

elementos

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA • No. 140 • Volumen 32 • octubre - diciembre 2025 • \$40.00

CONAHCYT
Incluida en el Índice de Revistas
Mexicanas de Divulgación Científica
y Tecnológica del CONAHCYT



EXHIBIR HASTA EL 31-DICIEMBRE-2025

¿Tienen futuro las revistas de divulgación en México? Desafíos en la era digital | ¿Dónde están cuando no los vemos?... | Organismos genéticamente modificados... | El Timbe: un árbol que salva ecosistemas... | Nectarios extralocales en cactáceas... | Deshidratado solar de piña | Hormonas en acción: claves invisibles para controlar plagas | La polilla mayor de la cera... | El lixiviado de lombriz en el crecimiento hidropónico de hortalizas | El Golpe ciego de Oscar del Barco | Entre nubes inestables: simulación de inestabilidades de Kelvin-Helmholtz | El cáncer desde lo invisible: las aflatoxinas | Resistencia antimicrobiana en aguas residuales | ¿Los arbovirus infectan solamente a los humanos? | Aplicaciones biomédicas de las nanopartículas de plata | Las conchas vacías de moluscos... | Seguimiento y análisis de trayectorias del forrajeo de colonias de hormigas | Sistemas de recomendación: el motor invisible de la era digital | Los daños generados por las corrientes de fuga... | Probióticos: ¿nueva esperanza para las personas con ansiedad y depresión? | Agumiel: un alimento con beneficios para la salud | Obra gráfica: Raúl Chiquito



S U M A R I O



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
rectora, Ma. Lilia Cedillo Ramírez
secretario general, José Manuel Alonso Orozco
vicerector de investigación y estudios de posgrado, Ygnacio Martínez Laguna

ELEMENTOS

www.elementos.buap.mx

revista trimestral de ciencia y cultura
 número 140, volumen 32, octubre-diciembre de 2025

director, Enrique Soto Eguibar

subdirector, José Emilio Salceda

diseño y producción gráfica, Mirna Guevara

corrección de estilo, Emilio Salceda y Leopoldo Noyola

sitio web y laboratorio multimedia, Leopoldo Noyola

redes sociales, Mirna Guevara

administración y logística, Lorena Rivera e Ileana Gómez

redacción, 14 Sur 6301, Ciudad Universitaria

Apartado Postal 406, Puebla, Pue., C.P. 72570

email: esoto24@gmail.com

consejo editorial, Itziar Aretxaga (INAOE),

Beatriz Eugenia Baca (ICUAP, BUAP),

María Emilia Beyer Ruiz (DGDC, UNAM),

María de la Paz Elizalde, (ICUAP, BUAP),

Ana Lidya Flores Marín (IBERO Puebla),

Marcelo Gauchat (FUNDACIÓN FORMA, A. C.),

Sergio Segundo González Muñoz (COLPOS Montecillo),

Federico Méndez Lavielle (Facultad de Ingeniería, UNAM),

Jesús Mendoza Álvarez (Instituto Politécnico Nacional),

Ricardo Moreno Botello (Ediciones de Educación y Cultura),

Francisco Pellicer Graham (Instituto Nacional de Psiquiatría),

Adriana Pliego Carrillo (Facultad de Medicina, UAEM),

Leticia Quintero (Facultad de Ciencias Químicas, BUAP),

José Emilio Salceda (Instituto de Fisiología, BUAP),

Gerardo Torres del Castillo (ICUAP, BUAP), Catalina Valdés Baizabal

(Laboratorio de Neurobiología Celular, Universidad

de La Laguna), Enrique Vergara (ICUAP, BUAP)

obra gráfica, © Raúl Chiquito

fotografía, © Javier González

portada, © *Serpiente de nube*. La vía láctea desde el

promontorio Acahualtepetzín en Tlaxcalancingo de los años sesenta

contraportada, © *Guardia de maíz*.

Niño escondido dentro de un cencal de maíz

2° de forros, © *Camión y polvo*.

Autobús de los años cuarenta pasando por las calles del pueblo

3° de forros, © *Pez en jicara*. Cihuapipil transformada en pez para

poder ser trasladada a otra comunidad

CINTILLO LEGAL

ELEMENTOS, Año 40, No. 140, octubre a diciembre de 2025, es una publicación trimestral editada por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con domicilio en 4 Sur número 104, Col. Centro, C. P. 72000, Puebla, Pue., y distribuida a través de Revista Elementos, con domicilio en Av. 14 Sur No. 6301, Col. San Manuel, Puebla, Pue. C. P. 72570. Tel. 222 229 55 00 ext. 7316. Editor responsable Dr. Enrique Soto Eguibar, esoto24@gmail.com. Reserva de derechos al uso exclusivo 04-2018-101113435900-102. ISSN 0187-9073, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor de la Secretaría de Cultura. Este número se terminó de imprimir en septiembre de 2025. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.



ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



¿Tienen futuro las revistas de divulgación en México? Desafíos en la era digital	3
Emilio Salceda	
¿Dónde están cuando no los vemos? Plasticidad de los anfibios para sobrevivir a condiciones ambientales extremas	9
Leticia M. Ochoa Ochoa	
Organismos genéticamente modificados: un desafío científico y social para el siglo XXI	15
Antonio T. Araujo Soto	
El Timbe: un árbol que salva ecosistemas y promueve la biotecnología	21
Lucía Guerrero-Becerra, Consuelo Lomas-Soria	
Nectararios extraflorales en cactáceas: ¿qué son y cuál es su función?	27
Héctor Godínez Álvarez, Lorena Miranda Carabajal	
Deshidratado solar de piña	33
Aldo Giovani Vázquez Guzmán, Adrián Vidal Santo	
Tlaxcalancingo en acrílico	39
Raúl Chiquito	
Hormonas en acción: claves invisibles para controlar plagas	43
Francisco Javier Ramírez-Aguilar, David Alavez-Rosas	
La polilla mayor de la cera y sus aplicaciones	49
Gobinath Chandrakasan, Rocío López Hernández	
El lixiviado de lombriz en el crecimiento hidropónico de hortaliza	53
Emilio Raymundo Morales Maldonado, Germán Cuaya Simbro	
El Golpe ciego de Oscar del Barco	57
Anamaria Ashwell	
Entre nubes inestables: simulación de inestabilidades de Kelvin-Helmholtz	65
Braulio A. Rentería Ramírez, Elsa M. de la Calleja	
El cáncer desde lo invisible: las aflatoxinas	71
Anai Zavala Franco, Marcela Gaytán Martínez	
Resistencia antimicrobiana en aguas residuales	77
Maricela Guerrero Suárez, María Elena Velázquez Meza	
¿Los arbovirus infectan solamente a los humanos?	83
Itandehui Hernández-Aguilar, Antonio Santos-Moreno	
Aplicaciones biomédicas de las nanopartículas de plata	89
Leticia Lozada-Rodríguez	
Las conchas vacías de moluscos pueden contar una historia	95
Rosely Peraza-Escarrá	
Seguimiento y análisis de trayectorias del forrajeo de colonias de hormigas	101
Ana L. Ballinas Hernández, María Claudia Denicia-Carral	
Sistemas de recomendación: el motor invisible de la era digital	107
Víctor Giovanni Morales Murillo, Karina Cancino Villatoro	
Los daños generados por las corrientes de fuga y su impacto en los vehículos eléctricos	113
Julio A. Cao-Romero-Gallegos, Leonardo I. Farfán-Cabrera	
Probióticos: ¿nueva esperanza para las personas con ansiedad y depresión?	119
Gilberto Uriel Rosas Sánchez, César Soria Fregozo	
Agumiel: un alimento con beneficios para la salud	123
Mónica A. Robles-Arias, Alma E. Cruz-Guerrero	



© Raúl Chiquito. *Coyotes en el arco*. Coyotes en el nacimiento de un arco iris.

¿Tienen futuro las revistas de divulgación en México?

Desafíos en la era digital¹

Emilio **Salceda**

En un mundo saturado de información, donde las redes sociales y las plataformas digitales dominan los hábitos de consumo, las revistas de divulgación científica en México enfrentan un panorama particularmente desafiante. A diferencia de otras publicaciones comerciales, estas revistas cumplen una función estratégica: traducen el conocimiento especializado en mensajes accesibles para el público general, fomentando la cultura científica, el pensamiento crítico y la toma informada de decisiones. Sin embargo, esta labor –que, sin pecar de soberbia excesiva, podríamos calificar de noble– se ve amenazada por factores estructurales, económicos, tecnológicos y culturales que comprometen su viabilidad y pertinencia.

Durante buena parte del siglo XX, las revistas impresas fueron un vehículo privilegiado para la divulgación científica. Publicaciones como nuestra longeva anfitriona, *Ciencia*, de la Academia Mexicana de Ciencias; *¿Cómo ves?*, de la UNAM, o la tristemente desaparecida *Ciencia y Desarrollo*, dejaron su huella en la formación de generaciones interesadas en la ciencia. No obstante, desde hace poco más de una década, revistas como estas han visto disminuir su impacto, circulación e incluso su capacidad de subsistencia. El cambio en los hábitos de lectura, impulsado por la digitalización y el acceso masivo a Internet, entre otros factores, ha modificado drásticamente las condiciones de producción y consumo de contenidos científicos.



© Raúl Chiquito. *Mazorcas cuatas*. Haciendo una cruz con mazorcas cuatas.

Desde la experiencia acumulada en los más de cuarenta años de existencia de la revista *Elementos*, intentaremos explorar brevemente los que, a nuestro entender, son los principales retos que enfrentan hoy en día las revistas de divulgación en México.

TRANSICIÓN DIGITAL

Uno de los desafíos más visibles es la transición hacia lo digital. Aunque muchas revistas han migrado a versiones electrónicas, el proceso no ha sido ni homogéneo ni exitoso en todos los casos. En *Elementos* dimos un primer paso en esa dirección hace ya 25 años. Lo hicimos con más entusiasmo que conocimiento, y hoy, con la perspectiva que otorga el tiempo, reconocemos que el resultado de aquel primer “gran salto” fue apenas un repositorio de las versiones en PDF de nuestros números impresos. La explicación es bastante obvia: nosotros, como la mayoría de las publicaciones mexicanas de divulgación

científica, operamos con un equipo editorial reducido y sin suficiente personal técnico que domine herramientas digitales avanzadas, como la gestión de metadatos, la implementación de identificadores persistentes o el diseño de interfaces web amigables y responsivas. Es muy probable que, en la actualidad, la mayoría de las revistas mexicanas no cumplan con los criterios deseables de interoperabilidad digital,² lo cual puede afectar negativamente su visibilidad, indexación y capacidad de llegar a nuevas audiencias. Las consecuencias de esto son evidentes y preocupantes.

Por otra parte, la transición a formatos digitales no implica automáticamente una mayor difusión. Según la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información del INEGI, del 2023, el 34.8 % de los lectores digitales en México abandona una revista si el contenido no les resulta interesante, y un 16.7 % lo hace por incomodidad al leer en pantalla. Es decir, el simple hecho de estar en línea no garantiza la atención ni la fidelización de las audiencias.



© Raúl Chiquito. *Eco del maíz*. Comunicándose dentro de un maizal durante la pixca.

FINANCIAMIENTO

Además de las limitaciones técnicas, las revistas de divulgación científica enfrentan una precariedad estructural que compromete su sostenibilidad financiera. En México, muchas publicaciones de divulgación dependen de presupuestos universitarios, apoyos de centros de investigación o subvenciones estatales. Estos fondos, sin embargo, suelen ser limitados con respecto a las necesidades, fragmentados y, en el mejor de los casos, inciertos. Las primeras víctimas de los recortes presupuestales y las dificultades logísticas han sido las ediciones impresas. Las previsiones acerca de la desaparición de los medios impresos, que en un primer momento a muchos nos parecieron exageradas y catastrofistas, se han ido cumpliendo lenta pero inexorablemente. En este contexto, algunas revistas pueden verse obligadas a buscar modelos alternativos de financiamiento como las suscripciones digitales, la organización de cursos y talleres o la vinculación con proyectos de educación científica.

Sin embargo, estas estrategias requieren una infraestructura institucional y un equipo humano que no siempre existen.

INFODEMIA

Otro desafío crucial es la competencia por la atención en un ecosistema saturado de información. Las revistas de divulgación ya no compiten solamente con otras publicaciones impresas de corte comercial –competencia que ya de por sí era bastante inequitativa–, sino con una infinidad de contenidos en redes sociales, pódcast, videos de YouTube, TikToks y blogs. Paradójicamente, la misma tecnología que permite difundir contenidos científicos con mayor alcance, también dispersa a las audiencias y amplifica discursos pseudocientíficos, teorías conspirativas, noticias falsas y desinformación.

Durante la pandemia por COVID-19, esta tensión fue especialmente evidente. Mientras los científicos

buscaban comunicar hallazgos urgentes y rigurosos, las redes se llenaban de mensajes erróneos que tuvieron consecuencias graves en términos de salud pública. En este escenario, las revistas de divulgación tenemos la doble responsabilidad de informar con precisión y de reconstruir la confianza del público en el conocimiento científico.

PROCESOS EDITORIALES

La calidad editorial de una revista de divulgación científica no se limita a una redacción clara ni a un diseño visualmente atractivo; depende también, de manera fundamental, de la credibilidad institucional que respalda sus contenidos. Esta credibilidad se construye a través de procesos rigurosos que incluyen la revisión crítica y sistemática de los textos, la verificación exhaustiva de las fuentes utilizadas y la capacidad de explicar con precisión los procesos científicos, evitando tanto la trivialización irresponsable como el exceso de tecnicismo. Además, implica un compromiso explícito con la honestidad intelectual, que se manifiesta en la disposición a reconocer los límites del conocimiento vigente, las controversias abiertas y las incertidumbres propias del quehacer científico. En un contexto marcado por la sobreabundancia de información, la divulgación científica responsable y bien fundamentada debe ser, sobre todo, un ejercicio ético. No obstante, esta exigencia implica el establecimiento de sistemas formales de revisión por pares, así como protocolos editoriales claros para la validación y curaduría de los contenidos. Ignorar esta necesidad no solo compromete la credibilidad de la publicación, sino que la deja en desventaja frente a medios que, aunque carentes de rigor, logran posicionarse con eficacia en el espacio digital por su inmediatez o sensacionalismo.

POLÍTICA CIENTÍFICA

Por otra parte, el entorno político e institucional en el que se insertan las revistas de divulgación científica ejerce una influencia determinante sobre su viabilidad



© Raúl Chiquito. *Pixca en rojo. Pixca de mazorca.*

y desarrollo. En México, las políticas científicas han tendido históricamente a privilegiar la evaluación cuantitativa de la producción académica –número de publicaciones, citas, posición en *rankings* e índices bibliométricos–, relegando a un segundo plano otros aspectos quizá más relevantes, como el impacto social del conocimiento generado y su difusión hacia públicos no especializados. Aunque en los discursos oficiales suele reconocerse la importancia estratégica de la comunicación pública de la ciencia, esta retórica no se ha traducido en mecanismos efectivos de estímulo ni en políticas sostenidas que promuevan la participación activa de la comunidad científica en proyectos de divulgación. Como resultado, la colaboración con nuestras revistas es vista, en el mejor de los casos, como una actividad académica marginal y, en el peor, como una actividad extracurricular o poco valorada por los mecanismos oficiales de evaluación de las trayectorias académicas. A esta falta de incentivos se suma la ausencia de un sistema nacional articulado y estable que respalde financieramente a las publicaciones de divulgación, lo que ha generado una peligrosa dependencia de programas coyunturales, frecuentemente sujetos a los vaivenes del calendario electoral, los cambios administrativos o las reorientaciones ideológicas del aparato estatal. Además, persiste una escasa coordinación entre instituciones públicas, universidades, centros de investigación y medios independientes, lo que ha dado lugar a un paisaje fragmentado, con esfuerzos aislados que rara vez logran consolidarse en redes colaborativas



© Raúl Chiquito. *Cuitlacocheando*. Mujer recolectando cuitlacoques.

de largo plazo ni generar sinergias que potencien su alcance e impacto.

¿QUÉ PODEMOS HACER?

Sin embargo, no todo es adversidad. Existen también oportunidades que, si se aprovechan estratégicamente, pueden revitalizar el campo de la divulgación científica. Una de ellas es la convergencia con el movimiento de ciencia abierta. Esta corriente promueve el acceso libre a los resultados de investigación, la colaboración interdisciplinaria, la participación ciudadana en ciencia y la transparencia de los procesos científicos. Las revistas de divulgación podrían desempeñar un papel clave en este ecosistema, fungiendo como puente entre la ciencia abierta y la sociedad. Para ello, es necesario que nos actualicemos en estándares técnicos –como el uso de identificadores persistentes, licencias abiertas y metadatos interoperables– y adoptemos métricas alternativas que midan el impacto de nuestras publicaciones más allá de las citaciones académicas.

La integración de nuevas tecnologías como la inteligencia artificial, la analítica de datos o la personalización de contenidos puede abrir horizontes innovadores para nuestras revistas. Herramientas de recomendación, automatización de tareas editoriales, o análisis semántico de temas relevantes pueden aumentar nuestra eficiencia y potenciar nuestra pertinencia. La clave está en que estas tecnologías se pongan al servicio de una estrategia editorial clara,

que respete los valores esenciales de la divulgación: accesibilidad, precisión, ética, pluralidad y diálogo.

CONCLUSIÓN

Las revistas de divulgación en nuestro país enfrentan una encrucijada compleja. Por un lado, deben adaptarse a un entorno digital incierto y competitivo. Por otro, deben mantener su compromiso con una divulgación rigurosa, crítica y socialmente relevante. Para lograrlo, requieren apoyo institucional sostenido, innovación editorial, formación profesional y colaboración con otros actores del sector. En un país donde la cultura científica sigue siendo una asignatura pendiente, cualquier medida que fortalezca a las revistas de divulgación no debería ser vista como un lujo o una frivolidad académica, sino como una inversión que retornará en mejores valores democráticos, educación, salud pública, equidad y desarrollo. Es el momento de revalorar nuestro papel, no como apéndices del sistema científico, sino como actores clave en la construcción de una ciudadanía crítica, informada y activa.

NOTAS

¹ Ponencia presentada en el Foro “85 años de Ciencia: retos para las revistas de divulgación”, realizado el 20 de junio de 2025 en Universum, Museo de las Ciencias (UNAM), bajo los auspicios de la Academia Mexicana de Ciencias y la revista Ciencia.

² Capacidad de los sistemas y organizaciones para intercambiar información de manera efectiva y eficiente, ya sea a través de datos, documentos u otros objetos digitales.

BIBLIOGRAFÍA

Ramírez PA y Samoilovich D (2023). *Ciencia abierta. Reporte para tomadores de decisiones*. UNESCO Publishing. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000368788>.

INEGI (2023). Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/endutih/2023/>.

Emilio Salceda
Revista Elementos
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
emilio.salceda@gmail.com



© Raúl Chiquito. *Camino de mirasoles*. Llevando alimentos para la pixca.

¿Dónde están cuando no los vemos?

Plasticidad de los anfibios para sobrevivir a condiciones ambientales extremas

Leticia M. **Ochoa Ochoa**

La capacidad de “tolerar” entornos desfavorables o condiciones ambientales extremas o poco favorables (como temperaturas muy altas, muy bajas o sequías) ha sido probablemente un factor clave en el éxito evolutivo de los anfibios, ya que, como grupo, han estado en la Tierra por más de 360 millones de años, pese a los monumentales cambios ambientales que han ocurrido durante ese enorme período de tiempo.

El grupo de los anfibios incluye lo que comúnmente se conoce como ranas y sapos –científicamente llamados anuros–; salamandras y tritones –o caudados–; y las cecilias, que son un tipo de anfibios que carecen de patas y, en general, tienen hábitos acuáticos o fosoriales, pasando la mayor parte del tiempo bajo tierra (Figura 1). Las especies que pertenecen a dicho grupo tienen características fisiológicas muy particulares: piel desnuda (sin pelos ni escamas) que necesita estar constantemente húmeda, debido a que parte de su respiración se lleva a cabo ahí; requieren agua para reproducirse, ya sea en forma de alta humedad en el suelo en caso de desarrollo directo –anfibios que no pasan por una etapa de larva (renacuajo) de vida libre– o en cuerpos de agua (poza, lago, río) para

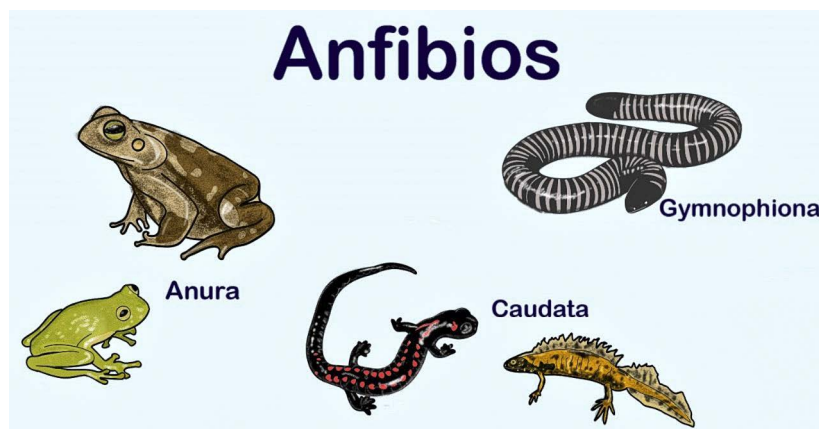


Figura 1. Ilustración que representa los grupos de anfibios existentes en el mundo. Imagen elaborada para este manuscrito por Zoé Fuentes Barrera.

los que sí tienen dicha etapa larvaria de vida libre; además, son ectotermos, lo cual quiere decir que su temperatura corporal depende en gran medida de la temperatura ambiental.

Las características fisiológicas mencionadas, aunadas a su limitada capacidad de dispersión (en general se acepta que los anfibios no pueden moverse grandes distancias), sugieren una tolerancia nula o al menos muy limitada a las condiciones ambientales desfavorables. De manera que la pregunta es: ¿cómo han logrado soportar las variaciones ambientales para sobrevivir durante tanto tiempo? La respuesta es que, en muchos casos, no es así. Es decir, no toleran las condiciones ambientales desfavorables, como sequía y temperaturas extremas altas o bajas. Pero entonces, ¿cómo es que siguen aquí?

En general, los anfibios utilizan refugios para esconderse diariamente durante las horas no activas; por ejemplo, se resguardan para dormir. No obstante, para sobrevivir períodos más largos (semanas, meses o años) y evitar que les afecten las condiciones ambientales adversas, los anfibios utilizan al menos dos mecanismos generales diferentes: la *criptobiosis* (que proviene del griego y significa “vida oculta”), un estado fisiológico y de comportamiento extremo, en que las moléculas se mueven tan lentamente que pareciera no haber metabolismo (la criobiosis es la interrupción del metabolismo debido a la congelación); y la *dormancia* o latencia, en la

cual los organismos presentan un estado de metabolismo reducido o deprimido, pero no ausencia del mismo (es decir, hipometabolismo). La dormancia incluye a la hibernación y a la estivación (Navas *et al.*, 2010). En general, se acepta que la hibernación ocurre en lugares donde hay un período del año con temperaturas bajas, mientras que la estivación se presenta en sitios donde hay un período seco y caliente. En otras palabras, ambos mecanismos se presentan en ambientes estacionales; es decir, donde las condiciones climáticas varían a lo largo del año (Figura 2).

Es importante hacer énfasis en que parece ser que la dormancia no es un fenómeno universal en los anfibios. Esta suposición tiene varias posibles explicaciones:

1. No se presenta en muchos anfibios debido a que viven en condiciones adecuadas todo el año.
2. Simplemente no se ha registrado la presencia del fenómeno (aquí vale la pena aclarar que gran parte de las personas que estudian anfibios aún se dedican a describir especies; es decir, no se ha terminado aún de cuantificar las especies de anfibios que existen en México ni en el mundo).
3. No se han hecho los experimentos apropiados para verificar que se pueda presentar un estado de dormancia.

Por ejemplo, el sapo *Rhinella marina* aparentemente no estiva en condiciones naturales (al menos no se había registrado un caso), pero al someterlo a condiciones experimentales de estrés hídrico y de temperatura, sí presenta estivación (Boutillier

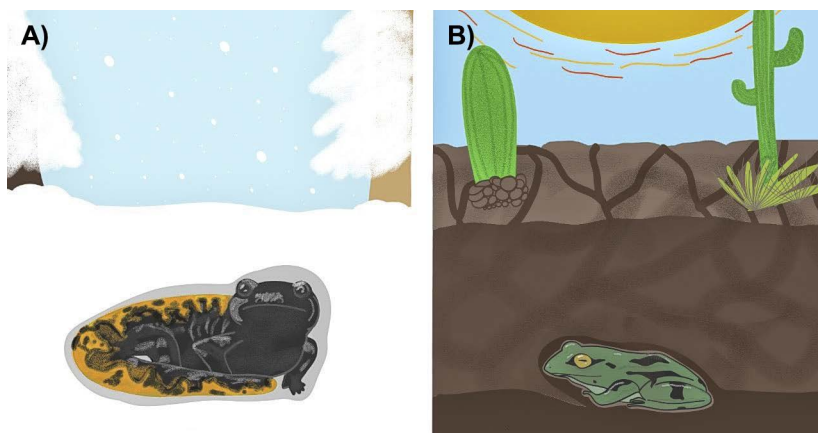


Figura 2. Ejemplos de los mecanismos que utilizan los anfibios para evitar condiciones ambientales adversas. A) Criobiosis, que se presenta en lugares donde se pueden presentar muy bajas temperaturas en algún momento del año, y B) un ejemplo de dormancia, estivación que se presenta en lugares donde hay un periodo de secas que además generalmente es cálido. Imagen elaborada por Zoé Fuentes Barrera.

et al., 1979). También cabe aclarar que no se sabe qué tan conservada, en términos evolutivos, está dicha capacidad de entrar en dormancia entre los grupos existentes, ya que algunos peces pulmonados (Dipnoi) –los cuales son los parientes vivos más cercanos de los anfibios– sí estivan, y algunos forman capullos. Dado que la dormancia es un tema muy extenso, en este escrito me enfocaré en la estivación.

