, México. *Ciencia Pesquera*, 27(1), 95-106.
- Ferrer-Miranda, L., Trejo-Albuérne, A. L., y Guerra-Martínez, F. J. (2023). Un futuro de océanos desiertos: pesca, acuicultura y cambio climático. *Revista Digital Universitaria*, 24(2). <https://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2023.24.2.8>
- González-Pisani, X., Sturla-Lompré, J., Pires, A., y López-Greco, L. (2022). Plastics in scene: A review of the effect of plastics in aquatic crustaceans. *Environmental Research*, 212(E). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113262>
- Ortega-Álvarez, R. (2024). Importancia cultural y económica del camarón de río en Zacualpan, Colima. En *Sociedad y Tradición en el Occidente Mexicano* (pp. XX-XX). [Editorial pendiente de especificar].
- Pasquel, L. (2022). Reportes sobre el uso de cianuro en la pesca artesanal en Hidalgo y sus consecuencias ecológicas. [Fuente periodística consultada en la tesis, sin datos editoriales precisos].