La estivación suele ser una latencia estacional o de largo plazo en respuesta a cambios ambientales fuertes y periódicos (generalmente sequía o altas temperaturas). La regulación intrínseca del metabolismo celular es muy importante, particularmente para lograr la supresión coordinada de las vías de producción de energía en el metabolismo, frente a las de consumo de dicha energía, para:

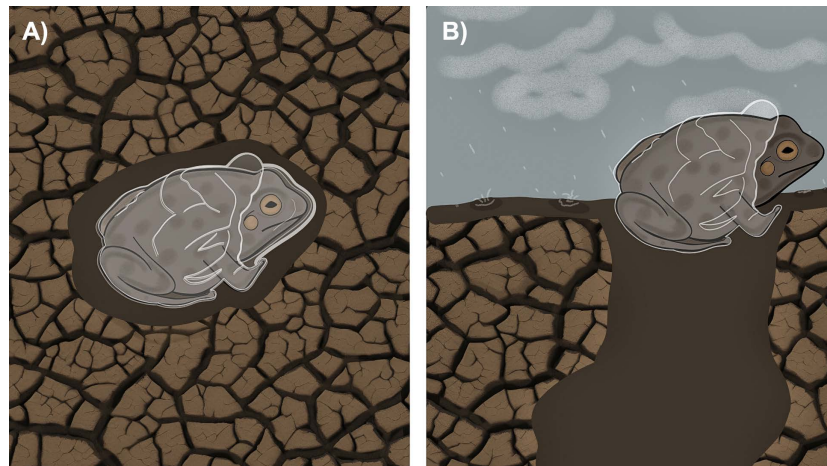
- Poder priorizar el uso de energía en el estado hipometabólico.
- Cambiar los patrones de consumo de energía (por ejemplo, la estivación depende en gran medida de las reservas de grasas).
- Implementar mecanismos de preservación celular (Malik *et al.*, 2023).

Un metabolismo deprimido representa grandes desafíos para la supervivencia del organismo, incluido el estrés oxidativo que se presenta durante y al despertar de la estivación, la acumulación de metabolitos tóxicos, los cambios en las fuentes de energía, los ajustes del estado inmunológico, la atrofia muscular debido a la inmovilidad prolongada y la degeneración de los órganos internos debido a la inanición

o privación prolongada de alimentos (Jiang *et al.*, 2023). En las investigaciones realizadas hasta el momento, se han descubierto varias formas en que los anfibios pueden lidiar con el estrés metabólico que representa un estado hipometabólico donde no hay entrada ni de agua ni alimento, pero tampoco salida de los metabolitos secundarios tóxicos. Se ha observado también, por ejemplo, que en algunos casos como *Xenopus laevis* lidian con la pérdida de agua corporal a través de una estrategia coligativa, al incorporar el amoníaco residual en la biosíntesis de urea y retener altas concentraciones de urea (normalmente un producto de desecho secretado del catabolismo proteico) u otros solutos compatibles en sus tejidos, lo cual a su vez los protege del estrés oxidativo (Storey *et al.*, 2023).

Curiosamente, aunque esta latencia se presenta durante condiciones de alta sequía y/o calor extremo, algunos anfibios mantienen una hidratación normal de los tejidos durante la estivación (Malik *et al.*, 2023). Así, se ha observado que, como consecuencia de la acumulación de urea, la osmolaridad aumenta en *X. laevis*, y esto ayuda a impedir una mayor pérdida de agua. No obstante, la pérdida de agua que sigue ocurriendo hace que primero se utilice el agua del plasma, manteniendo los niveles de agua en los órganos vitales. Esto conduce a un deterioro de la circulación, por lo que disminuye la entrega de oxígeno a los tejidos. Si la deshidratación sigue progresando, primero se sacrifica la

Figura 3. Ilustración de un anuro en estivación que puede formar un capullo. A) Durante el periodo de inactividad, en estivación. B) salida del refugio, cuando las condiciones ambientales han cambiado y hay más humedad en el ambiente, generalmente cuando empieza la época de lluvias. Imagen elaborada por Zoé Fuentes Barrera.



circulación hacia el tejido esquelético y se mantiene durante el mayor tiempo posible en los órganos centrales, y en realidad aumenta en el cerebro (Luu *et al.*, 2021). Esto implica que los anfibios tienen que desencadenar procesos fisiológicos para evitar el daño que la deshidratación causa a los tejidos o evitar la deshidratación por completo. En el primer caso, ciertas rutas fisiológicas y genes se activan y pueden prevenir el daño por deshidratación (Mallik *et al.*, 2023). En el segundo caso, para evitar la deshidratación, algunos anfibios crean un refugio impermeable donde realizan la estivación. Esta cubierta impermeable es creada con su misma piel y se le suele llamar capullo (Withers, 1995).

Muchos anuros y algunas salamandras forman un capullo con varias capas de mudas de piel (Figura 3). Este cubre toda la superficie del cuerpo excepto las fosas nasales. En otros casos, el capullo está compuesto por capas alternas de epitelio desprendido y mucus secretado que construye una barrera eficaz contra la pérdida transcutánea de agua durante la latencia (Cartledge *et al.*, 2006). Un ejemplo fenomenal lo presenta *Cyclorana platycephala*, que es una rana que vive en los desiertos de Australia y cuyo nombre común en inglés es “Water-holding frog” (rana que retiene agua). Dicha especie forma un capullo y puede permanecer en estivación hasta por cinco años (Van Beurden, 1980). Se ha descubierto también que el grosor del capullo puede variar según

el sustrato donde se entierra la rana: entre más seco es el ambiente, más capas tiene el capullo (Booth, 2006). Vale la pena mencionar que aún no se conocen bien los mecanismos globales de silenciamiento de genes, supresión del ciclo celular y aquellos que ayudan a prolongar la vida minimizando los procesos degradativos de atrofia o muerte celular en anfibios en estivación. Lo anterior es crucial, ya que de no existir estos mecanismos globales el individuo no estaría listo para moverse en cualquier momento; por ejemplo, para aprovechar las lluvias temporales, sin tener que recurrir a un “tiempo de despertar”, como sucede en la criobiosis.

Los procesos regulatorios de la estivación son componentes clave para discernir –tanto en forma cuantitativa como cualitativa– las perturbaciones de los procesos biológicos, cómo funcionan estos procesos regulatorios y qué tan flexibles pueden ser mientras mantienen la vida. Por ejemplo, se podrían plantear preguntas como las siguientes: ¿Durante cuánto tiempo puede estivar un anfibio? ¿Es flexible este período? ¿Qué factores ambientales y fisiológicos desencadenan el proceso de estivación? Dadas las mismas condiciones ambientales, ¿todos los anfibios pueden estivar? Y una vez comprendidos los procesos genético-fisiológico-ambientales se podrían incluso plantear experimentos para inducir la estivación en otros vertebrados.

Obtener esa información nos ayudaría a poder comprender la permanencia de las especies en ambientes estacionales y la posibilidad de que



© Raúl Chiquito. Fila de chiquihuites. Comprando pan de día de muertos.

estas persistan dadas las proyecciones de cambios ambientales y la fragmentación de la vegetación nativa (Tan *et al.*, 2023).

De hecho, la estivación puede proporcionar el mejor modelo para identificar los principios básicos, el grupo central de proteínas y los mecanismos reguladores comunes que definen el hipometabolismo en los sistemas animales (Navas *et al.*, 2010), particularmente en una era donde la desertificación como consecuencia del cambio climático y la urbanización a lo largo del mundo la presentan como un factor central que las especies tienen que sobrevivir.

Estar a la vista o no estarlo (refugiados y en estivación) es una capacidad de los anfibios que les ha ayudado a subsistir pese a condiciones ambientales extremas que se han presentado a lo largo de la historia evolutiva del grupo y puede ser la clave frente a condiciones ambientales extremas que están aún por presentarse.

AGRADECIMIENTOS

A Rafael De Villa Magallón por los comentarios que ayudaron a mejorar el escrito. Al Programa de Apoyos para la Superación del Personal Académico (PASPA) de la DGAPA-UNAM y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt), gracias a los cuales se pudo realizar la estancia sabática. A la doctora Rebecca Tarvin por recibirme en su laboratorio en la Universidad de California en Berkeley para realizar un año sabático de investigación.

REFERENCIAS

- Booth DT (2006). Effect of soil type on burrowing behavior and cocoon formation in the green-striped burrowing frog, *Cyclorana alboguttata*. *Canadian Journal of Zoology* 84(6):832-838.
- Boutillier RG, Randall DJ, Shelton G and Toews DP (1979). Acid-Base Relationships in the Blood of the Toad, *Bufo marinus*: I. The Effects of



© Raúl Chiquito. *Yendo por la novia*. Mujeres yendo por la novia el día de la boda.

Environmental CO₂. *Journal of Experimental Biology* 82(1):331-344.

Cartledge VA, Withers PC, McMaster KA, Thompson GG and Bradshaw SD (2006). Water balance of field-excavated aestivating Australian desert frogs, the cocoon-forming *Neobatrachus aquilonius* and the non-cocooning *Notaden nichollsi* (Amphibia: Myobatrachidae). *Journal of Experimental Biology* 209(17):3309-3321.

Jiang C, Storey KB, Yang H and Sun L (2023). Aestivation in Nature: Physiological Strategies and Evolutionary Adaptations in Hypometabolic States. *International Journal of Molecular Sciences* 24(18):14093.

Luu BE, Hawkins LJ and Storey KB (2021). Insights from a vertebrate model organism on the molecular mechanisms of whole-body dehydration tolerance. *Molecular and Cellular Biochemistry* 476(6):2381-2392.

Malik AI, Storey JM and Storey KB (2023). Regulation of the unfolded protein response during dehydration stress in African clawed frogs, *Xenopus laevis*. *Cell Stress and Chaperones* 28(5):529-540.

Navas CA and Carvalho JE (Eds.) (2010). *Aestivation Molecular and Physiological Aspects*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Storey JM and Storey KB (2023). Chaperone proteins: universal roles in surviving environmental stress. *Cell Stress and Chaperones* 28(5):455-466.

Tan WC, Herrel A and Rödder D (2023). A global analysis of habitat fragmentation research in reptiles and amphibians: what have we done so far? *Biodiversity and Conservation* 32(2):439-468.

Van Beurden EK (1980). Energy metabolism of dormant Australian water-holding frogs (*Cyclorana platycephalus*). *Copeia* 5(4):787-799.

Leticia M. Ochoa Ochoa
Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera"
Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México
Museum of Vertebrate Zoology
University of California, Berkeley
leticia.ochoa@ciencias.unam.mx

Organismos genéticamente modificados: un desafío científico y social para el siglo XXI

Antonio T. **Araujo Soto**

Los organismos genéticamente modificados (OGM) surgieron simultáneamente con la biotecnología moderna en la segunda mitad del siglo XX. Esto fue posible gracias a conocimientos fundamentales como la estructura del ácido desoxirribonucleico (ADN), el desciframiento del código genético y la organización básica de un gen, así como al desarrollo de métodos novedosos como la fragmentación por endonucleasas, la síntesis química de oligonucleótidos, la secuenciación enzimática de Sanger y la amplificación *in vitro* mediante la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR). En conjunto, estos y otros avances proporcionaron los medios necesarios para la creación de los primeros OGM.

El concepto de OGM abarca cualquier modificación al genoma; es decir, no se restringe únicamente a la transgénesis o la introducción de nuevo ADN en un organismo, sino que también se refiere a los cambios para “potenciar” o “inactivar” la expresión de un gen propio. En México, la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados define a los OGM de la siguiente manera: “Cualquier organismo vivo, con excepción de los seres humanos, que ha adquirido una combinación genética novedosa, generada a través del uso específico de técnicas de la biotecnología moderna...” (LBOGM, 2022). Esta definición es similar a la de Organismo Vivo Modificado (OVM) presentada en



© Raúl Chiquito. *Colgados*. Colgados en las calles del pueblo durante la revolución.

el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre Diversidad Biológica, que indica lo siguiente: “Por organismo vivo modificado se entiende cualquier organismo vivo que posea una combinación nueva de material genético que se haya obtenido mediante la aplicación de la biotecnología moderna” (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2000). Los conceptos de OGM y OVM se conciben ante las posibilidades de la nueva biotecnología, y deben verse también como opciones narrativas y de comunicación frente a la percepción negativa que a menudo acompaña al término transgénico.

Entre los primeros OGM se encuentran microorganismos, particularmente *Escherichia coli*, bacteria que en la década de 1970 fue modificada para producir insulina humana. Posteriormente, en los años 80, se introdujeron las primeras plantas transgénicas en el ámbito de la alimentación, lo que dio lugar a una controversia que persiste hasta la actualidad. ¿Cuáles son los efectos de los OGM en la salud humana? ¿Cuáles son las consecuencias ecológicas de liberar OGM en el ambiente? Habitualmente, estas dos preguntas dominan la discusión académica y pública sobre los organismos genéticamente modificados.

Sobre las implicaciones ecológicas de los OGM, una preocupación recurrente es el posible flujo

genético hacia organismos no modificados. En este sentido, se ha documentado en experimentos de campo la transferencia de transgenes desde arroz cultivado a formas silvestres. Asimismo, se ha detectado material transgénico en variedades locales de maíz provenientes de Oaxaca, lo que evidencia la ocurrencia de flujo genético de transgenes hacia el ambiente. Aunque se desconoce el impacto exacto de este fenómeno, una posible consecuencia es la formación y persistencia de híbridos que podrían desplazar a las especies nativas. Otra repercusión sería la pérdida de biodiversidad en plantas silvestres e insectos –como los polinizadores– debido al uso excesivo de plaguicidas en cultivos de plantas modificadas para resistir estos compuestos. Por ejemplo, la aplicación de herbicidas asociados a cultivos transgénicos podría estar relacionada con la disminución observada en la abundancia de la mariposa monarca (*Danaus plexippus*). El uso de estos plaguicidas estaría provocando la pérdida del algodoncillo (*Asclepias* spp.), una planta que sirve de hábitat para las larvas de esta mariposa (Tsatsakis *et al.*, 2017).

En México, el debate sobre las posibles consecuencias negativas de los OGM ha incluido las dos posturas prevalentes: la aceptación y el rechazo. Por un lado, investigadores como el Dr. Francisco Bolívar Zapata (IBt, UNAM) y el Dr. Luis R. Herrera Estrella (UGA-Langebío, CINVESTAV) han apoyado la aceptación de los OGM; por otro, investigadoras como la Dra. María Elena Álvarez-Buylla (IE, UNAM) han expresado dudas sobre su seguridad. Cabe destacar que el rechazo de una parte de la sociedad a modificar la estructura genética de un ser vivo se centra especialmente en las plantas que sirven de alimento. En México, el símbolo de esta oposición es el maíz (*Zea mays*).

Pruebas arqueológicas, biológicas y culturales indican que la antigua región de Mesoamérica fue el centro de origen y domesticación del maíz. Las evidencias incluyen estudios con marcadores genéticos (microsatélites) que muestran la relación evolutiva entre el maíz y el teocintle (*Zea mays* ssp. *parviglumis*). Esta planta, que se encuentra en el estado de Guerrero, es el probable ancestro

silvestre del maíz. En la misma región se han hallado granos de almidón y fitolitos (depósitos minerales en tejidos vegetales) de maíz con miles de años de antigüedad, lo que refuerza la teoría de su domesticación en esta zona (Maiti *et al.*, 2022). Además, las culturas mesoamericanas tienen mitos asociados a este cultivo, lo que evidencia un conocimiento ancestral de la planta, algo que no se ha documentado en otras civilizaciones fuera de América.

A pesar del tiempo transcurrido, el debate sobre el maíz transgénico y los OGM en general está lejos de concluir, ya que en su aceptación o rechazo confluyen perspectivas diferentes e intereses regionales. Por ejemplo, en el primer semestre de 2024, varias notas periodísticas informaron sobre la controversia que México mantenía con Estados Unidos para evitar la importación de maíz transgénico proveniente de aquel país, mientras que en China se había autorizado el uso de varios cereales modificados genéticamente (Reuters, 2024). En ambos casos, uno de los argumentos principales para estas acciones es la seguridad alimentaria, que implica contar con alimentos suficientes y seguros para cubrir las necesidades de una nación.

Es importante mencionar que existen otros ejemplos igualmente controvertidos sobre el uso de OGM, como la aplicación de mosquitos modificados para controlar la malaria y la modificación de cerdos como donantes xenogénicos (donantes de una especie diferente al receptor) para los seres humanos (Dong *et al.*, 2022; Fischer *et al.*, 2018).

Sin duda, el debate en torno a la modificación genética dirigida de organismos continuará en los próximos años. Sin embargo, esta situación no debe considerarse negativa, ya que la diversidad de puntos de vista contribuye al avance del conocimiento y a la resolución de problemas. En lo que respecta a este tema, la demanda de precaución y regulación en la manipulación de organismos debe incentivar las mejores prácticas de investigación en grupos públicos y privados, sin frenar la creatividad, pero teniendo en cuenta los beneficios reales y considerando escenarios ecológicos y de salud afines con los objetivos de sustentabilidad de la época. Además,



© Raúl Chiquito. *Manos arriba. Asaltos en el camino a Puebla.*

es fundamental mejorar la comunicación hacia la sociedad sobre el trabajo que se realiza en ciencia y tecnología relacionado con los OGM, porque el interés y la investigación en este tema continúan y nuevas metodologías se están desarrollando para manipular el ADN.

EDICIÓN GENÉTICA Y CRISPR-CAS

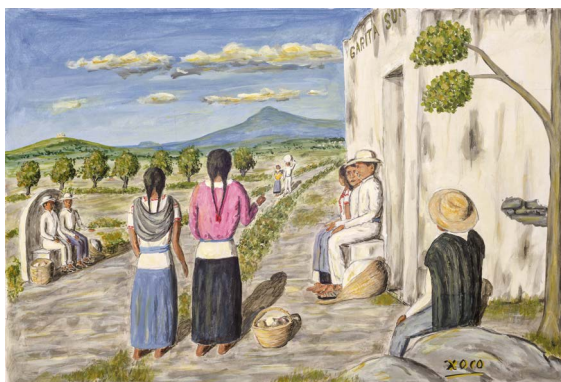
En el siglo XXI, la investigación sobre la modificación genética de organismos avanzó sustancialmente con la implementación de la técnica CRISPR-Cas. Como sucede con todo gran avance, este método innovador de edición genética fue el resultado del esfuerzo colectivo de muchas personas a través del tiempo. Su descubrimiento inicial se debe a Yoshizumi Ishino y sus colaboradores en *Escherichia coli*, aunque fue un hallazgo inesperado. Por esta razón, Ishino no comprendió su papel como sistema inmunitario. Fue el investigador Francisco Martínez Mojica quien propuso su función en la protección de bacterias y arqueas. En otras palabras, Martínez Mojica dilucidó su papel como un sistema de defensa contra virus o plásmidos. Esta hipótesis fue posteriormente confirmada experimentalmente por Rodolphe Barrangou y Philippe Horvath mediante estudios con la bacteria *Streptococcus thermophilus* (Lander, 2016).

El sistema CRISPR (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*) está compuesto por una serie de secuencias repetidas –palindrómicas– cortas, que se encuentran separadas por otras secuencias genéticas (espaciadores) provenientes de genomas externos. Cuando un procariota experimenta la invasión de un virus o un plásmido, las secuencias que conforman el sistema CRISPR se transcriben en un ARN precursor largo (*pre-crRNA*), el cual es rápidamente dividido en fragmentos más pequeños (*crRNA*), que se ensamblan con proteínas llamadas Cas. Este complejo de ribonucleoproteína se une al virus o plásmido invasor –cuando los *crRNA* son complementarios a fragmentos de nucleótidos del agente externo– y lo neutraliza cortando su material genético.

Existen diversas variantes de las proteínas Cas que se agrupan en dos grandes clases. El sistema más conocido para la edición genética utiliza la proteína Cas9, que corresponde al sistema de clase 2 (Barrangou y Horvath, 2017).

La comprensión del funcionamiento básico de este sistema de defensa tomó varios años. Sin embargo, su potencial aplicación en salud y alimentación fue rápidamente reconocido por distintos grupos de investigación, que se apresuraron a pasar del conocimiento básico a su aplicación práctica. Fueron las investigadoras Jennifer A. Doudna y Emmanuelle Charpentier, así como Virginijus Siksnys (de forma independiente), quienes comprobaron la viabilidad de utilizar el sistema CRISPR-Cas9 como herramienta para editar el ADN *in vitro* (Lander, 2016). Más adelante, la edición de genes en células de mamífero (ratón y humanas) se demostró con los trabajos publicados de Feng Zhang y George Church en 2013.

El sistema CRISPR-Cas9 se considera un gran logro en la ciencia del siglo XXI. Su descubrimiento nos recuerda que aún desconocemos numerosos aspectos de los seres vivos, y que explorarlos abre posibilidades increíbles. Como ejemplo, CRISPR-Cas9 ha sido utilizado en terapia génica y en la creación de nuevos OGM. En este último caso, se ha trabajado intensamente en cultivos de interés humano para conferirles características mejoradas, como mayor valor nutricional, resistencia



© Raúl Chiquito. *Descanso en la garita*. Gente reunida en la garita de la salida a Atlixco.

a condiciones de estrés ambiental y tolerancia a patógenos. Por ejemplo, trigo y tomates resistentes a infecciones fúngicas, arroz y maíz tolerantes a períodos de sequía, y naranjos resistentes al cancro de los cítricos, una enfermedad bacteriana (Chaudhary *et al.*, 2022).

Es importante destacar que la edición genética no es sinónimo de transgénesis, ya que no implica necesariamente la inserción de genes exógenos. Las transformaciones realizadas con la tecnología CRISPR-Cas9 consisten en cambios de base o en el reemplazo de secuencias dentro del genoma del propio organismo, con el propósito de modificar la actividad de un gen de manera específica (reactivándolo o inactivándolo, o bien aumentando o disminuyendo su expresión). No obstante, se trata de una manipulación a la información genética de un organismo.

En este contexto, es oportuno reflexionar sobre el riesgo de revivir una crónica ya conocida; una historia en la que la sociedad se opone al uso de estas nuevas tecnologías y sus productos.

INVESTIGACIÓN Y EDUCACIÓN FRENTE A LA INCERTIDUMBRE

Para afrontar la incertidumbre que generan los organismos genéticamente modificados (OGM) o los organismos vivos modificados (OVM), es crucial realizar investigaciones, pero también es fundamental prestar atención a la educación. En el siglo XXI se habla y se escribe sobre la alfabetización digital, pero se dice poco acerca del analfabetismo científico en un mundo transformado por la ciencia.



© Raúl Chiquito. *Mal de ojo*. Persona de fuerte mirada causante del mal de ojo.

Comprender y abordar las causas que generan el rechazo a la manipulación genética es esencial para utilizar estos biodesarrollos en la resolución de problemas. Ejemplo de esto es su aplicación en la producción de biomoléculas, como la insulina, o en el estudio de los efectos de las alteraciones en el ADN. Además, mejorar nuestra comprensión de esta área de la ciencia –como de otras– puede actuar como un contrapeso frente a la difusión de información tergiversada. Cabe recordar que, durante la pandemia de COVID-19, se compartió información errónea que confundía elementos de las vacunas contra el SARS-CoV-2 y la modificación genética. Esto generó desconfianza en algunos sectores de la población, quienes asumieron que las vacunas eran un medio para modificar el ADN de las personas y causarles daño (Agencia SINC, 2021).

Igualmente, la investigación y la educación son clave para garantizar el cuidado de la biodiversidad, así como el respeto a la cultura de una nación. En el contexto de México, surge la interrogante: ¿puede el desarrollo de OGM propios y culturalmente adaptados ofrecer al país un mayor control sobre estos organismos, tanto en términos de bioseguridad como económicos? Además, ¿podría contribuir a impulsar actividades productivas y aprovechar el capital humano formado en diversas instituciones?

El siglo XXI plantea retos en materia de salud, alimentación y medio ambiente, y en este contexto los OGM representan tanto una promesa como un desafío. No obstante, más allá de discursos polarizados, es necesario fomentar una cultura científica

que permita a la sociedad comprender los alcances y límites de estas tecnologías, que seguirán avanzando con aplicaciones que podrían alcanzar pronto a los seres humanos.

REFERENCIAS

- Agencia SINC (2021, diciembre 13). No, las vacunas contra la COVID-19 no cambian tu ADN. *Agencia SINC*. <https://www.agenciasinc.es/Noticias/No-las-vacunas-contra-la-covid-19-no-cambian-tu-ADN>.
- Barrangou R and Horvath P (2017). A decade of discovery: CRISPR functions and applications. *Nature Microbiology* 2:17092. DOI: <https://doi.org/10.1038/nmicrobiol.2017.92>.
- Chaudhary M, Mukherjee TK, Singh R *et al.* (2022). CRISPR/Cas technology for improving nutritional values in the agricultural sector: an update. *Molecular Biology Reports* 49(7):7101-7110. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11033-022-07523-w>.
- Dong S, Dong Y, Simões ML and Dimopoulos G (2022). Mosquito transgenesis for malaria control. *Trends in Parasitology* 38(1):54-66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pt.2021.08.001>.
- Fischer K, Kind A and Schnieke A (2018). Assembling multiple xenoprotective transgenes in pigs. *Xenotransplantation* 25(6):e12431. DOI: <https://doi.org/10.1111/xen.12431>.
- Lander ES (2016). The Heroes of CRISPR. *Cell* 164(1-2):18-28. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.12.041>.
- Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM)*. Art. 3, XXI 11 de mayo de 2022 (México).
- Maiti RK, González Rodríguez H, Aruna Kumari CH, Begum S and Rajkumar D (2022). Origin, Evolution, and Domestication of Maize. En Maiti RK *et al.* (Eds.), *Advances in Maize Science. Botany, Production, and Crop Improvement* (pp. 29-48). Apple Academic Press, Florida, E.U.
- Reuters (2024, mayo 8). Aprueba China el primer trigo modificado genéticamente. *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/noticia/2024/05/08/ciencia-y-tecnologia/aprueba-china-el-primer-trigo-modificado-geneticamente-1785>.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (2000). *Protocolo de Cartagena sobre la Diversidad Biológica. Textos y anexos*. Montreal: Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica.
- Tsatsakis AM, Nawaz MA, Tutelyan VA *et al.* (2017). Impact on environment, ecosystem, diversity and health from culturing and using GMOs as feed and food. *Food and Chemical Toxicology* 107(Pt A):108-121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.06.033>.

Antonio T. Araujo Soto
Colegio de Bachilleres No. 2 Cien Metros
“Elisa Acuña Rossetti”
tonorastes@gmail.com



© Raúl Chiquito. *Mayordomos*. Mayordomos comiendo en una casa de Tlaxcalancingo en los años sesenta.

El Timbe:

un árbol que salva ecosistemas y promueve la biotecnología

Lucía **Guerrero-Becerra**
Consuelo **Lomas-Soria**

El timbe (*Acaciella angustissima*) es una especie de árbol o arbusto de la familia Fabaceae y subfamilia Mimosoideae. Esta planta, originaria de América Tropical, se distribuye ampliamente, encontrándose en países como Estados Unidos, México, Centroamérica, Venezuela, Colombia, Perú, Ecuador, Bolivia y Argentina, además de estar presente en algunas regiones de África, Asia, Oceanía y el Caribe. Prefiere habitar en zonas de bosques secos o semiáridos, así como en áreas de transición entre bosques y sabanas.

El timbe puede alcanzar entre 2 y 7 metros de altura. Sus hojas son compuestas y deciduas, lo que le permite, al perderlas durante la temporada seca, adaptarse a las condiciones de sequedad; sus flores, pequeñas y de un característico color blanco, se agrupan en racimos, formando inflorescencias atractivas; el fruto es una vaina alargada, típica de las fabáceas, que contiene varias semillas que se dispersan en su entorno. El timbe ha enfrentado amenazas que ponen en riesgo su supervivencia, principalmente debido a la destrucción de su hábitat, la deforestación y el cambio climático, factores que afectan las poblaciones locales de esta especie. Además, los pobladores suelen talar los árboles para utilizarlos como leña o como forraje para el ganado. Ante esta situación,



Figura 1. Timbe (*Acaciella angustissima*). Creado con Biorender.

en 2011 se impulsó en Querétaro un programa de reforestación con la adopción de estos árboles con la finalidad de preservar y restaurar sus poblaciones. Por lo tanto, el objetivo de este artículo es dar a conocer la importancia ecológica, biotecnológica y cultural del timbe, así como motivar a la acción a la sociedad, las autoridades y la comunidad científica, con el fin de promover su conservación y su aprovechamiento sostenible.

PARTICULARIDADES Y USOS DEL TIMBE

El timbe (*Acaciella angustissima*) se caracteriza por su alta producción de semilla, con un rendimiento de 90,000-100,000 semillas por kilogramo, y su notable resistencia a la sequía gracias a su raíz pivotante. El timbe puede adaptarse a condiciones climáticas y ecosistemas donde los suelos están bien drenados, infértiles y ácidos. Crece en lugares con precipitación

anual entre 400 y 3,000 mm y temperaturas de 5 °C -30 °C (Musara y Aladejana, 2020).

El timbe (Figura 1) está compuesto por una raíz pivotante profunda que le permite resistir la sequía y fijar nitrógeno en el suelo; un tronco delgado que actúa como soporte principal y ramas extendidas que sostienen hojas de textura ligera. Las flores del timbe son de color blanco o amarillo, y crecen en racimos, mientras que sus frutos en forma de vainas contienen numerosas semillas pequeñas. Todas las partes del timbe colaboran entre sí para adaptarse a condiciones difíciles, jugando un papel fundamental en los ecosistemas secos y semiáridos. Esta capacidad del timbe para mejorar la calidad del suelo lo convierte en una herramienta valiosa en la biorremediación, ya que contribuye a la restauración de ecosistemas degradados; su uso en cultivo rotativo también es benéfico, ya que ayuda a mantener la fertilidad del suelo, reduce la erosión y mejora la estructura del terreno (Alonso-Herrada *et al.*, 2016).

El timbe se ha utilizado tradicionalmente en usos que aprovechan toda la planta. El tronco se emplea como leña o para hacer postes de cercas, mientras que la corteza se utiliza en la industria del curtido de pieles. En la práctica cultural, también se usa para la fermentación de bebidas alcohólicas como el pulque. Las flores son aprovechadas por las abejas debido a su polen, y tanto las hojas como los frutos (vainas y semillas) sirven de forraje. Esto último se debe a su notable capacidad de rebrote, lo que le permite producir más hojas que otras fabáceas, por lo que es una excelente fuente de proteínas, vitaminas y minerales, especialmente valiosa durante las temporadas secas. Además, su alta concentración de nitrógeno (33.2-40.8 g/kg de materia seca) lo convierte en una fuente proteica destacada. Sin embargo, su consumo debe ser controlado, ya que un exceso puede causar pérdida de peso e incluso la muerte en animales no adaptados. Para mitigar estos efectos, se han implementado métodos de adaptación gradual y transferencia de microbios ruminales, lo cual mejora la digestibilidad y seguridad de la planta como suplemento alimenticio animal. Finalmente, la raíz y la corteza del timbe se emplean en la medicina tradicional para aliviar dolores de muelas, artritis, gastritis, reumatismo, lesiones cutáneas y trastornos digestivos como la diarrea (Musara y Aladejana, 2020; Rico-Arce y Bachman, 2006; Odenyo *et al.*, 2003).

PROPIEDADES BIOLÓGICAS DEL TIMBE

El timbe ha demostrado poseer propiedades biológicas destacables, lo que le otorga un gran potencial para ser utilizado en diversas aplicaciones. Estas propiedades se deben principalmente a su alto contenido de compuestos fenólicos, metabolitos secundarios que la planta produce como mecanismo de defensa frente a factores ambientales. Investigaciones sobre los extractos de sus vainas han revelado una notable capacidad antioxidante, lo que significa que son eficaces en la protección de las células contra el daño causado por los radicales libres, sustancias nocivas que pueden afectar el organismo. Además, tanto en sus semillas, como en la vaina, flores, hojas

y tallo, se ha identificado la presencia de fenoles, compuestos que refuerzan aún más las propiedades protectoras de la planta, y amplían su potencial de uso en diferentes campos, desde la salud hasta la industria (Rodríguez-Méndez *et al.*, 2018; Alonso-Herrada *et al.*, 2016). El timbe ha mostrado tener propiedades antimicrobianas, lo que lo hace efectivo contra ciertos hongos que afectan a las plantas. También se ha observado que el timbe puede proteger el ADN celular al reducir hasta un 80.33 % los daños causados por una sustancia que altera la genética de las células (Vargas-Hernández *et al.*, 2014).

Rodríguez-Méndez y colaboradores (2018) encontraron que los compuestos fenólicos de las vainas del timbe ayudan a regular el colesterol de manera más equilibrada, reduciendo el LDL (colesterol “malo”) y los triglicéridos, mientras aumentan el HDL (colesterol “bueno”). Además, el timbe disminuye los niveles de glucosa en sangre y, gracias a su alto contenido antioxidante, protege los riñones al reducir el estrés oxidativo. También tiene propiedades antiinflamatorias, lo que puede ser útil para tratar las inflamaciones crónicas asociadas a la diabetes. En este sentido, los hallazgos de Rangel-Sandoval y colaboradores (2025) refuerzan estos resultados, ya que señalan que las vainas del timbe son efectivas para reducir la acción de una enzima relacionada con el aumento de azúcar en sangre. Por otro lado, las semillas, al inhibir una enzima clave en la digestión de los carbohidratos, ayudan a manejar de manera más eficiente la glucosa en el cuerpo.

Rangel-Sandoval y colaboradores (2025) han reportado que el timbe mostró capacidad para bloquear una enzima importante en la fisiopatología de la hipertensión, lo que lo convierte en una opción interesante como tratamiento complementario para la presión arterial alta.

En cuanto a su acción antimicrobiana, las vainas fueron las más efectivas contra ciertas bacterias, mientras que las semillas y flores tuvieron efectos más limitados, aunque también mostraron actividad frente a algunas bacterias comunes como *E. coli*, *Salmonella* y *Staphylococcus*. En este sentido, el timbe se

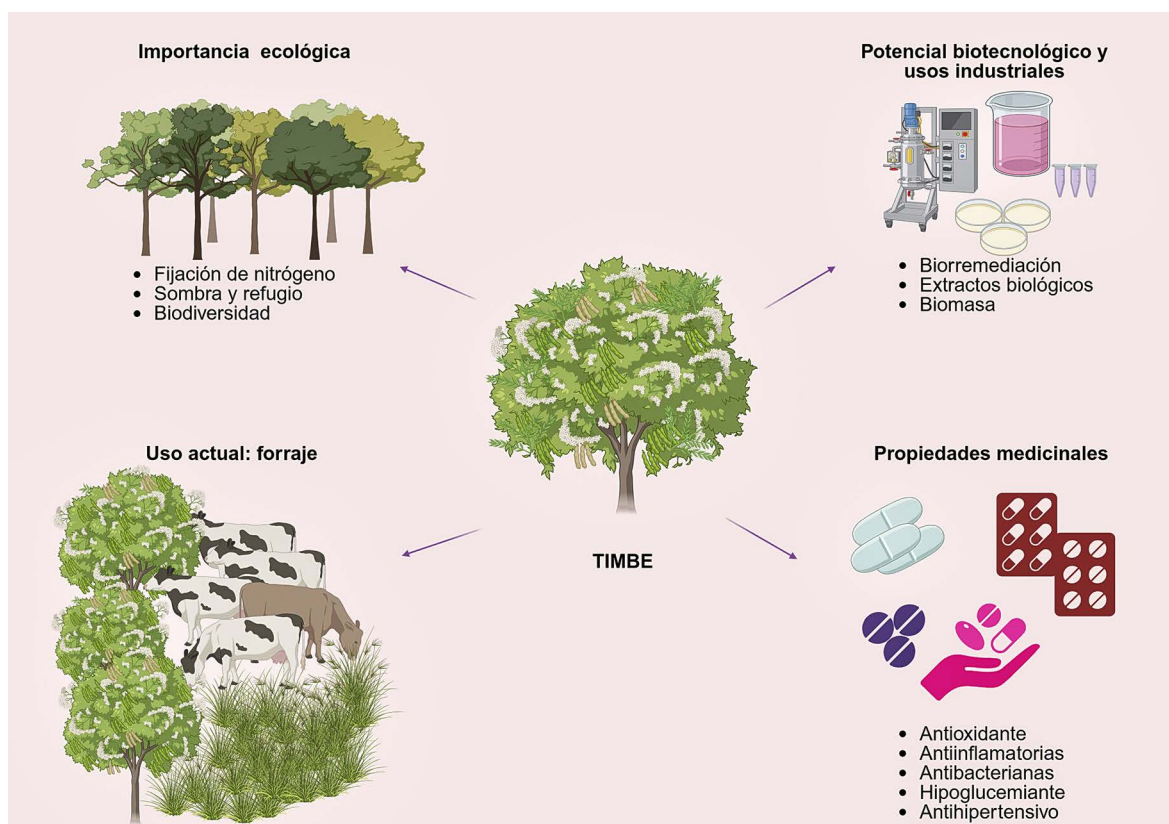


Figura 2. Timbe: relevancia ecológica, usos actuales y potenciales aplicaciones. Creado con Biorender.

presenta como una alternativa natural prometedora para el tratamiento complementario de enfermedades como la hiperglucemia, la dislipidemia, la hipertensión y el estrés oxidativo asociados a la diabetes, además de mostrar propiedades antimicrobianas.

POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO

Los hallazgos sobre el timbe destacan su gran potencial en los sectores farmacéutico, agroindustrial y alimentario, tanto por los compuestos bioactivos que contiene como por sus genes con aplicaciones biotecnológicas. Por ejemplo, en un estudio encontraron los factores de transcripción NAC, los cuales no solo participan en el desarrollo de la planta (como la formación de flores o la senescencia de hojas), sino que también son clave en la respuesta de la planta a estreses bióticos (como plagas) y abióticos (como sequías o salinidad), relacionándolo con su

capacidad para aguantar situaciones climáticas adversas (Vargas-Hernández *et al.*, 2014). Además, se observó una excelente regeneración de brotes y enraizamiento sin la necesidad de productos químicos adicionales. Por ejemplo, se ha comprobado que las plántulas jóvenes de timbe son capaces de producir compuestos como ácido gálico y catequina (fenólicos), especialmente durante las primeras etapas de su crecimiento. Este descubrimiento abre nuevas oportunidades para obtener estos compuestos de manera más sostenible, al mismo tiempo que facilita la propagación y conservación de la especie, lo que podría beneficiar a diversas industrias (Alonso-Herrada *et al.*, 2016).

En términos de su potencial biotecnológico, el timbe ofrece aplicaciones en la producción de compuestos bioactivos con posibles usos en medicina, especialmente en áreas como la actividad antimicrobiana y antioxidante, aunque estos beneficios aún requieren mayor investigación. Además, aunque su madera no se utiliza ampliamente en la industria, es



© Raúl Chiquito. *Mirando el paisaje*. Interior de un autobús de los años cincuenta.

adecuada para la fabricación de productos artesanales, como utensilios y herramientas.

Por último, el timbe tiene también un gran potencial como fuente de biomasa para la producción de energía renovable, lo que lo convierte en un recurso valioso para aplicaciones sostenibles.

CONCLUSIÓN Y PERSPECTIVAS

El timbe (*Acaciella angustissima*) es una especie clave para la salud de los ecosistemas, desempeñando un papel crucial en la mejora de la calidad del suelo y en la sostenibilidad de los entornos donde se encuentra. Su capacidad de adaptación y sus propiedades biotecnológicas hacen de ella un recurso valioso, tanto para la conservación del medio ambiente como para diversas aplicaciones industriales y medicinales. Además de su valor ecológico, el timbe tiene un gran potencial para diversas industrias y aplicaciones sostenibles, más allá de su uso como forraje (Figura 2).

REFERENCIAS

- Alonso-Herrada J, Rico-Reséndiz F, Campos-Guillén J *et al.* (2016). Establishment of in vitro regeneration system for *Acaciella angustissima* (timbe) a shrubby plant endemic of México for the production of phenolic compounds. *Industrial Crops and Products* 86:49-57.
- Musara C and Aladejana EB (2020). *Acaciella angustissima* (Mill.) Brit. & Rose: Botanical Features, Distribution, Medicinal and Pharmacological Properties. *Journal of Pharmacy and Nutrition Sciences* 10:325-330.
- Odenyo AA, Osuji PO, Reed JD *et al.* (2003). *Acacia angustissima*: Its anti-nutrients constituents, toxicity and possible mechanisms to alleviate the toxicity-a short review. *Agroforestry Systems* 5:141-147.
- Rangel-Sandoval DK, Guerrero-Becerra L, Lomas-Soria C *et al.* (2025). timbe (*Acaciella angustissima*) as an Alternative Source of Compounds with Biological Activity: Antidiabetic. *Pharmaceuticals* 18:593.
- Rico-Arce ML and Bachman S (2006). A taxonomic revision of *Acaciella* (Leguminosae, Mimosoideae). *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 63:189-244.
- Rodríguez-Méndez AJ, Carmen-Sandoval W, Lomas-Soria C *et al.* (2018). timbe (*Acaciella angustissima*) pods extracts reduce the levels



© Raúl Chiquito. *Malinche y guajolote*. Llevando alimentos a casa de los padrinos de boda.

of glucose, insulin and improved physiological parameters, hypolipidemic effect, oxidative stress and renal damage in streptozotocin-induced diabetic rats. *Molecules* 23:2812.

Vargas-Hernández M, Munguía-Fragozo PV, Cruz-Hernández A et al. (2014). Bioactivity and gene expression studies of an arbustive Mexican specie *Acaciella angustissima* (timbe). *Industrial Crops and Products* 52:649-655.

Lucía Guerrero-Becerra
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro
Campus Amazcala
gubel28@gmail.com

Consuelo Lomas-Soria
Instituto Nacional de Ciencias Médicas
y Nutrición Salvador Zubirán

Nectarios extraflorales en cactáceas: ¿qué son y cuál es su función?

Héctor **Godínez Álvarez**
Lorena **Miranda Carbajal**

Las cactáceas son esenciales para la estructura y funcionamiento de las regiones áridas y semiáridas porque establecen interacciones ecológicas con otras plantas y animales. Una de estas interacciones es la polinización de las flores por animales vertebrados e invertebrados. Las abejas, colibríes y murciélagos visitan las flores para consumir el néctar y, de manera inadvertida, ayudan a transportar el polen entre las flores de distintas plantas. El polen transportado entre las flores permite la fecundación de los óvulos y la formación de las semillas.

El néctar de las flores es necesario para la reproducción de las cactáceas porque atrae a los polinizadores. Sin embargo, existen alrededor de 70 especies de cactáceas que, además de producir néctar en las flores, también pueden producirlo en estructuras denominadas *nectarios extraflorales* —es decir, nectarios ubicados fuera de las flores— (Mauseth *et al.*, 2016). El néctar de los nectarios extraflorales no es necesario para la polinización, pero puede atraer abejas, avispas, chinches, escarabajos, mariposas, moscas y, especialmente, hormigas (Tabla 1), que pueden beneficiar a las cactáceas.

Este trabajo describe qué son los nectarios extraflorales, qué tipos de nectarios extraflorales tienen las cactáceas y

Cactáceas	Néctar extrafloral	Hormigas	Herbívoros (orden)	Región
<i>Cylindropuntia acanthocarpa</i> *	Azúcares, aminoácidos	<i>Crematogaster opuntiae</i> <i>Forelius pruinosus</i> *	<i>Chelinidea vittiger</i> (Hemiptera) <i>Narnia inornata</i> (Hemiptera)	Desierto sonorense
<i>Cylindropuntia cholla</i> *	-	<i>Crematogaster opuntiae</i> <i>Liometopum apiculatum</i>	<i>Cahela ponderosella</i> (Lepidoptera) <i>Gerstaeckeria</i> (Coleoptera) <i>Narnia femorata</i> * (Hemiptera)	Desierto chihuahuense
<i>Cylindropuntia imbricata</i>	-	<i>Crematogaster opuntiae</i> <i>Forelius pruinosus</i> <i>Liometopum apiculatum</i> <i>Pseudomyrmex pallidus</i>	-	Desierto chihuahuense
<i>Ferocactus acanthodes</i>	Aminoácidos, azúcares, agua	<i>Crematogaster depilis</i> <i>Forelius pruinosus</i> *	-	Desierto sonorense
<i>Ferocactus gracilis</i>	Azúcares	<i>Brachymyrmex depilis</i> <i>Camponotus ocreatus</i> <i>Crematogaster depilis</i> <i>Dorymyrmex insanus</i> * <i>Forelius pruinosus</i> * <i>Monomorium viridum</i> <i>Myrmecocystus mimicus</i> <i>Pheidole grallipes</i> <i>Solenopsis xyloni</i> <i>Tetramorium spinosum</i> *	<i>Narnia wilsonii</i> (Hemiptera)	Desierto sonorense
<i>Ferocactus latispinus</i>	-	<i>Camponotus atriceps</i> <i>Camponotus festinatus</i> <i>Camponothus rubrithorax</i> <i>Pseudomyrmex major</i>	-	Valle de Tehuacán Cuicatlán
<i>Ferocactus wislizeni</i>	-	<i>Crematogaster opuntiae</i> <i>Forelius pruinosus</i> <i>Solenopsis aurea</i> <i>Solenopsis xyloni</i>	<i>Chelinidea vittiger</i> (Hemiptera) <i>Leptoglossus phyllopus</i> (Hemiptera) <i>Narnia femorata</i> * (Hemiptera)	Desierto sonorense
<i>Neoraimondia arequipensis roseiflora</i>	-	<i>Camponotus</i>	<i>Diptera</i> , <i>Lepidoptera</i>	Matorral desértico subtropical
<i>Opuntia sulphurea</i>	-	<i>Brachymyrmex</i> <i>Camponotus compositor</i> <i>Camponotus mus</i> <i>Dorymyrmex</i> <i>Forelius</i> <i>Linepithema</i> <i>Pheidole</i>	<i>Acromyrmex lobicornis</i> (Hymenoptera) <i>Cactoblastis doddi</i> (Lepidoptera) <i>Narnia</i> (Hemiptera)	-
<i>Pachycereus schottii</i>	-	<i>Camponotus atriceps/sayi</i> <i>Camponotus fragilis</i> <i>Cephalotes rohweri</i> <i>Crematogaster depilis</i> <i>Dorymyrmex bicolor</i> <i>Forelius mccooki/ pruinosus</i> <i>Monomorium</i> <i>Myrmecocystus mimicus</i> <i>Pheidole obtusospinosa</i> <i>Pheidole vistana</i> <i>Pseudomyrmex gracilis</i> <i>Pseudomyrmex pallidus</i> <i>Solenopsis xyloni</i> <i>Tetramorium hispidum</i>	<i>Cactobrosia fernaldialis</i> (Lepidoptera) <i>Moneilema gigas</i> (Coleoptera)	Desierto sonorense

Tabla 1. Hormigas y herbívoros asociados a cactáceas en regiones desérticas. Para algunas cactáceas se muestra la composición del néctar producido por los nectarios extraflorales. Los asteriscos señalan los casos en los que los nombres científicos inválidos fueron sustituidos por los nombres científicos válidos.

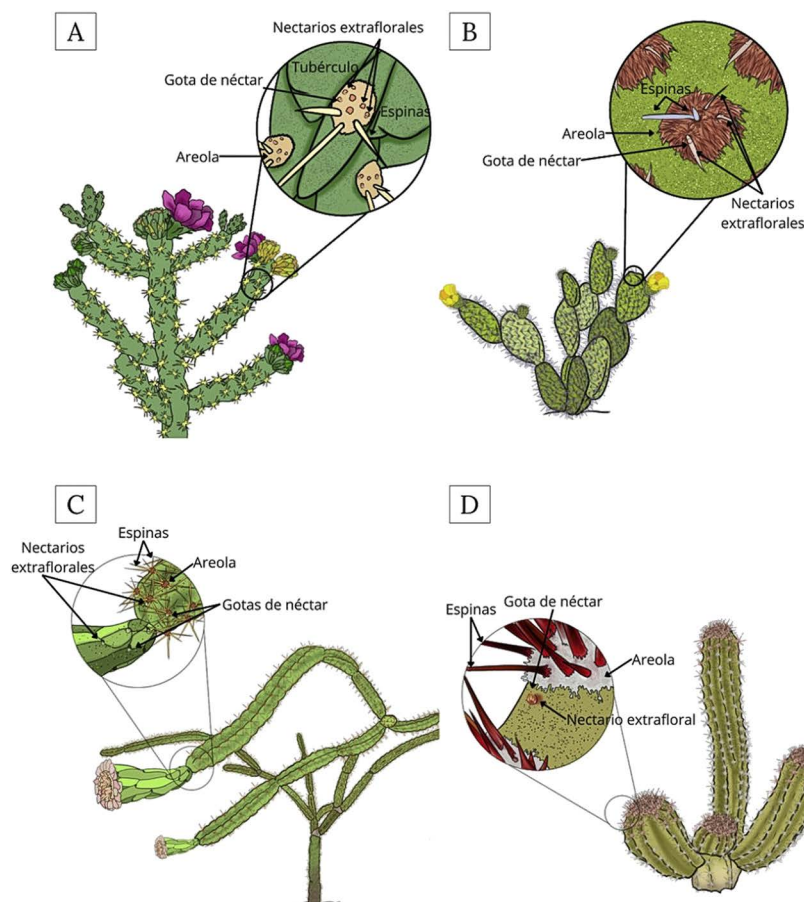


Figura 1. Esquemas de los cuatro tipos de nectarios extraflorales encontrados en las cactáceas. A) *Cylindropuntia imbricata* con espinas modificadas, B) *Opuntia pycnantha* con espinas comunes, C) *Leptocereus weingartianus* con hojas pequeñas y D) *Pachycereus schottii* con regiones del tallo.

qué hormigas consumen el néctar de estos nectarios. Además, describe los beneficios que las cactáceas pueden obtener del consumo del néctar por las hormigas.

NÉCTAR Y NECTARIOS EXTRAFLORALES

Los nectarios extraflorales son glándulas que producen néctar y pueden ubicarse en distintas partes de las cactáceas, como tallos, areolas –las estructuras del tallo donde crecen las espinas, flores y frutos– y frutos (Mauseth *et al.*, 2016). El néctar puede contener agua, azúcares como glucosa, fructosa y sacarosa, así como alrededor de 20 aminoácidos, entre ellos asparagina, glutamina, serina, valina y prolina (Tabla 1; Blom y Clark, 1980; Ruffner y Clark, 1986). Sin embargo, la composición y producción del néctar pueden variar según la etapa reproductiva de

la cactácea y la hora del día. Por ejemplo, el néctar de *Ferocactus acanthodes* es menos acuoso y más azucarado cuando tiene botones florales que cuando tiene frutos inmaduros (Ruffner y Clark, 1986). Asimismo, los nectarios extraflorales de *Ferocactus gracilis* pueden producir néctar todo el día, aunque su producción es mayor a las 12:00, 18:00 y 24:00 h (Blom y Clark, 1980).

Pocos estudios han evaluado la composición y producción del néctar porque los nectarios extraflorales producen cantidades pequeñas que son difíciles de recolectar. Los nectarios extraflorales de *Opuntia acanthocarpa* y *Ferocactus acanthodes* producen 0.3 μ l y 1.2-4.0 μ l de néctar por día (1 μ l es igual a una millonésima parte de un litro), respectivamente (Pickett y Clark, 1979; Ruffner y

Clark, 1986). Sin embargo, el consumo continuo del néctar por las hormigas impide que este se acumule en los nectarios extraflorales. Además, el néctar es altamente viscoso porque las altas temperaturas ambientales evaporan el agua, lo cual dificulta su recolección (Blom y Clark, 1980).

Las cactáceas pueden tener cuatro tipos de nectarios extraflorales (Figura 1). El primer tipo son espinas modificadas, cortas, anchas y romas. Estos nectarios se han encontrado en especies de *Coryphantha*, *Echinocactus*, *Ferocactus*, *Sclerocactus*, *Thelocactus* y *Cylindropuntia* (Mauseth et al., 2016). El segundo tipo son espinas comunes, sin ninguna modificación aparente. Estos nectarios se han encontrado en especies de *Brasiliopuntia*, *Calymmanthium*, *Harrisia*, *Opuntia*, *Peresklopsis* y *Quiabentia* (Mauseth et al., 2016). El tercer tipo son hojas pequeñas ubicadas debajo de las areolas. Estos nectarios se han encontrado en especies de *Acanthocereus*, *Leptocereus*, *Myrtillocactus*, *Pachycereus* y *Stenocereus* (Mauseth et al., 2016). El cuarto tipo son regiones del tallo ubicadas debajo de las areolas, conformadas por una capa exterior o epidermis y una capa interior o corteza. Estos nectarios se han encontrado en especies de *Armatocereus*, *Leptocereus* y *Pachycereus* (Mauseth et al., 2016).

HORMIGAS VISITANTES

Los nectarios extraflorales pueden ser visitados por hormigas de las subfamilias Myrmicinae, Dolichoderinae, Formicinae y Pseudomyrmecinae (Tabla 1, Figura 2). Sin embargo, sus visitas varían entre el día y la noche. Algunas hormigas, como *Brachymyrmex depilis* (Formicinae), *Crematogaster opuntiae* (Myrmicinae), *Dorymyrmex insanus* (Dolichoderinae) y *Myrmecocystus mimicus* (Formicinae), visitan los nectarios durante el día (Blom y Clark, 1980; Ness et al., 2006). Por el contrario, otras hormigas, como *Camponotus ocreatus* (Formicinae) y *Crematogaster depilis* (Myrmicinae), los visitan durante la noche (Blom y Clark, 1980).

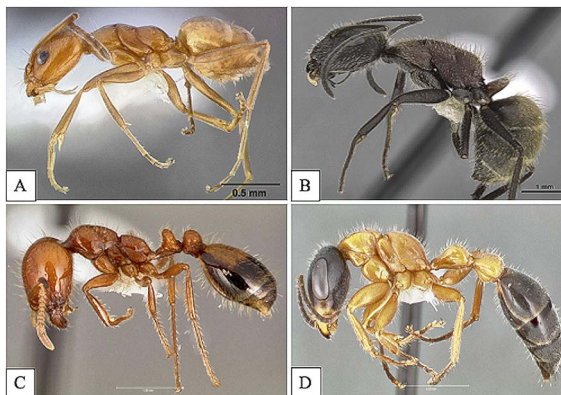


Figura 2. Ejemplos de algunas hormigas de distintas subfamilias que visitan los nectarios extraflorales de las cactáceas. A) *Forelius pruinosus* (Dolichoderinae), B) *Camponotus rubrithorax* (Formicinae), C) *Solenopsis xyloni* (Myrmicinae) y D) *Pseudomyrmex major* (Pseudomyrmecinae). Fotografías de April Nobile y Shannon Hartman tomadas de <https://www.antweb.org/>.

La abundancia de hormigas en los nectarios extraflorales también puede variar durante el día debido a su habilidad competitiva y tolerancia a la temperatura ambiental (Fitzpatrick et al., 2014). Las hormigas *Solenopsis aurea*, *S. xyloni* y *C. opuntiae* son abundantes en los nectarios extraflorales de *Ferocactus wislizeni* en la mañana y en la tarde. Estas especies son buenas competidoras que impiden a otras especies usar los nectarios, pero son poco tolerantes a las altas temperaturas del mediodía (Fitzpatrick et al., 2014). Por el contrario, la hormiga *F. pruinosus* es particularmente abundante en los nectarios de *F. wislizeni* al mediodía. Esta especie es una mala competidora que solo puede acceder a los nectarios cuando no están ocupados por las buenas competidoras, y además es muy tolerante a las altas temperaturas (Fitzpatrick et al., 2014).

BENEFICIOS PARA LAS CACTÁCEAS

El consumo del néctar extrafloral por las hormigas puede proporcionar varios beneficios a las cactáceas. Uno de ellos es la defensa contra insectos herbívoros (Marazzi et al., 2013). Las hormigas que consumen el néctar extrafloral defienden a las cactáceas de los herbívoros que se alimentan de sus tallos, flores y frutos. Las hormigas *S. xyloni*, *S. aurea*, *C. opuntiae* y *F. pruinosus* defienden a *F. wislizeni* de

chinchas y larvas de mariposa (Ness *et al.*, 2006). Sin embargo, las hormigas difieren en su capacidad defensiva. Por ejemplo, *Solenopsis xyloni* es la mejor defensora, ya que solo necesita alrededor de 9 individuos para atacar y remover 5 larvas de mariposa en 30 minutos, seguida por *S. aurea* y *C. opuntiae*, que necesitan 14 y 19 individuos, respectivamente. *Forelius pruinosus* es la peor defensora, pues requiere 30 individuos (Ness *et al.*, 2006).

De manera similar, algunas especies de hormigas, como *Camponotus planatus*, *Paratrechina longicornis* y *Crematogaster brevispinosa*, defienden a *Opuntia stricta* de chinchas, moscas minadoras y larvas de mariposa (Oliveira *et al.*, 1999). Sin embargo, la defensa varía según el tipo de herbívoro. Las hormigas solo defienden a la cactácea de las larvas de mariposa que se alimentan de tallos jóvenes y botones florales cercanos a los nectarios extraflorales, productores de néctar. Por el contrario, no la defienden de chinchas y moscas minadoras que se alimentan de tallos viejos, donde los nectarios ya no producen néctar (Oliveira *et al.*, 1999).

Las hormigas que consumen néctar extrafloral pueden variar desde especies que atacan y remueven herbívoros hasta especies que los toleran y conviven con ellos. Las primeras establecen un mutualismo defensivo, donde ambas partes obtienen beneficios: las hormigas reciben néctar y las cactáceas son defendidas. Las segundas establecen un comensalismo, donde solo las hormigas obtienen beneficio (néctar), sin defender a las cactáceas.

Además de la defensa, el consumo de néctar extrafloral por hormigas podría beneficiar a las cactáceas en la polinización y enriquecimiento del suelo (Marazzi *et al.*, 2013), aunque estos efectos no han sido evaluados experimentalmente en cactáceas. Respecto a la polinización, las flores de *F. wislizeni* ocupadas por hormigas agresivas como *S. xyloni* son menos visitadas por polinizadores que aquellas ocupadas por hormigas menos agresivas como *F. pruinosus*, lo que reduce la producción de semillas (Ness, 2006). Se ha sugerido que el néctar extrafloral podría distraer a las hormigas de las flores, evitando que interfieran en la polinización (Marazzi *et al.*, 2013). Para comprobar este efecto es

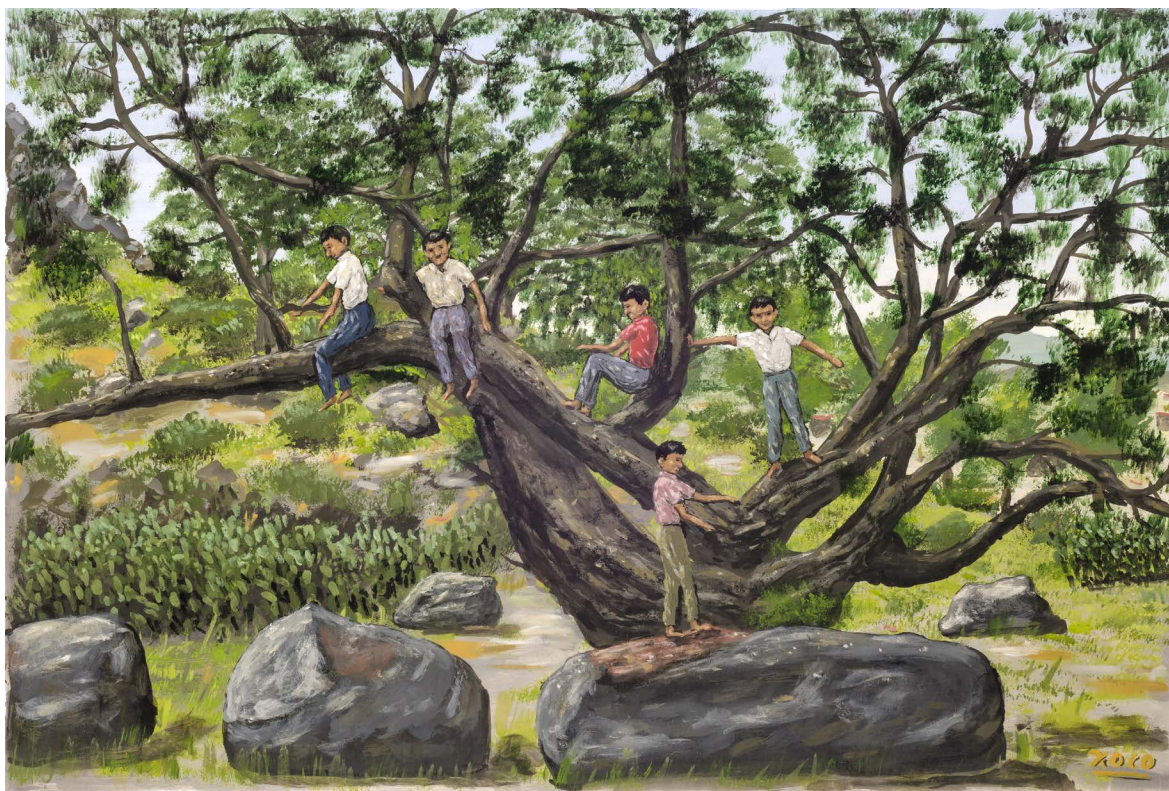
necesario estudiar si las cactáceas con mayor cantidad de néctar extrafloral tienen menos hormigas en las flores que las cactáceas con menor cantidad.

Respecto a los nutrientes del suelo, las hormigas acumulan residuos orgánicos cerca de sus nidos, enriqueciendo el suelo. Se ha sugerido que el néctar extrafloral podría incentivar a las hormigas a anidar cerca de las cactáceas; por ejemplo, los nidos de la hormiga *C. opuntiae* se distribuyen cerca de las plantas de *F. wislizeni* que tienen más nectarios (Lanan y Bronstein, 2013), aunque se desconoce si esto enriquece el suelo. Para comprobar este efecto es necesario estudiar si las cactáceas con mayor cantidad de néctar extrafloral, tienen mayor número de nidos y nutrientes del suelo, que las cactáceas con menor cantidad. Los beneficios del néctar extrafloral no son excluyentes: mutualismo defensivo, distracción de hormigas y enriquecimiento del suelo pueden ocurrir simultáneamente en una misma especie de cactácea.

CONCLUSIONES

Los nectarios extraflorales están presentes en muchas cactáceas. Su néctar proporciona agua, azúcares y aminoácidos a insectos, especialmente hormigas, lo que puede beneficiar a las cactáceas mediante defensa contra herbívoros, reducción de interferencia en polinización y aumento de nutrientes en el suelo.

El estudio del néctar extrafloral y sus beneficios requiere mayor atención, ya que solo se han evaluado 10 o 12 especies de las aproximadamente 70 con nectarios extraflorales. Estos estudios, por ejemplo, podrían contribuir a entender por qué solo 70, de alrededor de 1,000 especies de cactáceas, tienen nectarios extraflorales. Las especies con nectarios extraflorales habitan distintos ecosistemas como pastizales, matorrales xerófilos, selvas secas y selvas lluviosas, por lo que podrían estar sujetas a distintas presiones de selección. Sin embargo, para entender estas presiones es necesario estudiar cómo varían los beneficios que las cactáceas pueden obtener del consumo del néctar por las hormigas en estos



© Raúl Chiquito. *Pirú sagrado*. Árbol de pirú en el promontorio Acahualtepetzin.

ecosistemas. Los aspectos mencionados resaltan la necesidad de investigar más para comprender las implicaciones ecológicas y evolutivas del néctar extrafloral y sus beneficios.

REFERENCIAS

- Blom PE and Clark WH (1980). Observations of ants (Hymenoptera: Formicidae) visiting extrafloral nectaries of the barrel cactus, *Ferocactus gracilis* Gates (Cactaceae), in Baja California, Mexico. *Southwestern Naturalist* 25:181-196.
- Fitzpatrick G, Lanan MC and Bronstein JL (2014). Thermal tolerance affects mutualist attendance in an ant-plant protection mutualism. *Oecologia* 176:129-138.
- Lanan MC and Bronstein JL (2013). An ant's-eye view of an ant-plant protection mutualism. *Oecologia* 172:779-790.
- Mauseth JD, Rebmann JP and Rodrigues Machado S (2016). Extrafloral nectaries in cacti. *Cactus and Succulent Journal* 88:156-171.
- Marazzi B, Bronstein J and Koptur S (2013). The diversity, ecology and evolution of extrafloral nectaries: current perspectives and future challenges. *Annals of Botany* 111:1243-1250.
- Ness JH (2006). A mutualism's indirect costs: the most aggressive plant bodyguards also deter pollinators. *OIKOS* 113:506-514.
- Ness JH, Morris WF and Bronstein JL (2006). Integrating quality and quantity of mutualistic service to contrast ant species protecting *Ferocactus wislizeni*. *Ecology* 87:912-921.
- Oliveira PS, Rico-Gray V, Díaz-Castelazo C and Castillo-Guevara C (1999). Interaction between ants, extrafloral nectaries and insect herbivores in Neotropical coastal sand dunes: herbivore deterrence by visiting ants increases fruit set in *Opuntia stricta* (Cactaceae). *Functional Ecology* 13:623-631.
- Pickett CH and Clark WD (1979). Function of extrafloral nectaries in *Opuntia acanthocarpa* (Cactaceae). *American Journal of Botany* 66:618-625.
- Ruffner GA and Clark WD (1986). Extrafloral nectar of *Ferocactus acanthodes* (Cactaceae): Composition and its importance to ants. *American Journal of Botany* 73:185-189.

Héctor Godínez Álvarez
Lorena Miranda Carbajal
Unidad de Biotecnología y Prototipos
Facultad de Estudios Superiores Iztacala
Universidad Nacional Autónoma de México
hgodinez@unam.mx

Deshidratado solar de piña

Aldo Giovanni **Vázquez Guzmán**
Adrián **Vidal Santo**

Juan siembra piñas en Alvarado, Veracruz. Como muchos niños de su comunidad, él ayudó a su familia en el campo, y cuando se volvió adulto tomó la batuta. Convertido en campesino, sus jornadas comienzan antes de que salga el sol. Las canastas repletas de piña le hunden los hombros en la aún húmeda madrugada. Cada agachada para arrancar la maleza obstinada es un latigazo a su espalda, y la tierra húmeda, además de ensuciarlo, se le incrusta bajo las uñas. Las pequeñas heridas en sus manos, resacas y agrietadas, no son marcas aisladas, sino un mapa en constante expansión trazado por cada jornada bajo el sol implacable. El trabajo del campo, en un terreno que se le resiste a cada paso, exige una fortaleza distinta, quizás más desgastante que la del albañil con sus cubetas de mezcla. Mientras el albañil moldea lo estático, Juan batalla contra lo vivo y perecedero. La maleza vuelve, y la piña exige prisa antes de convertirse en pérdida bajo el calor húmedo.

A nivel mundial, aproximadamente un tercio de la producción alimentaria se desperdicia cada año (FAO, 2019). Un ejemplo destacado de este problema se observa en la cadena de suministro de la piña, donde factores como los bajos precios y la corta vida útil del fruto contribuyen al desperdicio en la producción de pequeños agricultores. La Figura 1 muestra el desperdicio de piña en campos mexicanos. El tiempo de descomposición por bacterias aerobias de la piña es de aproximadamente dos semanas, a partir de su recolección en el campo. No obstante, la



Figura 1. Desperdicio de piña en campos mexicanos.

deshidratación puede prolongar el tiempo de vida de este fruto, retrasando la descomposición bioquímica hasta 6 meses, en función de las condiciones atmosféricas (Mongi, 2023).

La deshidratación de la piña evita pérdidas durante la cosecha, el almacenamiento y la distribución. La piña deshidratada, con una vida útil prolongada de más de seis meses, no solo permite a los productores almacenar cosechas no vendidas en su forma fresca, sino que también amplía el período de comercialización. Además, agrega valor al producto, lo que aumenta los márgenes de ganancia y convierte la actividad en un negocio más rentable (Gilago *et al.*, 2022).

El proceso de deshidratación de la piña implica la eliminación del agua a través de dos fenómenos clave: convección y difusión. La convección implica que el aire caliente en movimiento retira la humedad de la superficie del alimento, mientras que la difusión facilita el desplazamiento de la humedad, desde el interior hacia la superficie, durante el proceso de deshidratación (Rani *et al.*, 2023). Para ello se requiere que el aire mantenga una humedad relativa cercana al 50 % y una temperatura de 55 °C.

Durante el proceso de deshidratación de la piña, el calor y la humedad se mueven desde la superficie del alimento hacia el aire caliente circundante. La humedad que se evapora en la superficie del alimento es retirada, lo que provoca que la humedad del interior se desplace hacia la superficie, repitiendo este

proceso de forma continua. Los flujos de calor y masa ocurren simultáneamente, como se ilustra en la Figura 2, con el objetivo de estabilizar la temperatura y la humedad, tanto en el aire como en el alimento. Este proceso es conocido como secado convectivo. Sin embargo, existen otros métodos que pueden implementarse para deshidratar piña.

Los cuatro métodos convencionales de secado de alimentos son: secado convectivo, secado por congelación, secado osmótico y secado intermitente (Wang *et al.*, 2021). Estos métodos difieren significativamente en los agentes y mecanismos empleados, así como en sus efectos sobre la calidad del producto final. El secado convectivo, que utiliza aire seco caliente, destaca por su simplicidad operativa, aunque presenta el riesgo de oxidación debido a las altas temperaturas. En contraste, el secado por congelación, basado en la congelación seguida de sublimación, preserva los compuestos volátiles, pero es más costoso y lento. El secado osmótico sumerge el alimento en soluciones osmóticas para reducir la humedad, manteniendo la calidad sensorial, pero el contenido de humedad final es más alto. Por último, el secado intermitente aprovecha diferentes fuentes de calor para proteger los compuestos y prolongar la vida útil, aunque conlleva el riesgo de daño a componentes importantes.

Aunque cada método tiene sus ventajas y desventajas, la elección depende de las necesidades específicas de procesamiento y calidad del producto alimenticio. El secado convectivo surge como la opción más favorable en términos generales debido a su simplicidad de diseño, facilidad de operación, capacidad para preservar la calidad sensorial y su amplia disponibilidad y bajos costos operativos. Sin embargo, la aplicación de este proceso se enfrenta a obstáculos debido a la necesidad de utilizar dispositivos deshidratadores que funcionan con fuentes de energía convencionales, como electricidad o gas, lo que incrementa los costos y afecta la viabilidad económica. Además, estas prácticas convencionales contribuyen al efecto invernadero, lo que puede impactar ambientales adversos. Para superar estos desafíos, se sugiere la incorporación de energía solar en el proceso de deshidratación.

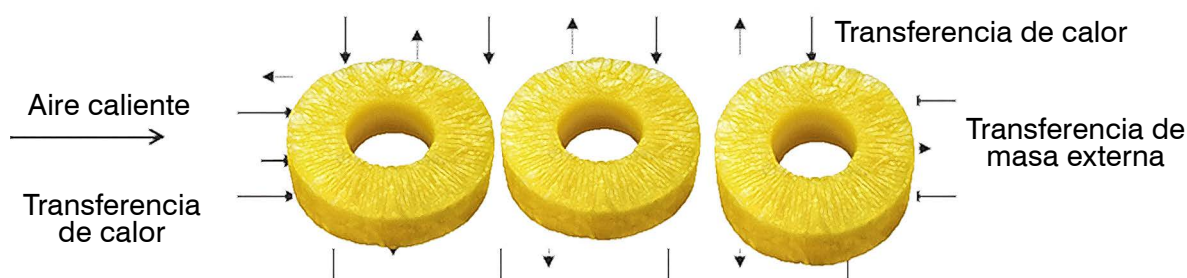


Figura 2. Proceso de transferencia de masa y calor en el secado de la piña.

México cuenta con una notable cantidad de irradiación solar durante todo el año, gracias a su ubicación geográfica y condiciones climáticas. Aunque la irradiación solar varía según las regiones del país, en líneas generales, las áreas con mayor radiación solar se ubican en el norte y noroeste, regiones reconocidas por ser altamente propicias para la implementación de sistemas de energía solar debido a sus condiciones climáticas favorables.

El uso de los rayos solares como fuente de calor en la deshidratación de alimentos reduce los costos de inversión al eliminar los gastos asociados a la fuente de energía. Además, permite que una planta deshidratadora opere de manera autónoma, independiente de la red eléctrica nacional. Esto último brinda escalabilidad a su aplicación, ya que las zonas de cultivo usualmente se encuentran en comunidades remotas.

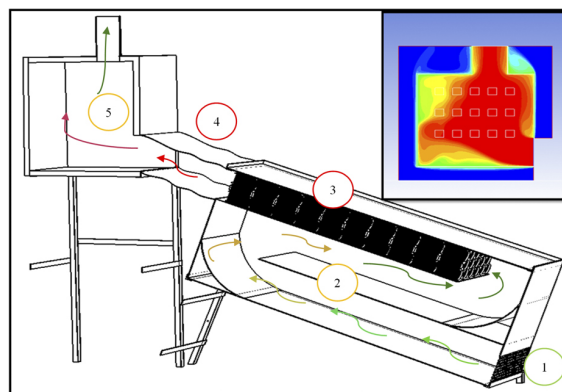
PROCESO DE DESHIDRATADO SOLAR CON EQUIPO EXPERIMENTAL

A continuación, se explica el proceso de deshidratado solar basándose en un deshidratador solar indirecto escalable (Vázquez *et al.*, 2025), patentado por la Universidad Veracruzana (Vidal *et al.*, 2023).

Para deshidratar productos orgánicos por convección, es necesario un flujo de aire con una humedad relativa baja, aproximadamente del 50 %. Además, para reducir la humedad relativa del aire en el ambiente, se requiere aumentar la temperatura mediante una fuente de calor, en este caso, un colector solar. El fluido de trabajo, que transporta la humedad, es el aire del ambiente; esta elección se debe a su fácil acceso, costo nulo y manejo simple.

Los parámetros atmosféricos que influyen en el proceso son la presión, temperatura, humedad relativa y humedad absoluta. En la zona costera de Alvarado, Veracruz, se registra una humedad relativa cercana al 62 %, acompañada de una temperatura promedio de 30 °C. La Figura 3 ilustra el secador con un corte transversal que exhibe el flujo de aire. El proceso de deshidratación de la materia orgánica por parte del aire se desarrolla en cinco etapas secuenciales. La etapa 1 consiste en filtrar el aire para evitar la entrada de elementos circundantes, como partículas de polvo o insectos. El proceso de la etapa 2 inicia con la captación de aire ambiente filtrado y su posterior calentamiento, originado por el calor desprendido de la parte inferior del colector solar. Luego, en la etapa 3, el aire se calienta en el colector solar de temperatura

Figura 3. Vista de corte transversal de un secador solar y distribución de calor dentro de la cámara de secado. Las secciones marcadas por números son: filtro del aire (1), precalentamiento (2), colector solar (3), interfaz del colector con la cámara de secado (4) y cámara de secado (5). Dentro de la figura se encuentra un esquema que representa la distribución de las temperaturas dentro de la cámara de secado.





© Raúl Chiquito. *Puente temazcal*. Presa denominada Temazcalac cerca del río Atoyac.

ambiente hasta los 60 °C y reduciendo la humedad relativa al 40 %. En la etapa 4, el aire circula por la interfaz del colector solar y la cámara de secado. Aquí, mediante ventiladores, se fuerza el incremento de la velocidad del aire para mejorar el proceso. Finalmente, en la etapa 5, el aire seco circula sobre la superficie de la piña, extrayendo la humedad. El aire, ahora humedecido, se retira por una chimenea en la parte superior de la cámara de secado hacia el ambiente, con una temperatura y humedad superiores a las que ingresó. El tiempo requerido es de 15 horas bajo condiciones promedio (Gilago *et al.*, 2022).

MERCADO DE LA PIÑA DESHIDRATADA

La industria de la piña es un sector dinámico y en constante evolución. La creciente demanda de productos saludables y sostenibles causa que las empresas innoven en productos de alta calidad a los consumidores. Además de la producción de piñas frescas, muchas empresas también se han aventurado en el mercado de los snacks saludables. Un

ejemplo de esto son los snacks de piña deshidratada usando como fuente de energía el sol. Esta alternativa es la opción más saludable para los consumidores frente a la piña deshidratada por ósmosis convencional, que implica sumergir la fruta en soluciones azucaradas concentradas (fruta cristalizada). Además, los análisis comparativos de los valores nutricionales revelan que la piña deshidratada mediante energía solar conserva mejor nutrientes claves como la vitamina C, la vitamina B6, el magnesio, la fibra y las proteínas, en comparación con su versión fresca (Chauhan *et al.*, 2020).

CONCLUSIÓN

La deshidratación solar de piña surge como una solución prometedora contra el desperdicio alimentario. No solo prolonga la vida útil del fruto, sino que también añade valor al producto, convirtiéndolo en una opción rentable para los productores. La combinación de la radiación solar abundante en regiones como México, con tecnologías de deshidratación solar, ofrece una alternativa sostenible y económicamente viable. Implementar sistemas de deshidratación solar



© Raúl Chiquito. *Espejo de agua*. Arroyo que cruzaba el pueblo en los sesenta.

reduce los costos operativos y promueve la autonomía energética, especialmente en áreas rurales.

El proceso eficiente, descrito en el equipo desarrollado por la Universidad Veracruzana, ilustra cómo la tecnología y los recursos naturales pueden conducir a soluciones innovadoras. Además, el mercado de la piña deshidratada brinda oportunidades para empresas que buscan ofrecer opciones saludables y sostenibles a los consumidores, como los snacks de piña deshidratada. La adopción de tecnologías avanzadas garantiza la calidad y eficiencia en la producción de estos productos, contribuyendo aún más a su atractivo en el mercado.

REFERENCIAS

Chauhan A, Singh S, Dhar A and Powar S (2021). Optimization of pineapple drying based on energy consumption, nutrient retention, and drying time through multi-criteria decision-making. *Journal of Cleaner Production* 292:125913.

FAO (2019). *Pérdida y desperdicio de alimentos*. Portal de apoyo a las políticas y la gobernanza. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: <https://www.fao.org/policy-support/policy-themes/food-loss-food-waste/es/>.

Gilago MC, Mugi VR and Chandramohan VP (2022). Investigation of exergy-energy and environ-economic performance parameters of active

indirect solar dryer for pineapple drying without and with energy storage unit. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 53:102701.

Mongi RJ (2023). Physicochemical properties, microbial loads and shelf life prediction of solar dried mango (*Mangifera indica*) and pineapple (*Ananas comosus*) in Tanzania. *Journal of Agriculture and Food Research* 11:100522.

Rani P and Tripathy PP (2023). CFD coupled heat and mass transfer simulation of pineapple drying process using mixed-mode solar dryers integrated with flat plate and finned collector. *Renewable Energy* 217.

Vázquez A, Nolasco JC, Guido-Arroyo OI et al. (2025). Comparative analysis of three economic scenarios for a solar pineapple dehydration plant. *RIIIT* 12(72).

Vidal Santo A, Velázquez Camilo O y Romero Fernández A. (2023). *Dispositivo secador solar indirecto de convección forzada* (Patente No. 403732).

Wang W, Yan Z, Yao H et al. (2021). Extraction and purification of pedunculoside from the dried barks of *Ilex rotunda* using crystallization combined with polyamide column chromatography. *Separation Science and Technology* 56(10):1710-1720.

Aldo Giovani Vázquez Guzmán
Centro de Investigaciones en Óptica
León, Guanajuato

Adrián Vidal Santo
Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias Navales
Universidad Veracruzana, Boca del Río
avidal@uv.mx



© Raúl Chiquito. *Arroyo zapatero. Refrescándose en el río Zapatero.*

Tlaxcalancingo en acrílico

Raúl Chiquito



© Raúl Chiquito. *Babel cholulteca*.
Arcángel Miguel derribando el Tlachihualtépetl de Cholula



© Raúl Chiquito. *Serpiente guardián*.
Serpiente guardián del promontorio Acahualtepetzin

Nada como hacer un viaje en el tiempo hasta la primera mitad del siglo pasado y, armados de una cámara fotográfica imaginaria, internarse en la cotidianidad y la magia de una comunidad indígena. Llegar a todos los rincones espaciotemporales y plasmar en imágenes la realidad hallada. Esto sucedió en la comunidad de Tlaxcalancingo cuando, a bordo de la nave denominada “relato oral”, llegué hasta el instante preciso en que arribaron los primeros habitantes de esta población de origen tlaxcalteca. Plasmé los mitos fundacionales de los barrios del pueblo. La llegada de san Bernardino, patrón de la comunidad, y la construcción del templo principal localizado en medio de sus cuatro promontorios icónicos. El establecimiento de los lugares y rincones mágicos y sagrados. El surgimiento de los entes agresores y protectores. Los acontecimientos que a lo largo de los años fueron resguardados hasta llegar a la cotidianidad de los tiempos relativamente recientes.

Así pude ver cómo los *xantilme* (gigantes míticos), construían el *Tlachihualtépetl* (cerro hecho a mano, se refiere a la Gran Pirámide de Cholula) para intentar llegar al cielo, y cómo descendió del cielo el arcángel Miguel tirando parte del cerro para impedirlo.

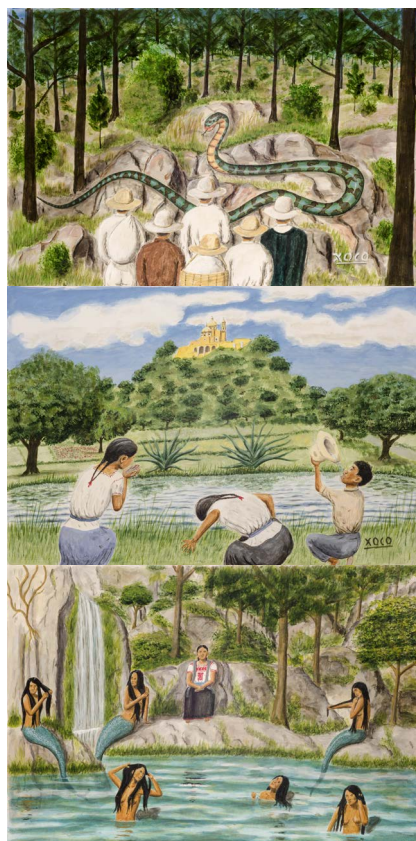
Vi arribar a la *Cihuapipil* (mujer dueña de todo), ente mitad mujer y mitad serpiente, enviada desde el volcán La Malinche para resguardar los afluentes de agua de la comunidad, y pude observar cómo se la llevaron a otra dejando desprotegido al pueblo.



© **Raúl Chiquito**. a) *Metzcopinqui*. Metzcopinqui quitándose las piernas. b) *Tlahuelpuchi*. Tlahuelpuchi asediando a bebé. c) *Nahual y luna*. Madre e hija perseguidos por un perro nahual. d) *Lumbreras*. Haciendo lumbreras al paso de procesión de posada. e) *No hay paso*. Serpiente interponiéndose al paso de tiemporos en La Malinche. f) *Tlachihualtépetl*. Tomando agua en manantial al pie del Tlachihualtépec. g) *Cihuapipil* y *sirenas*. Cihuapipil (la dueña de todo) e hijas en La Malinche.

También pude captar como la *Tlahuelpuchi* (bruja), variante tlaxcalteca de la *metzcopinqui* (la que se quita las piernas), se transforma en totol (ave), y emprende el vuelo hasta llegar al lugar donde habita una criatura para alimentarse de su sangre.

Estuve cuando un hombre nahual se cubría con una cobija, se transformaba en perro o burro y llegaba hasta donde podía aprovechar su poder para perjuicio de quien lo encuentre. Caminé junto a los tiemporos que llegaron hasta La Malinche, venciendo el obstáculo de la serpiente, para entrevistarse con la dueña de la montaña y esta les otorgara el poder de controlar las lluvias. Acompañé a don Esteban Tócatl cuando, en el siglo XIX, se enteró del derrumbe del santuario de la Virgen de los Remedios a causa del temblor de 1864, y en las peripecias que pasó para acudir al llamado de las autoridades, donar gran cantidad de dinero y ser testigo de cómo era nombrada la comunidad de Tlaxcalancingo, dueña y protectora del santuario. Penetré en el interior del Cerro Zapotecas para ver a las personas cuyas almas se encuentran encadenadas a cambio de disfrutar de riquezas en el mundo exterior.





© **Raúl Chiquito**. a) *Cueva Zapotecas*. Almas aprisionadas en el cerro Zapotecas. b) *Tzitzinime*. Tzitzinime devorando a la luna durante el eclipse. c) *Susto*. Susto con desprendimiento de tona. d) *Carnaval*. Danzantes de carnaval en Tlaxcalancingo. e) *Cueva Acahualtepetzi*. Niños escondidos en la cueva del promontorio Acahualtepetzin. f) *Nacatamales*. Elaborando tamales de jitomate en Día de Muertos. g) *Curando la alferecía*. Curandera usando añil para curar la alferecía.



Presencé varios encuentros de parejas jóvenes hasta llegar al ritual del matrimonio y el festejo acompañado de la Danza del *Xochipitzáhuac*. Llegué hasta donde escondían a las mujeres para que no se las llevaran los llamados revolucionarios. Me despojé de mis ropas para poder entrar a los temazcales comunitarios donde hombres y mujeres disfrutaban del ritual del baño.

Acompañé al pequeño niño que había entrado en el interior de un *cuexcomate* llamado *cencal* (casa de la mazorca), que usaba como escondite y lugar de relajación. Acompañé a la curandera que portaba en un morral los enseres que necesitaba para aliviar el empacho, la caída de la mollera, la tiricia, el espanto y muchos males más.

Estuve con quienes hallaban dinero enterrado y con quienes vivían aventuras en el campo. Jugué los juegos de los niños. Me acomodé en las cocinas para disfrutar del olor de los diversos alimentos que preparaban y disfrutaban las familias al calor de diversos *tlecuiles* (fogones). Estas y muchas más cosas y acontecimientos encontré en este viaje fantástico que surgió de las diferentes voces de los protagonistas de esta comunidad.



© Raúl Chiquito. *Bruja tlahuelpuchi*. Brujas tlahualpuchi llegan volando.

Hormonas en acción: claves invisibles para controlar plagas

Francisco Javier **Ramírez-Aguilar**
David **Alavez-Rosas**

¿Qué tienen en común una mariposa que muda de piel, una abeja que encuentra flores con precisión y un mosquito listo para picar?: que todas estas conductas están reguladas por sustancias químicas invisibles para el ojo humano, pero que controlan la vida de los insectos. Durante décadas, los científicos han clasificado las sustancias químicas según su función y el tipo de comunicación que median en los organismos. Por un lado, pusieron a las hormonas, que actúan dentro del organismo y son secretadas por glándulas endocrinas. Por otro, colocaron a las feromonas, las cuales son enviadas al exterior a través de glándulas exocrinas para comunicar algo a otros individuos de la misma especie. Recientemente, nuevas propuestas buscan integrar estas y otras señales químicas bajo un mismo concepto: los infoquímicos (Alavez-Rosas, *et al.* 2024).

Los infoquímicos son todas aquellas sustancias que transmiten información química y modulan el comportamiento o la fisiología de los organismos; se dividen en dos grandes grupos: el primero lo conforman las hormonas, que actúan dentro del organismo que las produce regulando funciones como el crecimiento, el desarrollo, la reproducción y la respuesta al estrés; el segundo grupo lo constituyen los semioquímicos, que actúan entre organismos. Aquí encontramos a las feromonas, que permiten la comunicación entre individuos de la misma especie; por ejemplo,

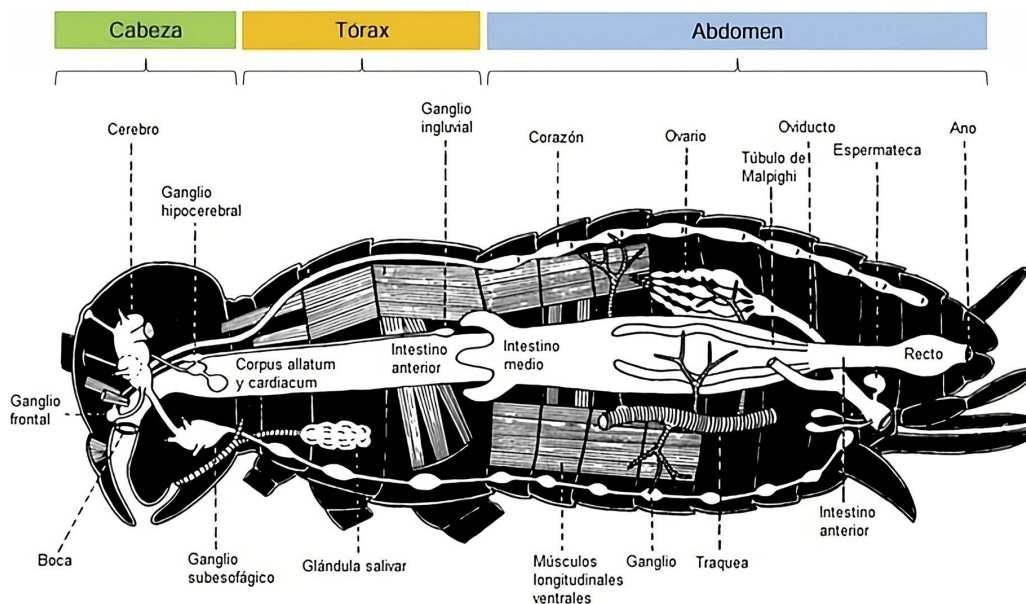


Figura 1. Órganos internos principales de un insecto generalizado. Imagen creada por los autores, tomando como base lo descrito por Stay y Tobe (2003).

para atraer pareja. Y los aleloquímicos, que median interacciones entre especies diferentes, como atraer polinizadores o evitar depredadores. Esta visión más amplia borra las barreras artificiales entre lo interno y lo externo, y reconoce que, en muchos casos, los sistemas endocrinos y exocrinos están íntimamente conectados. Por ejemplo, una feromona puede activar una vía hormonal, y viceversa (Orchard y Lange, 2024). Esta nueva clasificación permite entender a los insectos como organismos que utilizan un sistema de comunicación complejo en redes ecológicas amplias. Y si logramos entender su lenguaje químico, tanto interno como externo, podríamos influir en su comportamiento de forma más precisa y sostenible.

EL SISTEMA ENDOCRINO DE LOS INSECTOS Y SUS HORMONAS

El sistema endocrino de los insectos es una red de glándulas y señales que, pese a su aparente simplicidad, regula procesos tan complejos como el crecimiento, la metamorfosis y la reproducción (Figura 1). Entender este sistema nos revela el fascinante funcionamiento interno de los insectos, y nos abre

puertas para nuevas estrategias de manejo y control sustentable en la agricultura y la salud pública. Los insectos poseen un sistema endocrino tan complejo y eficiente como el de muchos vertebrados. Está conformado por glándulas especializadas, las cuales se encuentran dispersas por todo el cuerpo y producen sustancias capaces de orquestar cambios profundos en su fisiología y comportamiento. Estas sustancias se conocen como hormonas. El término proviene del griego *hormān*, que significa “excitar o mover”, y fue acuñado en 1905 por el fisiólogo británico Ernest Starling, al observar que ciertos compuestos producidos en un órgano podían viajar por el cuerpo y desencadenar respuestas en otros sitios (Nunes *et al.*, 2021).

Entre las glándulas endocrinas principales destacan las glándulas protorácicas, encargadas de producir la hormona ecdisona que desencadena el proceso de muda o ecdisis. Esta hormona es fundamental en cada cambio de etapa: de huevo a larva, de larva a pupa y de pupa a adulto. Los cuerpos alados (*Corpus allatum*) secretan las hormonas juveniles (HJ), que le indican al cuerpo del insecto si debe seguir siendo joven o avanzar a una fase más madura. En etapas juveniles, altos niveles de HJ impiden la metamorfosis. Cuando sus niveles bajan, la

ecdisona puede llevar al insecto a su forma adulta. Los cuerpos cardiacos (*Corpus cardiacum*) almacenan y liberan hormonas neurosecretoras producidas en el cerebro, las cuales son esenciales para la regulación de todos los procesos fisiológicos (Force y Debernard, 2025). Asimismo, hay otros tejidos que preparan al insecto para cambios en el ambiente, activando comportamientos clave como la oviposición, la búsqueda de alimento o el vuelo en momentos estratégicos (Orchard y Lange, 2024).

Los insectos ofrecen ventajas para estudiar fenómenos complejos como la ecdisis y la metamorfosis. Además, la diversidad de ciclos de vida de los insectos, desde los hemimetábolos (con metamorfosis incompleta) hasta los holometábolos (con metamorfosis completa), permite estudiar etapas específicas de la regulación hormonal (Walkowiak-Nowicka *et al.*, 2021). El sistema endocrino de los insectos puede entonces ser usado para comprender cómo las hormonas controlan el desarrollo físico y los comportamientos complejos, como la migración (Nowicki *et al.*, 2021).

HORMONAS BAJO ATAQUE: CÓMO LAS USAMOS PARA CONTROLAR INSECTOS

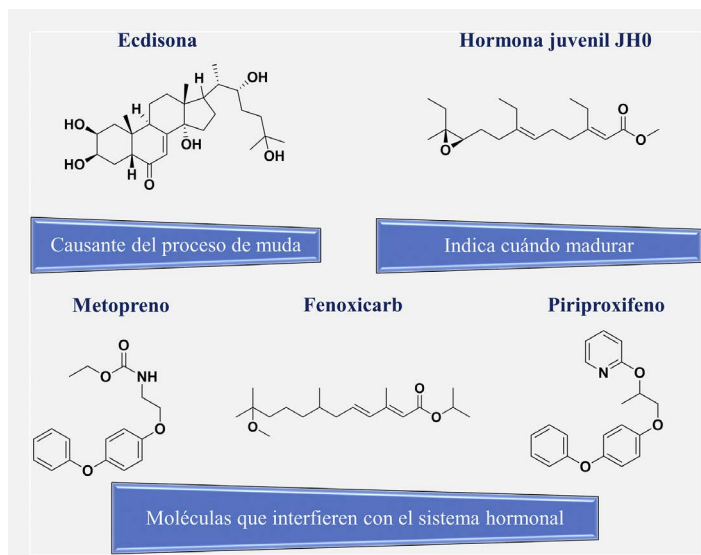
El conocimiento de las hormonas en insectos ha propiciado avances en varias áreas aplicadas, como el control de plagas y el diseño de bioinsecticidas. En lugar de depender de métodos químicos invasivos, la investigación endocrinológica permite desarrollar moléculas específicas que pueden interrumpir los procesos hormonales de los insectos sin afectar otras especies. Algunas moléculas que funcionan como disruptores endocrinos, como el fenoxicarb o el metopreno, son ejemplos de cómo el entendimiento de las hormonas de los insectos puede ser aplicado para controlar poblaciones, sin recurrir a químicos más agresivos. Estas moléculas imitan la acción natural de las HJ e interrumpen el desarrollo del insecto, impidiendo su metamorfosis o reproducción. (Hu *et al.*, 2019).

El metopreno ha sido ampliamente utilizado para controlar mosquitos vectores de enfermedades como el dengue o el virus del Nilo Occidental. Pero,

debemos tener en cuenta que su uso también ha sido asociado con impactos negativos sobre otras especies no objetivo, como algunas langostas y camarones de agua dulce. El fenoxicarb y el piriproxi-feno son usados como reguladores del crecimiento y funcionan bien contra plagas como pulgones o moscas, pero también pueden afectar organismos acuáticos si no se manejan con precaución. Otra línea de ataque son los agonistas de la ecdisona, compuestos que activan de forma prematura la muda, provocando la muerte del insecto antes de alcanzar la madurez (Figura 2).

Estos enfoques han llevado a replantear la frase “no todo lo que brilla es oro”, ya que, aunque son efectivos, muchos de estos químicos pueden tener efectos colaterales en ecosistemas sensibles. Por eso, hoy se impulsa una visión más integradora desde la perspectiva de “Una Salud” (*One Health*), donde se busca el equilibrio entre control de plagas, seguridad alimentaria y protección ambiental. Este enfoque integrador reconoce la interdependencia entre la salud humana, animal y ambiental, lo que es crucial para abordar de manera efectiva los desafíos de salud global, promoviendo soluciones sostenibles y colaborativas que benefician tanto

Figura 2. Estructuras moleculares de una hormona juvenil, la ecdisona, el metopreno, el fenoxicarb y el piriproxi-feno.



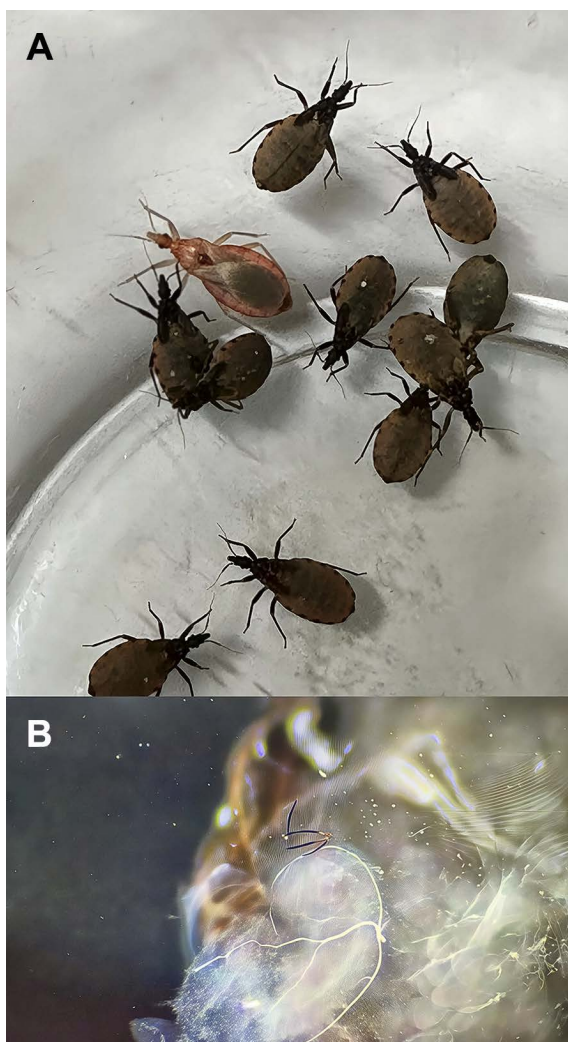


Figura 3. *Paratriatoma lecticularia*, un triatomino de importancia médica. A) ninfas de quinto instar y una hembra recién emergida, B) glándula de Brindley, ubicada en la parte dorsal del metatórax.

a las personas como al ecosistema en el que interactúan (Socha *et al.*, 2022).

En nuestro grupo de investigación nos centramos en el estudio del sistema endocrino de *Paratriatoma lecticularia*, un insecto hematófago que juega un papel crucial en la transmisión de *Trypanosoma cruzi*, el parásito causante de la enfermedad de Chagas (Figura 3). Esta enfermedad, endémica en diversas regiones de América Latina, representa un desafío de salud pública, ya que a través de las heces del vector contaminadas con *T. cruzi*, se pueden provocar múltiples infecciones en los seres humanos (Vargas-Abasolo *et al.*, 2024).

Debido a la estrecha relación de *P. lecticularia* con el parásito, resulta de suma importancia desarrollar estrategias efectivas para controlar su población y prevenir el contacto con los humanos. En este sentido, nuestro trabajo se enfoca en entender cómo sus hormonas regulan procesos fundamentales como la metamorfosis, la reproducción y el crecimiento, con el objetivo de identificar puntos clave donde podamos intervenir. Al conocer mejor su sistema endocrino, buscamos diseñar métodos innovadores que interrumpan su ciclo de vida, tales como disruptores hormonales específicos o herramientas de control biológico. De esta forma, nuestras investigaciones pueden contribuir a generar soluciones más efectivas para reducir la transmisión de *T. cruzi*, agente etiológico de la enfermedad de Chagas, mejorando la salud pública y el bienestar de las comunidades afectadas.

CONCLUSIONES Y EL FUTURO DE LA ENDOCRINOLOGÍA DE LOS INSECTOS

El estudio del sistema endocrino de los insectos ha abierto nuevas puertas en la comprensión de procesos fundamentales como la metamorfosis, el crecimiento y la reproducción. Los insectos se han convertido en modelos cruciales para entender cómo las señales hormonales pueden transformar la fisiología y el comportamiento, lo que nos ayuda a abordar desafíos como el control de plagas y el desarrollo de nuevas tecnologías biológicas. El avance en la comprensión de los infoquímicos, como las hormonas y los semioquímicos, también está abriendo nuevas posibilidades para el diseño de estrategias de manejo más precisas y menos invasivas. Al conocer cómo los insectos perciben y responden a su entorno químico, podemos crear herramientas más eficaces para la protección agrícola y la salud pública.

De cara al futuro, la investigación en endocrinología comparada, en la que los insectos juegan un papel esencial, promete descubrir nuevas interacciones hormonales que podrían revolucionar tanto la biología fundamental como sus aplicaciones prácticas. La posibilidad de modular los sistemas endocrinos de los insectos de manera específica,



© Raúl Chiquito. a) *Rostros del maizal*. Rostros sonrientes al paso de una mujer. b) *Juntando nanacatl*. Recolectando hongos después de la lluvia. d) *Chinacate*. Hombre desnudo corriendo en el maizal. e) *Camino a Cholula*. Retornando de alguna fiesta en Cholula.

no solo mejorará los métodos de control biológico, sino que también permitirá avanzar en áreas como la medicina, la biotecnología y la ecología química. El camino hacia una comprensión más profunda del lenguaje químico universal de los insectos sigue siendo largo, pero los avances de los últimos años nos brindan un futuro prometedor para continuar explorando y aprovechando su potencial.

REFERENCIAS

- Alavez-Rosas D, Vargas-Abasolo R, Albores-Flores CI *et al.* (2024). Chemical ecology of triatomines: current knowledge and implications for vector management of Chagas disease. *Journal of Pest Science* 97:507-520. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-023-01678-6>.
- Force E and Debernard S (2025). Endocrine regulation of reproductive behaviors in insects: a comprehensive review. *Current Opinion in Insect Science* 69(101360):1-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2025.101360>.
- Hu X, Niu J, Meng Q *et al.* (2019). Effects of two juvenile hormone analogue insecticides, fenoxycarb and methoprene. *Neocaridina davidi*. *Environmental Pollution* 253:89-99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.120>.
- Nunes C, Sucena E and Koyama T (2021). Endocrine regulation of immunity in insects. *The FEBS Journal* 288(13):3928-3947. DOI: <https://doi.org/10.1111/febs.15581>.
- Nowicki P, Kuczer M, Schroeder G and Czarniewska E (2021). Disruption of insect immunity using analogs of the pleiotropic insect peptide hormone

Neb-colloostatin: a nanotech approach for pest control II. *Scientific Reports* 11(9459):1-11. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87878-5>.

Orchard I and Lange A (2024). The neuroendocrine and endocrine systems in insect-Historical perspective and overview. *Molecular and Cellular Endocrinology* 580(112108):1-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mce.2023.112108>.

Socha W, Kwasnik M, Larska M *et al.* (2022). Vector-borne viral diseases as a current threat for human and animal health - One Health perspective. *Journal of Clinical Medicine* 11(3026):1-28. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm11113026>.

Stay B and Tobe S (2003). Insect endocrine system. In Henry H and Norman A (Eds.), *Encyclopedia of hormones* (pp. 316-328). Academic Press, Netherlands.

Vargas-Abasolo R, Alavez-Rosas D y Córdoba-Aguilar A (2024). Más allá de los insecticidas: buscando un control ecológico y sustentable de las chinches besuconas. *Elementos* 134:105-110.

Walkowiak-Nowicka K, Chowański S, Urbański A and Marciniak P (2021). Insects as a new complex model in hormonal basis of obesity. *International Journal of Molecular Sciences* 22(20):11066. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms222011066>.

Francisco Javier Ramírez-Aguilar
David Alavez-Rosas
Facultad de Ciencias Químicas
Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas
Departamento de Ecología de Artrópodos y
Manejo de Plagas
El Colegio de la Frontera Sur
daalavez@ecosur.edu.mx



© Raúl Chiquito. *Cargando a Dafne. Llevando alimentos al ejido (zona de Angelópolis).*

La polilla mayor de la cera y sus aplicaciones

Gobinath **Chandrakasan**
Rocío **López Hernández**

Galleria mellonella, comúnmente conocida como polilla de la cera, es un insecto lepidóptero que infesta principalmente colmenas, alimentándose de cera, miel y polen. Esta especie, originaria de Europa, Asia y el norte de África, se ha convertido en un insecto modelo ampliamente estudiado en biología, que se ha utilizado en numerosos estudios biológicos y biomédicos, particularmente en inmunología, microbiología y toxicología. Se ha demostrado que estas larvas cuentan con una respuesta inmunitaria innata eficaz, evidenciada por la producción rápida de péptidos antimicrobianos, la activación del sistema de melanización y la capacidad de fagocitosis de sus hemocitos. Además, se ha documentado que pueden sobrevivir a infecciones por diversos patógenos humanos y responder de manera dependiente de la dosis, lo que refuerza su utilidad como modelo experimental y las convierte en un modelo útil para estudiar las interacciones huésped-patógeno de diversas bacterias y hongos. Se utilizan ampliamente en la investigación científica debido a sus similitudes fisiológicas con los mamíferos en cuanto a respuesta inmunitaria, como la producción de péptidos antimicrobianos, la fagocitosis y la formación de melanina como respuesta defensiva; pero también por su facilidad de cultivo y sus ventajas éticas sobre los modelos vertebrados.

Una de las ventajas de utilizar *G. mellonella* en investigación es su pequeño tamaño, que facilita su manejo y mantenimiento en el laboratorio. Este insecto también tiene un ciclo de vida corto, lo que permite una rápida experimentación y obtención de resultados. Además, la cría de larvas de *G. mellonella* es económica y éticamente aceptable para la experimentación animal, ya que no tienen el mismo nivel de consciencia que los animales superiores.

Las larvas de *G. mellonella* se utilizan cada vez más como modelos de infección para evaluar la patogenicidad de bacterias grampositivas y gramnegativas, y hongos patógenos.

INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA

Las larvas de *G. mellonella* han cobrado gran importancia como organismo modelo alternativo para el estudio de enfermedades infecciosas debido a sus similitudes fisiológicas e inmunológicas con los sistemas de los mamíferos. Su sistema inmunitario, compuesto por mecanismos de defensa, tanto celulares como humorales, permite a los investigadores estudiar infecciones microbianas, evaluar factores de virulencia y probar tratamientos antimicrobianos de forma rentable y ética.

El sistema inmunitario innato de *G. mellonella* se asemeja mucho a la respuesta inmunitaria de los mamíferos, lo que lo convierte en un excelente modelo para el estudio de las interacciones huésped-patógeno. Las similitudes clave incluyen:

1. Hemocitos: funcionalmente análogos a los glóbulos blancos de los mamíferos, los hemocitos participan en el reconocimiento de patógenos, la fagocitosis y la encapsulación de invasores.
2. Péptidos antimicrobianos (AMP): las larvas producen AMP como gallerimicina, lisozimas y cecropinas, que son funcionalmente similares a las defensinas y catelicidinas humanas.
3. Melanización y encapsulación: la cascada de fenoloxidasa en *G. mellonella* es comparable a las respuestas inflamatorias en mamíferos y desempeña un papel en la neutralización de patógenos (McCloskey *et al.*, 2019).

Aplicaciones en estudios bacterianos:

- *Staphylococcus aureus*: se utiliza para investigar la formación de biopelículas, factores de virulencia y eficacia antibiótica.
- *Pseudomonas aeruginosa*: estudios sobre detección de quórum, desarrollo de biopelículas y mecanismos de resistencia a los antimicrobianos (Liu *et al.*, 2024).
- *Enterococcus faecalis* y *Klebsiella pneumoniae*: evaluaciones de patogenicidad y respuesta a nuevos agentes antibacterianos.
- Infecciones micobacterianas: se utiliza para estudiar patógenos relacionados con la tuberculosis como *Mycobacterium abscessus* y *Mycobacterium marinum*. Las infecciones bacterianas pueden inducirse inyectando una dosis controlada de patógenos en las larvas, después de lo cual se monitorean las tasas de supervivencia, las respuestas inmunitarias y la carga bacteriana.

Por otro lado, *G. mellonella* se utiliza en el estudio de infecciones fúngicas, en particular, las producidas por patógenos oportunistas que afectan a pacientes inmunodeprimidos. Por ejemplo:

- *Candida albicans*: se analizan factores de virulencia como la formación de hifas, la adhesión y la resistencia a las biopelículas.
 - *Aspergillus fumigatus*: un modelo para la aspergilosis pulmonar invasiva, que ayuda en las pruebas de fármacos antifúngicos.
 - *Cryptococcus neoformans*: para estudiar la meningitis fúngica y el papel de la producción de cápsulas fúngicas en la virulencia (Smith *et al.*, 2022).
- Algunos estudios se centran en los *baculovirus* que participan en la replicación, la respuesta inmunitaria y la expresión génica en larvas infectadas. La investigación sobre virus patógenos humanos explora las interacciones virus-huésped utilizando virus modificados genéticamente para estudiar estrategias de evasión inmunitaria (Schieferrecke *et al.*, 2025).

TOXICOLOGÍA DE NANOMATERIALES

Con el creciente uso de nanomateriales en la medicina, la industria y los productos de consumo, *G.*



Figura 1. Etapas de desarrollo e infección por nematodos en *G. mellonella*. (A) Huevo de *G. mellonella* puesto con dieta artificial en el laboratorio. (B) Larva de quinto estadio. (C) Etapa adulta de *G. mellonella*. (D) Galleria infectada con nematodos entomopatógenos. (E) Nematodos extraídos observados al microscopio. (F) Micrografía electrónica de barrido de *Heterorhabditis* sp.

mellonella sirve como modelo para evaluar la toxicidad de las nanopartículas (Piatek *et al.*, 2021).

- Nanomateriales de carbono: evaluación de la toxicidad del grafeno y los nanotubos de carbono.
- Nanopartículas poliméricas: investigación de su biocompatibilidad para aplicaciones de administración de fármacos.

La exposición a nanopartículas puede inducir estrés oxidativo, activación inmunitaria y cambios en la expresión génica, todos ellos cuantificables en *G. mellonella* (Tuncsoy *et al.*, 2021).

BIODEGRADACIÓN Y GESTIÓN DE RESIDUOS

La contaminación por plásticos es uno de los desafíos ambientales más acuciantes, siendo el polietileno (PE) un factor clave debido a su uso generalizado y su resistencia a la degradación natural. Estudios recientes han revelado que las larvas de *G. mellonella* poseen la notable capacidad de digerir el plástico de polietileno, lo que ofrece una posible solución biológica para la degradación de residuos plásticos y la biorremediación ambiental (Siddiqui *et al.*, 2024).

Mecanismos de biodegradación

- Microbiota intestinal: el intestino larvario alberga comunidades bacterianas capaces de descomponer los hidrocarburos de cadena larga presentes en el polietileno. Se han identificado bacterias como

Enterobacter y *Pseudomonas* en el sistema digestivo de las larvas como posibles contribuyentes al proceso de degradación.

- Descomposición enzimática: *G. mellonella* produce enzimas específicas, como oxidasas y esterases, que catalizan la oxidación y la descomposición de las moléculas de polietileno (Jin *et al.*, 2023). Estas enzimas pueden funcionar de forma similar a las que intervienen en la digestión de la cera de abejas, que comparte similitudes estructurales con los polímeros plásticos.

INVESTIGACIÓN EN BIOCONTROL

G. mellonella desempeña un papel vital en el estudio y la extracción de entomopatógenos (patógenos de insectos) para su uso en aplicaciones de biocontrol contra diversas plagas de insectos. Dado que *G. mellonella* es altamente susceptible a diversos patógenos de insectos, se utiliza ampliamente para aislar y propagar entomopatógenos que pueden utilizarse en el control de plagas contra otras especies de insectos.

Patógenos utilizados en biocontrol

- *Bacillus thuringiensis* (Bt). Una bacteria natural que produce toxinas letales para muchas plagas de insectos (Grizanova *et al.*, 2023).
- *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*. Patógenos fúngicos que infectan a los insectos penetrando su exoesqueleto y proliferando en su interior.
- *Isaria fumosorosea*. Se utiliza en el control de mosca blanca, trips y otras plagas agrícolas.
- Nucleopolihedrovirus (NPV) y Granulovirus (GV). Ambos pertenecen a la familia Baculoviridae y son utilizados como agentes virales en programas de biocontrol por su especificidad hacia insectos plaga como gusanos cogolleros y gusanos cortadores.
- Nematodos entomopatógenos. Especies de *Steinernema* y *Heterorhabditis* infectan larvas de *G. mellonella* y liberan bacterias simbióticas que matan al huésped. Se utilizan para controlar plagas del suelo como gorgojos y larvas.

CONCLUSIÓN

G. mellonella, la polilla mayor de la cera, ha demostrado ser un organismo modelo versátil en diversas aplicaciones científicas. Su uso en estudios de patogenicidad, toxicología y respuesta inmune ha permitido importantes avances en la investigación biomédica y entomológica. Además, su papel en la producción y evaluación de nematodos entomopatógenos resalta su importancia en el control biológico de plagas. Gracias a su facilidad de cultivo en laboratorio y su similitud con los sistemas inmunológicos de otros organismos, *G. mellonella* sigue siendo una herramienta valiosa en estudios de microbiología, ecología y biotecnología aplicada.

REFERENCIAS

Grizanova EV, Krytsyna TI, Kalmykova GV *et al.* (2023). Virulent and necrotrophic strategies of *Bacillus thuringiensis* in susceptible and resistant insects, *Galleria mellonella*. *Microbial Pathogenesis* 175:105958.

Jin J, Arciszewski J, Auclair K *et al.* (2023). Enzymatic polyethylene biorecycling: Confronting challenges and shaping the future. *Journal of Hazardous Materials* 460:132449.

Liu HY, Prentice EL and Webber MA (2024). Mechanisms of antimicrobial resistance in biofilms. *npj Antimicrobials and Resistance* 2(1):27.

McCloskey AP, Lee M, Megaw J *et al.* (2019). Investigating the *in vivo* antimicrobial activity of a self-assembling peptide hydrogel using a *Galleria mellonella* infection model. *ACS Omega* 4(2):2584-2589.

Piatek M, Sheehan G and Kavanagh K (2021). *Galleria mellonella*: The Versatile host for drug discovery, *In vivo* toxicity testing and characterising host-pathogen interactions. *Antibiotics (Basel)* 10(12):1545.

Schieferrecke AJ, Kuxhausen RN and Schaffer DV (2025). The Application of DNA Viruses to Biotechnology. *Viruses* 17(3):414.

Siddiqui SA, Abd Manap AS, Kolobe SD *et al.* (2024). Insects for plastic biodegradation –A review. *Process Safety and Environmental Protection* 186:833-849.

Smith DF, Dragotakes Q, Kulkarni M *et al.* (2022). *Galleria mellonella* immune melanization is fungicidal during infection. *Communications Biology* 5(1):1364.

Tuncsoy B and Mese Y. (2021). Influence of titanium dioxide nanoparticles on bioaccumulation, antioxidant defense and immune system of *Galleria mellonella* L. *Environmental Science and Pollution Research* 28(28):38007-38015.

Gobinath Chandrakasan
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro
gobi.marine@gmail.com

Rocío López Hernández
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán
Universidad Nacional Autónoma de México



El lixiviado de lombriz en el crecimiento hidropónico de hortalizas

Emilio Raymundo **Morales Maldonado**
German **Cuaya Simbro**

El presente artículo es un trabajo de divulgación que aborda el uso de lixiviado de lombriz en el crecimiento hidropónico de hortalizas de bajo requerimiento nutricional. Esta propuesta tiene sus raíces en técnicas ancestrales de cultivo, pues la idea de producir alimentos en agua se remonta a la civilización babilónica (2100-538 a.C.), donde se empleaban sistemas de irrigación avanzados para la época. De hecho, en los Jardines Colgantes de Babilonia –una de las Siete Maravillas del Mundo Antiguo– podrían haberse utilizado métodos similares a la hidroponía, basados en agua o soluciones nutritivas primitivas (Curlee, 2024).

Posteriormente, entre los siglos XVII y XVIII, el estudio de la hidroponía comenzó a sistematizarse. Un hito clave ocurrió en 1699, cuando el botánico inglés John Woodward demostró experimentalmente que las plantas cultivadas en agua con impurezas (como sedimentos o materia orgánica) tenían un mejor desarrollo que aquellas cultivadas en agua pura.

En el siglo XIX, los científicos iniciaron experimentos controlados sobre el crecimiento de plantas en soluciones líquidas. Uno de los primeros estudios fue realizado por el químico alemán Julius von Sachs, quien investigó el uso de soluciones minerales en el cultivo de plantas, sentando las bases de la hidroponía moderna.

En la década de 1920, el científico estadounidense William Frederick Gericke popularizó el término “hidroponía” y demostró que plantas como el tomate y otras hortalizas podían crecer en soluciones nutritivas. En la segunda mitad del siglo XX, la hidroponía comenzó a recibir atención en la agricultura comercial, especialmente en áreas con suelos infértiles o espacio limitado. En 1964, el científico alemán Wolfgang Steiner propuso una mezcla equilibrada de nutrientes en agua, denominada solución Steiner, que permitía el crecimiento de plantas (Chowdhury *et al.*, 2024). La recirculación constante de la solución nutritiva en las raíces de las plantas aseguró una mayor absorción de nutrientes, como en el sistema de película nutritiva (NFT) (Nurjaya *et al.*, 2024). En las décadas siguientes, los avances tecnológicos en hidroponía estuvieron ligados a la investigación agrícola y al desarrollo de sistemas como la aeroponía y su automatización (Lim *et al.*, 2024).

Hoy, la hidroponía se establece como una técnica utilizada en agricultura urbana, invernaderos y entornos controlados, donde las condiciones climáticas pueden ser adversas o el suelo es infértil (Wang, 2024). Los avances en biotecnología e ingeniería han permitido que la hidroponía sea eficiente, sostenible y accesible para productores de todo el mundo.

¿QUÉ ES LA SOLUCIÓN STEINER?

Es una mezcla de macro y micronutrientes esenciales utilizada para el crecimiento y desarrollo de plantas en sistemas hidropónicos, donde el suelo es estéril o no apto para la agricultura. La solución Steiner permite un crecimiento más rápido en ambientes controlados gracias al flujo continuo de nutrientes.

¿QUÉ ES EL LIXIVIADO DE LOMBRIZ?

Es un líquido rico en nutrientes y microorganismos obtenido de la descomposición de restos orgánicos por la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). El

lixiviado se emplea como fertilizante orgánico líquido y, diluido en agua, promueve el crecimiento de las plantas. Además, los microorganismos presentes en el lixiviado fortalecen la resistencia natural de las plantas contra plagas y enfermedades (Solares-Basurto *et al.*, 2020).

¿PUEDE EL LIXIVIADO DE LOMBRIZ SUSTITUIR A LA SOLUCIÓN STEINER?

En sistemas hidropónicos con hortalizas de bajo requerimiento nutricional, el lixiviado podría complementar o reemplazar parcialmente a la solución Steiner, aunque con limitaciones. Hortalizas como la lechuga o la espinaca necesitan menos nutrientes, lo que hace viable el uso del lixiviado, un fertilizante de lenta liberación y concentración variable en la Figura 1 se observa un sistema hidropónico de producción de lechugas.

El lixiviado contiene nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes esenciales, suficientes para hortalizas de baja demanda. Además, sus microorganismos benefician el sistema radicular y la retención de nutrientes (Valero y Pantoja, 2023). En la Figura 2 se muestra una lechuga producida en hidroponía.

Sin embargo, los nutrientes del lixiviado no son constantes, ya que dependen de factores como la materia orgánica utilizada, el tiempo de digestión y las condiciones ambientales. Esto contrasta con la formulación balanceada de la solución Steiner

Figura 1. Sistema hidropónico de producción de lechuga (*Lactuca sativa* var. Longifolia).



Solución Steiner		Lixiviado de lombriz	
Fertilizante	Cantidad (g)	Elemento	Cantidad (g)
Nitrato de calcio Ca (NO ₃) ₂	8.8	Nitrato (NO ₃)	0.023
Nitrato de potasio (KNO ₃)	0.6	Amonio (NH ₄)	0.008
Fosfato monopotásico (KH ₂ PO ₄)	1.08	Boro (B)	0.000879
Sulfato de magnesio (MgSO ₄)	3.08	Calcio (Ca)	0.252
Micromix ultrasol	0.028	Cobre (Cu)	0.000617
Poliquel boro	0.022	Hierro (Fe)	0.017
FE-EDDHA ultrasol	0.033	Potasio (K)	1.42
Sulfato de potasio (K ₂ SO ₄)	0.132	Magnesio (mg)	1.28
		Manganeso (Mn)	0.004
		Sodio (Na)	0.26
		Fósforo (P)	0.06
		Azufre (S)	0.184
		Zinc (Zn)	0.00047

Tabla 1. Contenido de nutrientes en un litro de solución Steiner y lixiviado de lombriz para producción de lechuga (*Lactuca sativa* var. Longifolia).

que garantiza cantidades precisas de nutrientes. La solución Steiner se aplica una sola vez al inicio de la siembra; mientras que el lixiviado se aplica al inicio y a los 15, 30 y 45 días después del trasplante. En la Tabla 1 se compara el contenido nutricional de ambas soluciones para lechuga hidropónica.



Figura 2. Lechuga (*Lactuca sativa* var. Longifolia) producida en un sistema hidropónico.

Un riesgo del lixiviado es su alto contenido de microorganismos (bacterias, hongos, protozoos y virus) y materia orgánica (Nindypuspa *et al.*, 2024; Padilla del Águila, 2024; Palmonari *et al.*, 2024), lo que puede obstruir los conductos de riego o favorecer patógenos. Para evitarlo, el lixiviado debe filtrarse, esterilizarse en autoclave y diluirse correctamente con agua destilada antes de su uso.

CONCLUSIONES

El lixiviado de lombriz es una sustitución parcial a la solución Steiner en hortalizas de baja demanda nutricional, como lechuga (*Lactuca sativa*), espinaca (*Spinacia oleracea*), acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*), cilantro (*Coriandrum sativum*) y berro (*Nasturtium officinale*). Estas hortalizas requieren soluciones menos concentradas, reduciendo el riesgo de desbalances nutricionales. Además, los sistemas hidropónicos optimizan el uso de agua y espacio, siendo ideales para producción en ambientes controlados.



© Raúl Chiquito. *Camino al Tecuala*. Hombre transformado en cerdo es seguido por un peón.

REFERENCIAS

Chowdhury M, Samarakoon UC and Altland JE (2024). Evaluation of hydroponic systems for organic lettuce production in controlled environment. *Frontiers in Plant Science* 15:1401089. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1401089>frontiersin.org.

Padilla del Águila JA (2024). Efectos de tres sustratos orgánicos en la crianza de *Eisenia foetida*, lombriz roja en el distrito de Yurimaguas-Loreto, 2022. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Recuperado de <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/11111>.

Curlee L (2024). Seven wonders of the ancient world. New York: Simon & Schuster.

Lim D, Keerthi K and Perumbilavil S (2024). A real-time on-site precision nutrient monitoring system for hydroponic cultivation utilizing LIBS. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 11:111. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-024-00641-6>.

Nindyapuspa A, Setiani V, Astuti UP and Azam MA (2024). EM4 addition effect with *Eisenia foetida* worms on compost characteristics as a soil improver. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan* 21(2):355-368. DOI: <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v21i2.355-368>.

Nurjaya N, Mahendra GA and Yarman IN (2024). Innovation of smart agricultural control system in NFT hydroponic based on artificial intelligence

of things. *Eduvest-Journal of Universal Studies* 2(1):1-11. DOI: <https://doi.org/10.59188/eduvest.v2i1.349>.

Valero N, Ustates Y y Pantoja-Guerra M (2023). Actividad bioestimulante de ácidos húmicos derivados de vermicompost de estiércol caprino y lignito en relación con su estructura e interacción con una cepa PGPR en condiciones semiáridas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 17(2):e15956. DOI: <https://doi.org/10.17584/rcch.2023v17i2.15956>.

Solares-Basurto A, Pérez-Ruiz M, Luján-Vega MA et al. (2024). Bio-power generation in microbial fuel cell with vermicompost using *Eisenia foetida*. *Engineering* 5(4):2560-2574. DOI: <https://doi.org/10.3390/eng5040134>.

Wang C (2024). Intelligent agricultural greenhouse control system based on Internet of Things and machine learning. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.09488>.

Palmonari A, Cavallini D, Sniffen CJ et al. (2024). Characterization of molasses chemical composition. *Journal of Dairy Science* 103(7):6244-6249. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17644>.

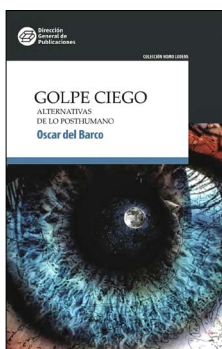
Emilio Raymundo Morales Maldonado
Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Hidalgo
ermorales@iteshu.edu.mx

German Cuaya Simbro
Instituto Tecnológico del Oriente del Estado de Hidalgo

El *Golpe ciego* de Oscar del Barco

Anamaría **Ashwell**

I²



GOLPE CIEGO
ALTERNATIVAS DE LO POSTHUMANO
OSCAR DEL BARCO
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
México, 2021

Estos textos que ahora reedita la BUAP me fueron compartidos y fui leyéndolos muy joven, demasiado joven, acomodándolos en el suelo –por decirlo así– de una práctica como antropóloga de campo que me entrenó a contar historias de mundos aniquilados con violencia. Una práctica que instala en la mirada la infranqueable convicción de que algo andaba muy mal en aquello de “civilizados”, como decía David Graeber, en que nos habíamos convertido. Una práctica, además, que obliga a inventar historias de sujetos despojados de vida, sujetos reales de carne y hueso con mundos invisibles, mundos otros inasibles con fracturas propias, mundos que no pasan luz en el riguroso discurso académico que los interpreta.

Inevitablemente me había entrampado en una experiencia, o más bien en la resistencia, de unos campesinos totonacas anfitriones que enfrentaban a poderosos cacicazgos por la tenencia de sus tierras ancestrales. Campesinos hundidos en las profundas capas de violencia del Sistema. Esos tiempos regresan memoriosos ahora al releer o incluso leer por primera vez algunos de estos textos de discusiones en seminarios sobre *El capital* en salones de la BUAP que Oscar organizaba entonces y a los cuales yo no asistí. Yo estaba ocupada contando cuántas tortillas comía al día un campesino totonaca,³ o cuántas balas dispararon los caciques y los soldados cuando ellos ocuparon tierras de ranchos en la sinuosa y verde sierra entre Puebla y Veracruz. Y también copiando archivos y



© Raúl Chiquito. Batea y pozo. Mujer lavando al lado del pozo.

mapas en las oficinas de la antigua Secretaría de la Reforma Agraria.

El suelo de nuestro encuentro y conversación, el mío con Oscar, no fue Marx, ni el Otro Marx –es lo que quisiera aclarar–, sino más bien algo así como “la realidad insuperable del Sistema en cuanto tal” o más bien la “maldad” del Sistema, como también dice Oscar, que a mí se me mostraba con los triunfos y derrotas de esos campesinos necios reclamando el derecho a la vida produciendo y reproduciéndose como dueños de sus tierras. Luchas por la tierra que se cobraban con vidas y que, incluso cuando triunfaron en algunas comunidades, solo abonaron a más de lo mismo: a “causa de su atraso”, decía además el argumento de algunos marxistas-leninistas de mi entorno académico.

La mía fue una mirada desbordada; la palabra *overwhelmed* me parece más acertada. Y en todo sentido. Quedé –voy a decirlo así– anonadada con una mirada sin-sentido (quizás por eso la antropología culturalista en la que me había formado exigía no solo la observación participante sino, como primer acercamiento, el aprendizaje del lenguaje del otro, como si con eso se corrigiera el problema de la interpretación que necesariamente le impone nuestra traducción); y además desbordada por la violencia física, discriminatoria y racista que soportaban unos débiles campesinos totonacas enfrentados al

inmenso poderío del Estado y los ganaderos propietarios de los ranchos.

Pudor, miedo y vergüenza también me ofuscaron. Todo me rebasó.

Y así, un día llegó un dirigente campesino afiliado al partido comunista a mi cubículo y se llevó todos los mapas que yo había copiado del archivo de la Reforma Agraria. Él sí sabía “qué hacer”.

Oscar y yo coincidíamos, coincidimos de manera “desigual” –si puedo decirlo así–, los dos en el suelo donde “las campanas llaman a la muerte”.

El otro suelo de nuestro encuentro fue en la hospitalidad que nos donó nuestra dedicación a la pintura.

Poesía, música, eso que se llama “creación artística” ocupaba y ocupa a Oscar, y a mí me tiene pintando –no exactamente con brocha gorda, pero casi– y desde siempre.

El hacer artístico construye una forma de vida. O más bien da a entender que la dedicación asumida en la creación de una obra artística descubre a uno en una forma de vida.

La pintura y la poesía, tan centrales a la vida de Oscar, podían, pensó él, corresponder a una ética “loca”, sin imperativos, sin deber-ser, un “más” o la experiencia de un “advenimiento” (recuerdo que así lo decía con la lectura de la poesía de J. L. Ortiz) de aquello que no puede nombrarse. Quizás.

La pintura como forma de vida en la que el hacer deja ver la obra, deja oír el habla de la poesía, fue o es para ambos un hacer que se nos dio, en el develamiento y ocultamiento (creo que decía también Oscar con su lectura de esos dos conceptos claves de Heidegger⁴), aguardando... ¿qué? ¿Aquello que no viene al habla quizás? ¿Dejando crecer lo que salva? ¿Y que necesita en realidad algo así como una incólume fe para vivirlo? –quiero decir, para vivirlo como posible– (me disculpan la palabra “fe”, que está cargada de significaciones religiosas, pero no encuentro otra).

Un hacer en el que yo, por lo menos, había apostado a la espera de algo que va más allá de la obra, eso que creo Agamben también decía se realiza no con una obra, una cosa, sino en la obra que resulta “de todos modos” o a pesar del “artista”, es decir, sin autor.

Obra que quizás sucede en ese “temblor” que nos arroba enfrentados a las presiones del misterio del hacer poético o artístico, como dice George Steiner, porque “las campanas siguen sin paz”.⁵

Quiero decir, “llamando a la muerte” en el reinado de un Estado técnico absoluto que es esto, como dice Oscar, inundado de ruidos que se desprenden de los delirios de la ciencia, como se lamentaba Iván Illich, donde el hacer poético, la pintura, cualquier hacer más allá de lo trivial –y creo que sigo plagiando a Steiner– no solo es un esfuerzo por vivirlo sino por ponerlo en palabras: todo lo que pudiera decirles sobre la “creación” artística atrae además la ilimitada capacidad del habla que admite decir cualquier cosa.

Oscar, en la presentación de la obra de un amigo pintor en Córdoba, Federico Ballester, señaló, sin embargo, que el “hacer artístico” –en cuanto “develar” y sin relación de dominio con lo que interpela para que se muestre a los ojos– permite vivir “elevándonos”, dice, “sacándonos de la estupidez cotidiana”, otorgando una manera de vivir en la donación y de la donación, como escribió en ese hermoso librito sobre Juan L. Ortiz.

Tal vez.

Oscar ha invocado, como Rilke, a esos ángeles para que abran un espacio salvífico, un nuevo comienzo, y esa es una apuesta terrorífica.

Dejar-ser es la insistencia, “avanzando hacia un lugar donde el hombre despliega su libertad despojada de todo condicionamiento”, dice Oscar, pero no es de Oscar, ni de Rilke, ni de Hölderlin, ni de Juan L., la insistencia, sino de la soberanía de la obra poética, de la obra pictórica, que abre o más bien se fuga del mundo del poeta o del pintor cuando estos ceden.

En esa disponibilidad sin más se encuentra Oscar. Alojado en el hacer pictórico y poético, Oscar aguarda. “Despojos” le puso a la última y reciente muestra de sus cuadros, promovida por amigos y la Secretaría de Cultura de Córdoba. Despojos “inútiles”, me agregó con mano temblorosa en la primera página del catálogo impreso.

Obra que yo aprecio y recibo precisamente por inútil. Obra abstracta que forcejea con el vértigo del vacío, íntima, iluminada de misterios –creo que



© Raúl Chiquito. *Masa de Chile*.
Moliendo semillas de Chile y tomates para una salsa.

puedo estar plagiando a Barnett Newman para expresar lo mucho que me gusta, que me “importa”, su obra pictórica.

Y una edición impresa en 2022 del poema “Cual”, que da cuenta del esfuerzo de Oscar por abrirse a un antes de la palabra y que dice al final: “...más allá de mí las palabras se aproximaron y esto es todo lo que puedo hacer y decir; lo demás son actos sin esperanza...”.

Así también otro poema aún inédito, “Pájaros”, que me compartió a finales de noviembre del año pasado con el aviso “todavía vivo”.

II°

Oscar aún vivía cuando redacté mi primera presentación de esta edición de la BUAP de su libro, y fue a él a quien primero le di copia de lo que renuente-mente iba a decir ese día en el Salón Barroco de la universidad. Ya no está Oscar; murió el dos de junio de 2024, así que lo que les voy a narrar hoy lo haré a sabiendas de que cualquier cosa que digamos –o diga yo– ni es neutral, ni es verdadero, tampoco falso, sino solo una mirada más.

Lo primero que voy a contarles es que yo creo que este libro, *Golpe Ciego*, originalmente recopilado y editado en Buenos Aires en el año 2010, por lo menos en la primera parte donde se recogen

sus lecturas de Marx, el Estado, la crisis y el problema de la técnica, fue en gran medida resultado –o respuesta, si se quiere– impulsada por el hondo intercambio que Oscar llevó hasta la más radical de las posturas contra su gran amigo Pancho Aricó.⁷ El ensayo “Crisis de la Política”⁸ de 1994, que Oscar retoma en “Notas sobre Política” en 2010,⁹ será algo así como esa postura radical asumida por él a partir de la experiencia al lado de Pancho y, de manera significativa, en el Partido Comunista Argentino. Hoy ya no está Pancho para que yo pudiera cederle a él la palabra sobre lo que sucedió en el choque de ideas entre ambos cuando sus miradas del mundo divergieron en política, y Pancho le dijo exasperado a Oscar: “Sos un constructor de derrotas”.

Pero les puedo contar que en ese punto la amistad se interrumpió un tiempo, pero nunca se quebró. Los dos partían de la idea (no sé si llamarle conclusión) de que nada menos que una aniquilación total del hombre sucedería si no se resistía al Sistema que perseguía ese fin hasta el final. Para Oscar, a diferencia de Pancho, había fracasado el marxismo en todas las formas e ideas que privilegió para enfrentar al sistema capitalista.¹⁰ Al agotar su exposición argumentativa¹¹ de lo que Pancho y muchos otros marxistas sostenían en su entorno no solo teóricamente sino como alternativa práctica para superar al sistema capitalista, ya no hubo retorno para Oscar. A partir de entonces, Oscar le pondría una mayúscula al Sistema, ya no reducido a capitalista”, sino como una “realidad insuperable” o “suma imaginaria total de nosotros mismos” que le exigió otro camino del pensar para resistir.

Sus lecturas de Nietzsche fueron el comienzo de ese nuevo camino, y las compartió con nosotros en un seminario al cual asistimos Julio, Jorge y yo, entre otros. Entre 1980-82 publicaríamos en *Espacios* sus “Protocolos nietzscheanos”. Esos protocolos exponían la forma de vida en resistencia que Oscar asumiría hasta el final. Nos puso sobre aviso, si se quiere, cuando escribió: “El objetivo de estas lecturas es tratar de establecer el tipo de conducta al que conduce el pensamiento de Nietzsche”.¹² Yo



© Raúl Chiquito. *Desgranando*.
Familia reunida desgranando mazorcas.

estuve en ese seminario y confieso que en las nubes. ¿Protocolos? ¿No “Notas” ni “Comentarios” a la obra de Nietzsche, sino “Protocolos nietzscheanos”? Y de parte de uno que fue el más antiprotocolos imaginable. Uno que ignoraba incluso las más triviales reglas que se exigían de nuestras profesiones académicas. Oscar parecía compartir en voz alta, en ese seminario, cosas que le involucraban existencialmente y no solo como ideas, cuando insistía que la experiencia mística del Eterno Retorno de lo Mismo en Nietzsche era una propuesta ética.¹³ Una, como lo dijo él, que exigía la necesidad práctica de una transformación radical del hombre; es decir, de otra forma de vivir.

Yo, que le escuchaba en ese seminario, era, entre otras cosas, una antropóloga ocupada en ir y venir desde apartadas y violentadas comunidades totonacas en la sierra de Puebla, y también una que pintaba cuadritos al óleo. Quiero decirles con eso que Nietzsche y Oscar me pasaron por encima como una nube que descargó solo asombro y confusión. Pero comprendí algo, y eso me hizo quedar quieta en mi asiento escuchando: Oscar estaba haciendo un esfuerzo al presentar esas lecturas de Nietzsche porque no solo le atañían a él, sino también a aquellas, como él decía, “almas bellas”¹⁴ ante quienes él podía soltar como granos de arena lo que había interpretado para que hicieran, o no, con eso cualquier cosa. Nos decía en esas lecturas de Nietzsche que la única resistencia al Sistema estaba desde lugares de un Otro radical; es decir, desde el arte, la poesía, las culturas de los “pueblos condenados” de Roa Bastos, aunque “pueblos extinguidos



© Raúl Chiquito. *Bordar en rojo*.
Mujer bordando blusas en Tlaxcalancingo.

y resurrectos”, como los refirió él, sería más exacto; o la locura que, como experiencias vividas, eran los únicos lugares sin retorno al Sistema. Oscar nos extendía –o se extendió a sí mismo– una invitación al camino hacia la “intuición mística”, también al “desarreglo de los sentidos” al cual llegó finalmente Nietzsche, “aniquilando las barreras” y “límites habituales de la existencia” en una experiencia que exigía vivir con intensidad lo desconocido.¹⁵ Y en esa compleja interpretación del Eterno Retorno de lo mismo nietzscheano –que no tiene que ver con una idea de que la historia se repite– también se puso en el camino para recuperarse o recomponerse en la amistad con Pancho. Porque los actos vividos por cada uno de ellos fueron absolutamente esenciales y cruciales para cada uno. Si se diera el volver a vivir sus vidas, serían exactamente igual a la que vivieron; lo vivido con Pancho durante quince años en el Partido Comunista Argentino, en las discusiones que llevaron a la edición de los textos en *Cuadernos Pasado y Presente*, en la militancia política durante la dictadura y después el exilio en México, fueron experiencias esenciales. La amistad entre ambos se reconstruyó con el tiempo sobre una suerte de generosa y amorosa aceptación en la que ambos reconocieron la importancia no solo del largo tiempo vivido juntos, sino que, gracias a esa conversación entre ambos, uno y el otro arribaron a sus miradas divergentes del mundo.

Lo que yo entendí de Oscar después, y fueron más de cuarenta años de una intensa y extenuante amistad, es que él, en general, veía el mundo como si

fuera algo así como una obra de arte. A veces como si de tratara también de un texto literario. Un largo ensayo que me envió, “Las pinturas y las comunidades precolombinas del Cerro Colorado en Córdoba, Argentina”, y que compartimos en *Elementos*,¹⁶ lo ilustra: despliega Oscar en este texto una mirada de pinturas rupestres que, para mí, antropóloga, resaltó la levedad, chatura y aburridos relatos etnográficos acostumbrados de las ciencias sociales, incluyendo los míos. Necesito plagiar a Alexander Nehamas para transmitirles la “estética nietzscheana”,¹⁷ la narración moldeada por la literatura y la poesía, que da forma a este original texto “etnográfico”, pero también a muchos otros textos; y me permito plagiar a Nehamas porque fue el mismo Oscar quien me insistió que yo leyera su libro sobre Nietzsche¹⁸ cada vez que demostraba el esfuerzo inútil que hacía para interpretar lo que es imposible de comprender, sobre todo en algunos de sus escritos filosóficos. Imposible de comprender, obviamente, no solo porque yo carecía y carezco de lecturas y lenguajes que son comunes a los que estudiaron filosofía, sino por una razón mucho más esencial: en el camino de reconciliación con el hombre y la tierra que Oscar atribuye a la poesía de Juan L. Ortiz, el arte y la poesía se alejan, lo dice él, de los límites que le impuso la clausura científica y política de la modernidad (y agrego yo, la academia). Y en esa “estética” que está en los variados estilos de escritura que Oscar ensayó, siempre algo propio del ser mismo de la poesía se manifiesta –como en la poesía que busca decir desde la poesía– y se vuelve intransmisible y teóricamente inexpresable. Oscar me enredaba a veces en un estilo de escritura imposible a mi comprensión porque estaba, desde esa ética del Eterno Retorno nietzscheano, en el camino de hacer de él mismo una obra de arte (como decía Nehamas de Nietzsche¹⁹); buscando que no le abandonasen virtudes como el humor, la amistad y el amor –y lo dice él en el poema *Pájaros* que me envió casi al final de su vida– cuando “en mi sangre escucho plegarias o tal vez el grito de las víctimas”, un constante repicar en el espíritu de las campanas sin paz.²⁰ Su camino,

experiencia o pensar, llamémosle como quieran, no accedía fácilmente a la palabra. Oscar, además, no construía “derrotas” como creyó Pancho, sino una forma de vivir en resistencia que no se permitía la indiferencia al sufrimiento del Otro.

Por último, antes de enredarme más en el mundo y la filosofía que me compartió mi amigo, quizás me toca dejar constancia de algo que pasó desapercibido para los que hoy retoman sus ideas y escritos. Oscar estuvo siempre muy atento a lo que antropólogos que cruzaron caminos hacia el Otro regresaban contando. Quiero decir, de los relatos de aquellos antropólogos que se adentraron en la “selva” que es el Otro y retornaban contando historias y narrando sus tristezas. Recuerdo su carta en la que me expresaba su desacuerdo por lo que yo escribí sobre Lévi-Strauss.¹⁸ Recuerdo que me recomendó escribir en *Espacios* un ensayo sobre Pierre Clastres que no pude redactar porque la tragedia de los Ayoreos contemporáneos,²¹ como el actual holocausto en Gaza, me rebasó. Me sigue rebasando.

Podría ocupar un tiempo agotador contándoles sobre nuestras conversaciones en torno a pueblos basados en sistemas de parentesco en oposición a sociedades modernas que giran en torno a impersonales instituciones como el mercado o el Estado. Y plagiando a David Graeber,²² cuya obra no tuve tiempo de compartir con Oscar porque en nuestras últimas conversaciones casi siempre la pintura nos tenía ocupados, les puedo contar sobre algunas cosas que, creo yo, orientaron su único oído no sordo a escuchar las narraciones de la antropología y algunos antropólogos.²³ Primero, porque los antropólogos narran historias que son casi siempre argumentos contra la arrogancia cultural occidental. Narran historias como la de los llamados aborígenes australianos, que son pueblos con una pobreza material extrema viviendo en un mundo de riqueza y complejidad simbólica inconmensurable. O narran historias de pueblos que aspiran a mantener una comunidad igualitaria, como los Iroqueses en América del Norte, construyendo consensos para decidir acciones, incluso incursiones

guerreras. Narran historias de familias, como entre los Nuer, que es intraducible a lo que entendemos por familia en Occidente. Narran historias de pueblos con lenguas guturales y prosódicas como el de los Pirahã, que se asemeja a los sonidos de pájaros en sus selvas. Quiero decir, con Graeber, que los antropólogos son de hecho los únicos que saben algo sobre sociedades que en verdad viven sin Estados y nunca pueden evitar describir los horribles momentos de conquistas, colonización y aniquilación que descienden inexorablemente sobre sus territorios y vidas. Resisten ante ese “Uno-Común totalitario”, y como los locos, oponiéndoles solo la fuerza de su debilidad.

Pero creo, como algo seductor para el pensar de Oscar, que las narraciones de antropólogos avisan que otros puntos de vista son posibles, pero no como puntos de vista que son equivalentes. Todos los puntos de vista, si se quiere “culturas” para hablar como antropóloga, apuntan o trazan fines y propósitos propios, privilegian en pueblos una dirección sobre otra y asignan mayor énfasis a algunas cosas, escogen algunas cosas sobre otras, dejando infinitas cuestiones sobre sus mundos sin respuestas. Cada mirada del mundo impulsa formas de vida particulares. Ninguna “funciona”, por decirlo así, sin códigos y moral que nivela el comportamiento del rebaño, previniendo y castigando a aquellos que ponen en peligro la sobrevivencia y reproducción “como” rebaños. Las culturas del Otro, o la traducción que hacemos de las culturas del Otro, no es que reclaman un conocimiento mejor o superior del mundo ni representan mejor o peor la realidad del mundo (este relativismo grosero de gran parte de la antropología no le interesaba a Oscar, ni a mí), sino más bien nos muestran que mucho de lo que hay y que conocemos en, o de todos, los mundos o culturas no es accesible a nuestra interpretación de la “realidad”. Que siempre hay alternativas, siempre estamos reinterpretando el mundo con nuevas interpretaciones del mundo. Por eso, vivir exige de la imaginación, y la imaginación es productora incansable de interpretaciones del mundo y nunca genera una interpretación finita o absoluta. Para todos, para nosotros y para el Otro, somos uno



© Raúl Chiquito. *Desenterrar molcajete*. Encontrando objetos de barro en el campo.

y el Otro, por decirlo así, encomiándonos a reconocernos en lo que queda fuera, en la intemperie, en el silencio, de las posibilidades que asumimos como “realidades” o “verdades” en nuestros mundos.

Y más aún, para Oscar, la antropología o los antropólogos, exactamente como lo dice Octavio Paz²⁴ (y no los filósofos, como pensó Nietzsche), son por excelencia la mala conciencia de nuestros tiempos.

Así, creo yo, leyó Oscar las narraciones de Malinowski en Melanesia. “Eso” sería lo que nos quieren decir los Trobriandeses: un mundo que se muestra perfectamente denso y perfilado, apuntalando no solo que hay infinitas formas posibles de mundos, que nos obliga a mirarnos en el Otro, y así reconocer el carácter contingente o histórico de todas las instituciones y valores, en sus culturas y la nuestra, que crea la posibilidad, o la ilusión, de que podemos cambiar.

Aunque, me temo, ante esa posibilidad esperanzadora, la historia devenida y las condiciones de vida de los pueblos Otros no nos condujeron al final, ni a él ni a mí, a ninguna salida de nosotros mismos.

La examinación de una vida vivida a la que conduce la ética mística del Eterno Retorno de lo mismo nietzscheano que emprendió Oscar fue un forcejeo. Implica la decisión de ser distinto, obliga a vernos en el presente, asumiendo todo lo que nos trajo al

presente, construyendo algo así como un equilibrio o una identidad que, por más excepcional, puede también resultar en un ser humano deleznable. ¿Cómo eludir al hombre?, se preguntaba Zaratustra. ¿Cómo se vive con virtudes cuando lo opuesto, el mal, son partes ineludibles de la vida? ¿Cómo se vive más allá del bien y del mal?

Al final, ¿encontró Oscar su voz en la locura y el odio como también en el aroma en flor? Aunque leve el rasguño, ¿cambió de dirección el mundo? ¿Vivió Oscar el esplendor del amor develado?, como pregunta el último poema *Pájaros* que me compartió.²⁵

No sé.

Oscar, con voluntad y fuerza, buscó vivir de otra manera y dejó en el camino ensayos, libros, cuadros, poemas, familia y amigos, y un mundo sin asidero que no sabemos con él a dónde se dirige.

NOTAS

¹ Presentaciones del libro *Golpe Ciego* de Oscar del Barco. Prólogo de Pablo Gallardo y Gabriel Livov. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 2021.

² Conferencia dictada el 13 de marzo de 2023 en el Salón Barroco de la BUAP.

³ También autodenominados *otoneca* o *tutunacu* (*tutu*: tres, *nacu*: co-razón) según la región.

⁴ Del Barco, Oscar, *Dos conceptos fundamentales del último Heidegger*. Espacios. BUAP. Año uno. Número tres.

⁵ Del Barco, Oscar, *Las Campanas no tienen paz*. Ediciones Activo Puente. Bs. As. 2013.

⁶ Conferencia dictada el 11 de agosto de 2025 en la Facultad de Filosofía y Letras, BUAP.

⁷ José María Aricó, pensador y editor de un importante pensamiento en torno a Marx y el marxismo, con obra demasiado extensa para resumirla aquí.

⁸ En *El abandono de las palabras*. Colección Tantalía. Fundación Universidad de Córdoba. Córdoba, Argentina. 1994.

⁹ Originalmente publicado en *Nombres* no. 24 y reeditado en *Escrituras*, Bs. As. 2011.

¹⁰ Si bien será hasta 2007, en Córdoba, con la polémica sobre "la responsabilidad", cuando lo que pensó entonces se vuelve "es lo que pienso". Ver, *No matarás: sobre la responsabilidad*. Ediciones del Cíclope. Universidad de Córdoba. 2007. Conversamos Oscar y yo las implicaciones de ese "No matarás" como sentencia absoluta, como un valor o principio que legisla todo y que, si es absoluto, estamos en todos los contextos exigidos a vivirlo; ¿Qué pasa cuando yo estoy a favor del aborto? ¿Esa sentencia se extiende a los animales? ¿Qué pasa con el "no matarás" en comunidades no sedentarias de cazadores-recolectores regidas en parte por el infanticidio? ¿Cuándo la mujer que, al reclamar el derecho al aborto, lo que reclama es quitarle al Estado el derecho a decidir sobre su cuerpo? Nuestro desacuerdo no viene al caso en esta presentación, pero me parece importante notar que Oscar salvó o buscó salvar a ese principio de *No Matarás* de convertirse en un principio moral absoluto cuando refiere un orden empírico y otro trascendental. Él me regaló la edición de este libro, y lo más que puedo yo hacer ahora es extenderles a ustedes una invitación a su lectura.

¹¹ Yo señalaría *Esbozo de una crítica a la teoría y práctica leninistas*. BUAP. 1980 como demostrativo de ese momento.

¹² En "Protocolos nietzscheanos II". *Espacios* no. 2. 1982. Cuando retoma estos textos para reeditarlos en *Nombres* (no. 2, Córdoba 1992), lo hace con una nueva redacción o versión "sistemática y condensada" del texto original en *Espacios*, como explican Gallardo y G. Livov en 2010. Y con otro título. Esa misma y última redacción "sistemática" será reeditada en *Golpe ciego*, editorial BUAP. 2021.

¹³ "Notas sobre la Mística de Nietzsche", retomado en la revista *Nombres* no. 2, Córdoba en 1992, y reproducido en esta edición de *Golpe ciego*.

¹⁴ "... universitarios, profesionales, investigadores, artistas, etc., 'una tiza en el bolsillo del Sistema', creyéndonos no reconocidos en este". En "Notas sobre la Política" en *Escrituras*. Biblioteca Nacional. Bs. As. 2011. Pág. 309. Yo creo que Oscar con "almas bellas" refería a esos "espíritus libres" de Nietzsche o al "espíritu libre por excelencia" en aquellos que pueden o logran "abandonar la fe y el deseo por

certidumbres" y a los que Nietzsche alude en *La Gena Ciencia* como en *La genealogía de la moral*.

¹⁵ "El peligro y lo que salva" en *Nombres* año 1, no. 1, Córdoba 1991.

¹⁶ *Cuadernos de Elementos* no. 7.

¹⁷ Creo que lo que Nehamas señala en *Nietzsche* es también extensivo a Oscar: "...arriba a muchos aspectos de su mirada del mundo y las cosas, incluyendo sus ideas sobre los humanos, al extrapolar ideas y principios que aplican casi intuitivamente a (textos) literarios... y muchas de sus ideas se vuelven significativamente plausibles desde esta perspectiva". (Traducción mía). Nehamas, Alexander, *Nietzsche, Life as Literature*, Harvard U. Press. 1985. Pág. 3.

¹⁸ Nehamas, Alexander, *Op. cit.*

¹⁹ A. Nehamas, *Ibíd.* Pág. 149-151.

²⁰ O. del Barco, *Las campanas no tienen paz*. Ediciones Activo Puente. Bs. As. 2013. Este, quizás, el libro más "personal" que escribió. Me lo dio saliendo de imprenta en 2013, transmitiéndome "el esfuerzo de espíritu" que fue escribirlo para que lo tuviera en cuenta al leerlo.

²¹ En *Cuadernos Pasado y Presente*, Oscar publicó un largo ensayo sobre Lévi-Strauss: *El pensamiento salvaje de Claude Lévi-Strauss*. No puedo precisar el año porque solo guardo una copia que él me entregó cuando estábamos en el CIF-BUAP. Mi ensayo "El fútil ejercicio de Lévi-Strauss y Buell Quain en la Selva Amazónica" se encuentra en *Elementos*, No. 81, Vol. 18, enero-marzo, BUAP, y es del año 2011.

²² Últimos pueblos cazadores/recolectores del Chaco paraguayano/boliviano en trágico proceso de sedentarización dirigida por misiones católicas, protestantes y menonitas. *Ayoreo* designa "las personas" en singular; en plural sería *ayoreode*. Sus lenguas corresponden a la familia Maskay, en la que están incluidos otros pueblos del Chaco paraguayano como los Chamacoco, Toba, Añgaite, Sanapaná en la frontera con Brasil. Solo un reducido grupo o banda ayoreo, los Tobiegosode, permanecen actualmente en el monte y sin contacto. Son también conocidos como pueblos del pájaro sagrado *asojna*, de la familia del urutaú, al que la cultura popular guaraní en el Paraguay designa como el pájaro cantor. Ver Bessire, Lucas, *Behold the Black Caiman*. University of Chicago Press. 2014, narrado por uno de los pocos antropólogos que habla la lengua de los ayoreo.

²³ Graeber, David, *Fragments of Anarchist Anthropology*, Prickly Paradigm Press. Chicago. 2004.

²⁴ "Field anthropologists", como se entrenaban y nombraban en tiempos de Franz Boas, y no aquellos que desde gabinetes universitarios, en la actualidad, redactan interpretaciones del Otro.

²⁵ O. Paz, *Claude Lévi-Strauss o el nuevo festín de Esopo*. Joaquín Mortiz. México. 1967.

²⁶ Del poema de Oscar, "Pájaros".

Anamaría Ashwell
Centro de Investigaciones Filosóficas
Instituto de Ciencias
Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades
Alfonso Velez Pliego, entre 1978-2000
aashwell@gmail.com

Entre nubes inestables: simulación de inestabilidades de Kelvin-Helmholtz

Braulio A. Rentería Ramírez
Elsa M. de la Calleja

“Parecemos nubes, que se las lleva el viento, cuando hay huracanes, cuando hay mal de amores...”. Caifanes nos hacen saber a través de esta frase idónea el marco para contextualizar el fenómeno físico que nos inquieta en esta ocasión y, de paso, recordamos una de las canciones más icónicas en la que Caifanes nos invitan a dar una vuelta al cielo y descubrir no solo lo que las nubes esconden, sino también “lo que es eterno”.

En la inocente apariencia del cielo suceden fenómenos tan diversos como un inesperado arcoíris, o complejos y amenazantes como unas nubes mastodónticas. El escenario azul que a veces se torna rosa en los atardeceres en Querétaro o violeta en Indonesia, nos sorprende algunas veces con fenómenos físicos inquietantes que despiertan nuestra curiosidad para entenderlos, predecir su movimiento o intentar replicar su dinámica.

Los meteorólogos suelen ser las personas que más ocupan su tiempo en analizar el tipo de nubes que se crean en las regiones que monitorean. Sus observaciones les ayudan a predecir la intensidad de tormentas, periodos de lluvia, nieve o frentes fríos. Uno de los patrones más cautivadores es el avistamiento de nubes en forma de ola, y aunque seguramente altera un poco los ánimos de quienes

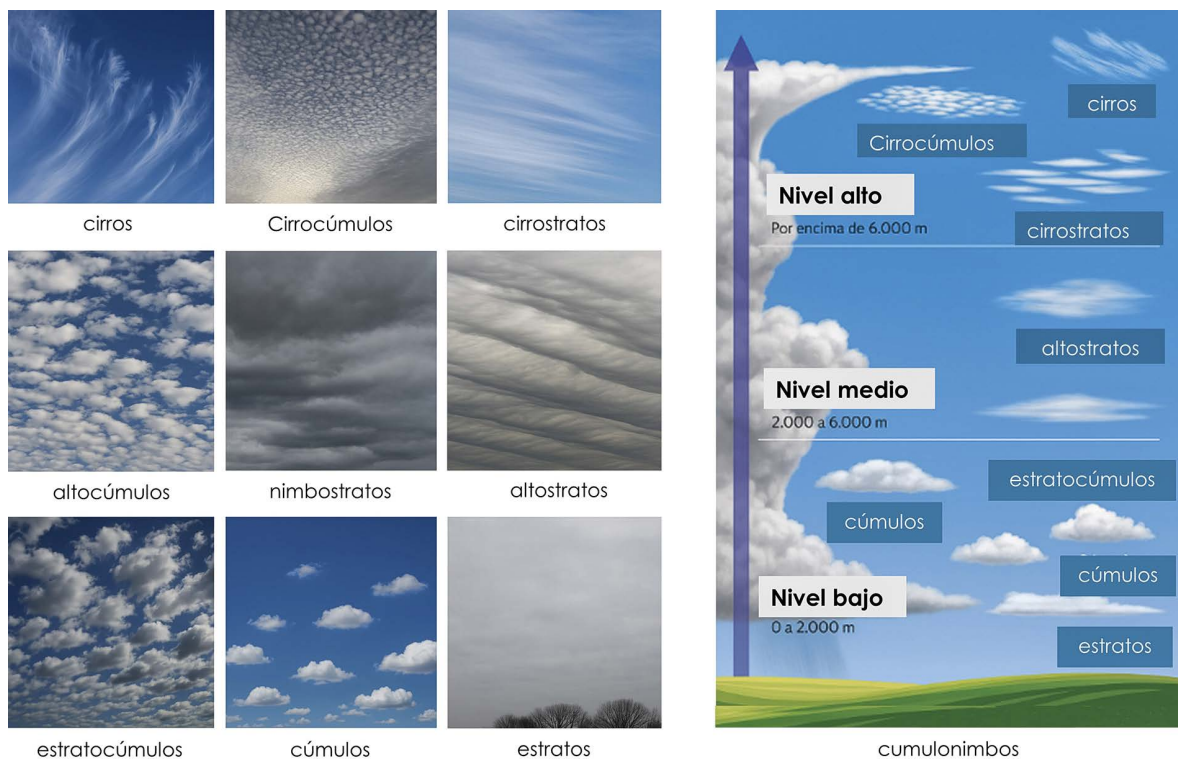


Figura 1. En la imagen se muestran nueve tipos diferentes de nubes en función de su altura. Las nubes en forma de cúmulos, estratos o estratocúmulos son aquellas que localizamos a menos de 3,000 metros de altura. Las nubes conocidas como altocúmulos, altostratos o nimbostratos viven en un rango de 3,000 metros a 6,000 metros. Las nubes más altas, como los cirros, los cirrocúmulos y los cirrostratos, están por encima de los 9,000 metros, hasta los 12,000 metros.

las avistan, resultan ser uno de los fenómenos físicos más llamativos y difíciles de explicar.

LA OLA DE HOKUSAI Y PLUTÓN

Los patrones de ola surgen bajo condiciones físicas específicas. Es necesario que la presión, la densidad e incluso la temperatura se combinen para que los patrones se formen en la troposfera. En muchas ocasiones, estos patrones suelen combinarse con vórtices, turbulencia o remolinos nada simples ni aleatorios. Aunque su origen se encuentra en ecuaciones deterministas, estas estructuras emergentes son propias de sistemas no lineales con una alta sensibilidad a las condiciones iniciales, lo que les confiere un comportamiento complejo y difícil de predecir. La complejidad y la universalidad del fenómeno sorprenden, porque no solo la encontramos en las nubes, sino también en el polo norte de Saturno,

en las grandes regiones de Júpiter, en ciclones, en la turbulencia del océano (Cazatormentas, 2020) o incluso en obras de van Gogh (Hokusai, 1831), y es precisamente lo que magnifica su belleza. Al respecto, la comparación creativa entre patrones turbulentos y las pinceladas de ciertas obras de Van Gogh llaman la atención en la aplicación de las técnicas formales del estudio en la física de fluidos en áreas al parecer inconexas. Lejos de trivializar el fenómeno, este paralelismo ilustra cómo ciertos rasgos de la turbulencia –como la variación de escalas, la formación de remolinos y la distribución irregular de energía– emergen en contextos intuitivos y visuales (Aragón *et al.*, 2008).

En la Figura 2 se muestra en (a) una fotografía que parece anunciar un apocalipsis, pero en realidad son patrones de nubes en forma de grandes olas que se propagan en la troposfera, dando la impresión de avanzar de manera periódica en medio de un mar de agua condensada, hielo y aire. Estas nubes son resultado de uno de los fenómenos físicos conocidos



Figura 2. A la izquierda se muestra una fotografía de las nubes vista desde un avión, sobre el sur de Misuri. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional – Centro Meteorológico para la Aviación (EE. UU.), tomada de la referencia Rahmani *et al.*, 2014. A la derecha se presenta *La gran ola de Kanagawa*, de Katsushika Hokusai (1831), estilo: Ukiyo-e. (37.8 x 25.7 cm); tomada de Hokusai, 1831.

como inestabilidad de Kelvin-Helmholtz. El nombre se debe a dos grandes científicos: William Thomson, 1st Lord Kelvin, y Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz, quienes analizaban los diferentes patrones que surgían por efecto de la diferencia de velocidad entre dos fluidos en un medio continuo.

INESTABILIDAD DE KELVIN-HELMHOLTZ

La teoría desarrollada por Kelvin y Helmholtz predice la inestabilidad y la transición a un flujo turbulento con diferentes densidades. El movimiento relativo de los fluidos genera una perturbación creciente en la interfaz, lo que da lugar a estructuras ondulantes y en forma de remolinos. Solo es suficiente una diferencia de velocidad a través de la interfaz de dos fluidos para que surja esta secuencia de olas.

Si nos damos permiso de hacer comparaciones, estos patrones nos evocan la maravillosa obra de Hokusai *La gran ola de Kanagawa*, que mostramos en la Figura 2 (b). Esta variación de velocidad que ocurre en simple vapor de agua, aire o fases combinadas, eleva su nivel de complejidad cuando sucede en plasmas, con una fascinante interacción de campos electromagnéticos que confabulan para que un movimiento de cizalladura a través de la interfase entre ambos medios genere estructuras turbulentas que incluso Vincent van Gogh envidiaría.

A veces, cuando nos interesamos en algún fenómeno de turbulencia o inestabilidad que sucede en otros planetas o en condiciones físicas extremas, a

los investigadores nos da por idear creativas maneras de presenciarlos. En este caso, para estudiar los patrones de vórtices turbulentos, podemos sugerir viajar en una nave espacial hasta Júpiter y, desde alguna de sus 80 lunas, grabar en vivo los fenómenos de inestabilidad y turbulencia en la interacción de helio e hidrógeno que lo componen (Drake, 2018). ¡Obviamente, es un sueño difícil de conseguir! Otra alternativa más realista sería surfear por los 1,700 metros de longitud que alcanzan los ciclones o huracanes en mar abierto del Pacífico. Creo que siguen siendo opciones poco alcanzables. ¡Pongámonos serios y pensemos en algo factible!

Una alternativa menos peligrosa, dada nuestra incapacidad como surfistas y nuestro amor a la vida, es realizar una simulación del fenómeno en una computadora desde la comodidad de un laboratorio. La idea es enfrentar dos fluidos que se mueven con diferentes velocidades e incluso diferentes densidades y, con la elección de parámetros de la perturbación inicial, condiciones de amplitud de la onda definida en la interfaz de los fluidos, tomando en cuenta la ecuación de continuidad y la ecuación de momento de Navier-Stokes, se simula la dinámica de vapor de aire condensado.

En resumen, la metodología consiste en determinar una solución aproximada para las ecuaciones. La idea, en concepto, es que, dado un problema muy complejo de solucionar, lo transformamos

en muchos problemas pequeños –¡del orden de millones!–, cada uno más sencillo de solucionar. De modo que el conjunto de pequeños problemas sencillos genera la solución global del problema complejo. La dinámica de fluidos computacional (CFD) es el marco teórico que utilizamos para resolver las ecuaciones de conservación de la masa y del momento de Navier-Stokes, e incluimos un dominio como volumen de control donde las ecuaciones de conservación y de momento se solucionan. La secuencia inicia con el diseño del volumen de control en 2D, que incluye una perturbación de separación entre los fluidos con forma sinusoidal. Se discretiza el volumen de control, es decir, se particiona en pequeños volúmenes que involucran la existencia de las soluciones de las ecuaciones algebraicas mediante un algoritmo de Gauss-Seidel, y finalmente se realiza un procesamiento de datos.

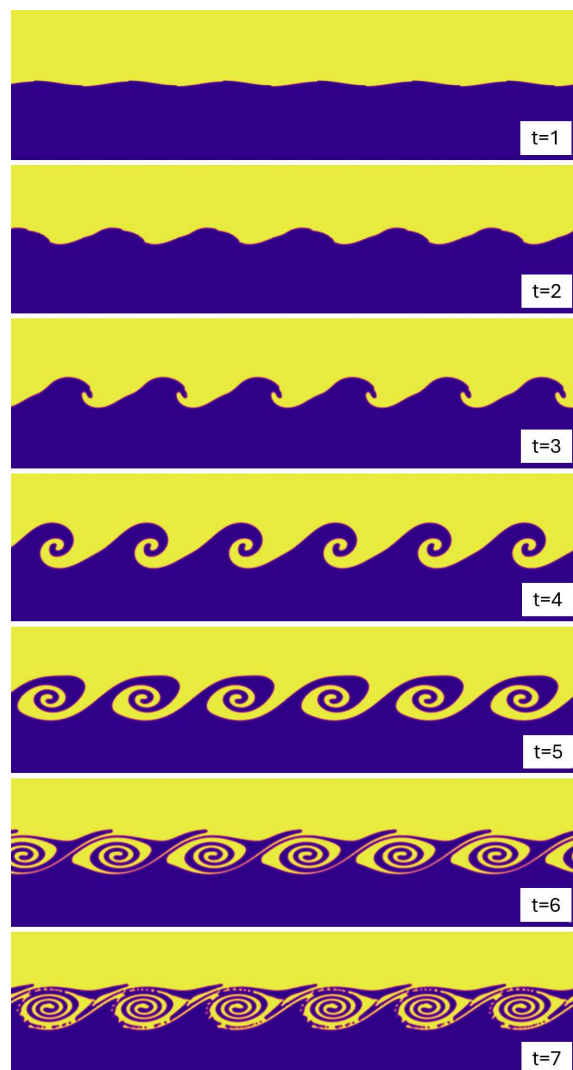
El algoritmo de Gauss-Seidel es un método numérico utilizado para resolver sistemas de ecuaciones lineales del tipo $Ax = b$. Este método se aplica frecuentemente en ingeniería y ciencias aplicadas para resolver los sistemas que resultan de discretizar ecuaciones diferenciales parciales, como las que describen fenómenos de transferencia de calor, dinámica de fluidos o distribución de corriente eléctrica en circuitos.

Las consideraciones técnicas y matemáticas para ejecutar una simulación dependen del manejo de programas especializados y de supercomputadoras con buena velocidad de respuesta. También depende del enfoque para el análisis e incluso de las aplicaciones tecnológicas que se requieran. El modelo matemático que generalmente se utiliza considera las ecuaciones de Navier-Stokes para flujo incompresible alrededor de una configuración en estado estacionario.

Al usar la aproximación de Boussinesq (Rahmani *et al.*, 2014), donde la viscosidad cinemática es constante y sin gradientes de densidad por efecto del campo de flujo, en rangos menores a 120 m/s y temperaturas menores a 100 °C, obtenemos una buena descripción del fenómeno.

En la Figura 3 se ilustran los patrones que surgen por efecto de la diferencia de velocidad entre dos fluidos y que se conocen como patrones típicos de una inestabilidad de Kelvin-Helmholtz. Se observa que, a medida que avanza el tiempo, el fluido azul interactúa con el fluido rojo y se forman los remolinos con una estructura de vórtice a partir de olas. Al final, tenemos patrones en forma de “ojos de gato”, resultado de la interacción de vórtices que

Figura 3. La imagen muestra la secuencia de la simulación de dos fluidos a diferentes tiempos. El color azul representa el fluido con una velocidad de 0.25m/s y el fluido amarillo se mueve a una velocidad de 0.1 m/s. Al tiempo $t = 1$ solo se observa un fluido amarillo que se mueve levemente de manera ondulante. En el tiempo $t = 2$ se empiezan a reconocer crestas con cierta altura. En el tiempo $t = 3$ ya se visualizan patrones de olas que avanzan de manera periódica. Al tiempo $t = 4$ ya se forman remolinos pequeños en las partes altas de las olas. Al tiempo $t = 5$ se formaron remolinos más grandes. En el tiempo $t = 6$ ya se tienen patrones que incluso dan la impresión de ser “ojos de gato”. Finalmente, en el tiempo $t = 7$ tenemos remolinos, turbulencia y patrones con mayor complejidad.



surgieron de remolinos en las crestas de las olas iniciales. ¡Simplemente fascinante!

Sin necesidad de gastar ni la vida ni gran cantidad de recursos para viajar a Júpiter, es posible visualizar el fenómeno físico en una computadora con muy buen resultado.

La simulación consigue recrear dinámicas de cualquier sistema bajo casi todo tipo de interacción, con fuerzas externas, con efectos térmicos, considerando parámetros de presión y de velocidad que, muchas veces, es imposible fabricar en un laboratorio por la gran cantidad de recursos y tiempo que compromete.

El estudio de la inestabilidad de Kelvin-Helmholtz es un tema seductor. Las implicaciones de su análisis sugieren que los vórtices, remolinos y olas que se forman con la interacción de las dos capas de fluido se modifican a partir de los cambios de densidad, de la geometría confinante y, sobre todo, por la diferencia entre las velocidades. Encontramos que las perturbaciones crecen de forma exponencial en el tiempo, en lugar de disiparse o permanecer constantes. Lo que significa que la interacción entre los fluidos produce los patrones que vemos en las nubes o en Saturno, y no solo es un fenómeno difusivo de un fluido inmerso en otro (Rentería y De la Calleja, 2025).

Finalmente, es necesario añadir que existe una relación directa entre la inestabilidad de Kelvin-Helmholtz y el número de Reynolds. Este último mide la relación entre las fuerzas inerciales y las viscosas en un fluido. Cuando el número de Reynolds es bajo, la viscosidad del fluido actúa como un amortiguador, suavizando las perturbaciones e impidiendo que se desarrollen inestabilidades. Pero cuando el número de Reynolds es alto –como ocurre en atmósferas planetarias o flujos turbulentos– la viscosidad tiene menos efecto, y pequeñas perturbaciones pueden crecer rápidamente, favoreciendo la formación de estructuras características de la inestabilidad de Kelvin-Helmholtz. Suponemos que viajar en una nave espacial es uno de los más complejos e interesantes desarrollos tecnológicos que la humanidad ha podido conseguir. Pero, desde nuestro lugar, con ayuda de un programa

y una buena computadora, modelamos y analizamos dinámicas atmosféricas complejas, como las inestabilidades hidrodinámicas que aparecen en huracanes, en colisiones de galaxias o en la interacción de gases en planetas gigantes. Lejos de ser simples curiosidades visuales, estos patrones –como los de Kelvin-Helmholtz– revelan procesos de transferencia de energía y *momentum* en sistemas fluidos no lineales. Al compartir su presencia y la experiencia de su análisis, queremos subrayar el papel que tienen las simulaciones numéricas como herramientas clave para explorar fenómenos de escala planetaria, sin reemplazar la observación directa, pero complementándola de forma rigurosa y accesible.

REFERENCIAS

- Drake N (2018, 9 de marzo). Una nueva foto de la NASA muestra un enorme cúmulo de ciclones en Júpiter. *National Geographic*. Consultado en: <https://www.nationalgeographic.es/espacio/2018/03/una-nueva-foto-de-la-nasa-muestra-un-enorme-cumulo-de-ciclones-en-jupiter>.
- Aragón JL, Naumis GG, Bai M, Torres M and Maini PK (2008). Turbulent luminance in impassioned van Gogh paintings. *Journal of Mathematical Imaging and Vision* 30(3): 275-283. <https://doi.org/10.1007/s10851-007-0055-0>.
- Cazatormentas (2020, diciembre 7). Inestabilidad de Kelvin-Helmholtz: Olas en el cielo. Recuperado de <https://cazatormentas.com/inestabilidad-kelvin-helmholtz-olas-cielo/>.
- Hokusai K (1831). La gran ola de Kanagawa [xilografía]. Colección privada. Recuperado de <https://www.wikiart.org/es/katsushika-hokusai/la-gran-ola-de-kanagawa-1831>.
- Rahmani M, Seymour B and Lawrence G (2014). The evolution of large and small-scale structures in Kelvin-Helmholtz instabilities. *Environmental Fluid Mechanics* 14(6):1275-1301. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10652-014-9343-6>.
- Rentería B and De la Calleja E (2025). Unstable-Stable transition in Kelvin-Helmholtz instability. Manuscrito enviado a *Journal of Fluid Mechanics* y actualmente en revisión.

Braulio A. Rentería Ramírez
Elsa M. de la Calleja
Centro de Tecnología Avanzada
CIATEQ A.C., Querétaro
elsama79@gmail.com



© Raúl Chiquito. *Rumbo a Cholula. Migración de tlaxcaltecas a la región cholulteca.*

El cáncer desde lo invisible: las aflatoxinas

Anai **Zavala Franco**
Marcela **Gaytán Martínez**

Si a un mexicano se le pregunta qué es lo que define su cultura, es muy probable que mencione la comida. Y es que la comida mexicana representa todo lo que es importante para la población: picante y con mucho sabor. La alimentación de la población mexicana tiene como base el maíz (*Zea mays*), un cereal de la familia de las gramíneas que se caracteriza por tener un elevado contenido de carbohidratos y que, al complementarse con el frijol como fuente de proteínas, ha aportado una alimentación completa y saludable durante mucho tiempo. Sin embargo, con estas características nutricionales, el maíz también es susceptible a la contaminación por hongos que no podemos ver a simple vista en sus primeras fases de desarrollo, pero que se vuelven visibles al crecer. Es posible identificar un maíz contaminado con estos hongos, pues se observa un algodoncillo de colores blancos, amarillos, verde oliva y negros. Además, presenta un olor muy característico a humedad. Estos hongos que crecen en el maíz se encuentran de manera natural en el aire, en la misma planta y hasta en el suelo, pero la mayor parte del tiempo son inocuos, es decir, no causan ningún daño a la salud. La verdadera preocupación surge cuando estos hongos tienen la capacidad de producir sustancias químicas tóxicas, como las denominadas micotoxinas.

LAS MICOTOXINAS

Las micotoxinas son metabolitos secundarios o, mejor dicho, compuestos químicos que producen los hongos cuando dejan de crecer (llegan a una fase estacionaria), con la finalidad de defenderse de cualquier peligro, como la invasión de hongos más fuertes, insectos, falta de alimento o cambios en las condiciones ambientales, entre otros. Uno de los hongos que puede producir micotoxinas es el *Aspergillus flavus*, un hongo caracterizado por su crecimiento en forma de filamentos llamados hifas, que en conjunto integran una estructura llamada micelio. Este hongo se reproduce a través de esporas (Figura 1), que son similares a las semillas, lo que le permite extenderse a una gran cantidad de ubicaciones, como el suelo, el agua, la materia orgánica en descomposición y algunos alimentos, como el maíz y sus derivados.

A. flavus produce una de las micotoxinas de mayor importancia para la salud humana, conocida como “aflatoxina”. Este nombre se deriva de la combinación de “Afla” por *A. flavus* y “toxina” debido a su potente efecto tóxico. Las aflatoxinas son compuestos altamente peligrosos, ya que tienen la capacidad de llegar a las células del cuerpo humano e insertarse en el ADN –la molécula que contiene la información genética de todos los seres vivos–, provocando mutaciones que pueden derivar en el desarrollo de células cancerígenas. Esta capacidad de interacción con el ADN se debe a la estructura particular de las aflatoxinas, la cual es similar a las bases nitrogenadas que conforman el ADN, permitiéndoles ocupar su lugar y desencadenar errores en la reproducción de una célula. El *A. flavus* es capaz de producir principalmente dos tipos de aflatoxinas: la aflatoxina B1 (AFB1) y la aflatoxina B2 (AFB2), siendo la AFB1 la más tóxica. La denominación de estas toxinas como B1 y B2 proviene de sus características fluorescentes bajo luz ultravioleta, donde ambas emiten un brillo azul (“blue” en inglés, de ahí la inicial “B”). Los números 1 y 2 corresponden al orden en el que aparecen en la cromatografía de capa fina, una técnica de separación que utiliza materiales porosos

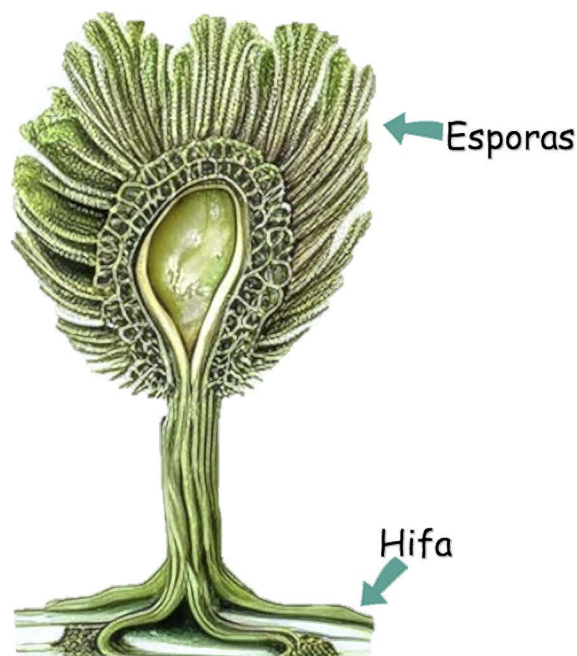


Figura 1. Esquema de la estructura microscópica del hongo *Aspergillus flavus*. Elaboración propia, digitalizada en Krita.

como la sílice; la AFB1 es la primera en aparecer, seguida de la AFB2. Además de las aflatoxinas B, existen otras variantes como la aflatoxina G1 y G2, que brillan en verde (“green”) bajo luz ultravioleta, y las aflatoxinas M1 y M2, denominadas así porque se encontraron inicialmente como metabolitos en la leche (“milk”) de animales que consumieron alimentos contaminados. Estas últimas son productos del metabolismo de las aflatoxinas B en el organismo. Sin embargo, entre todas las aflatoxinas identificadas, la AFB1 destaca por ser la más peligrosa. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) la ha clasificado como un agente cancerígeno del grupo 1, es decir, una sustancia con evidencia suficiente de causar cáncer en humanos (Rushing y Selim, 2019).

EFFECTOS NOCIVOS A LA SALUD PROVOCADOS POR LA AFLATOXINA B1

La aflatoxina B1 es conocida como el mayor agente tóxico producido por la naturaleza, debido a que es capaz de provocar cambios en las células o mutaciones, que desencadenan la generación de células cancerígenas. La principal forma en que una persona

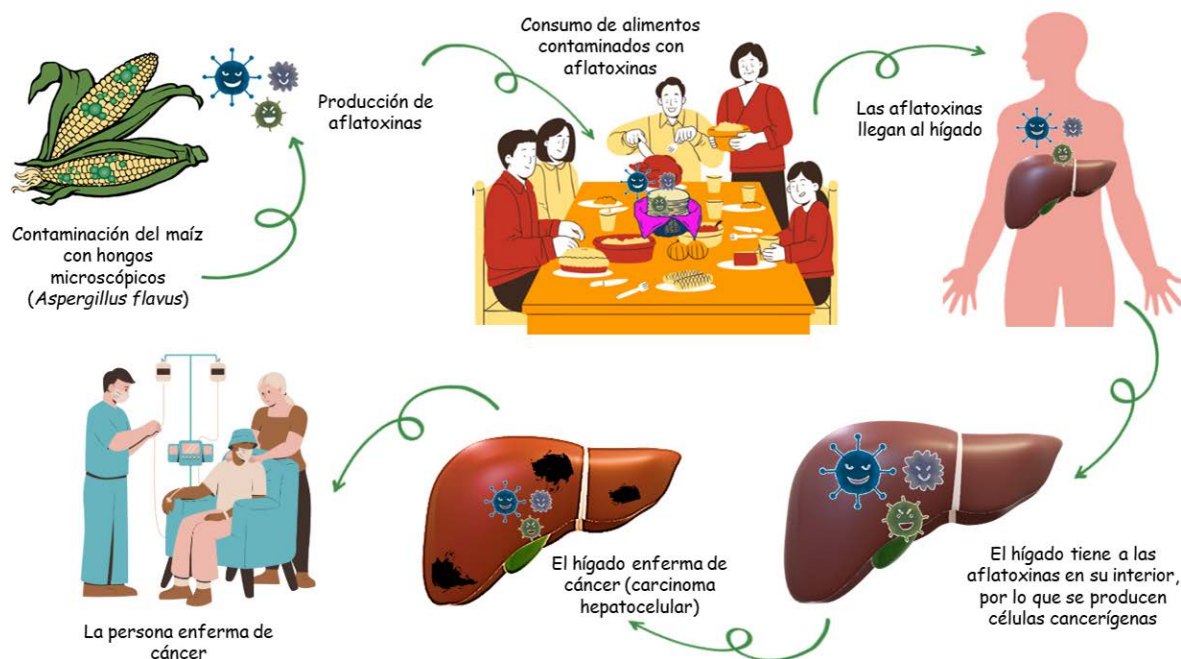


Figura 2. Exposición a las aflatoxinas B1 y la producción de cáncer de hígado. Elaboración propia en Canva.

se expone a la AFB1 es mediante el consumo de alimentos contaminados, como el maíz. Al ser estas toxinas compuestos químicos invisibles para el ojo humano y no aportar ni color, ni sabor, ni olor al alimento, las aflatoxinas B1 ingresan al cuerpo por ingestión y llegan al hígado. En el hígado, un grupo de enzimas (citocromo p450) activa la AFB1, formando un compuesto químico que se puede unir a cualquier molécula que encuentra y se conoce como epóxido. El epóxido de la AFB1 se inserta en el ADN y se une a él, dando origen a un aducto. Los aductos formados son los que interrumpen el proceso normal de una célula, dando origen a las células cancerígenas. Ya que el hígado es el receptor primario de las aflatoxinas B1, las células cancerígenas en él son llamadas carcinoma hepatocelular y, al desarrollarse, la persona enferma. Este proceso se muestra en la Figura 2.

Por otro lado, los efectos tóxicos para la salud humana al consumir aflatoxina B1 se dividen en dos, dependiendo de la forma en que se consumen las toxinas: si es exposición aguda (una gran cantidad de aflatoxina B1 en un solo alimento), los síntomas incluyen náusea, vómito, dolor abdominal, convulsiones, daño hepático que provoca hemorragias,

edema, letargo y muerte; mientras que la exposición crónica (pequeñas cantidades de toxina durante mucho tiempo) provoca el deterioro del sistema inmune, malnutrición, malformación en fetos y, como ya se mencionó, el desarrollo del carcinoma hepatocelular que puede llevar a la muerte.

MARCADORES BIOLÓGICOS POR LA EXPOSICIÓN A LA AFLATOXINA B1

Afortunadamente existen sustancias biológicas que indican la presencia de una enfermedad o de un material que está causando algún tipo de alteración en el cuerpo. A estas sustancias biológicas se les conoce como biomarcadores o marcadores biológicos, y juegan un papel crucial en la detección temprana y el monitoreo de enfermedades. Estos marcadores se encuentran normalmente en fluidos corporales como la sangre, la orina o incluso en tejidos específicos. Los biomarcadores que desarrolla el cuerpo humano al estar expuesto a las aflatoxinas B1 son de dos tipos principales: biomarcadores urinarios y biomarcadores en sangre. Los

biomarcadores urinarios incluyen la misma aflatoxina B1 sin metabolizar y su principal metabolito, la aflatoxina M1, la cual es eliminada a través de la orina. Estos marcadores han sido detectados en estudios de exposición alimentaria, particularmente por el consumo de alimentos contaminados, como nueces y maíz. Por otro lado, los biomarcadores presentes en sangre están representados principalmente por compuestos químicos denominados aductos, que se forman mediante la unión estable de dos moléculas. El principal aducto relacionado con la exposición a aflatoxinas B1 es el AFB1-Lisina, que se genera cuando esta toxina se une al aminoácido lisina, presente en las proteínas del organismo. Otro aducto relevante es el AFB1-Guanina, que resulta de la interacción directa de la aflatoxina B1 con el ADN, y su presencia está estrechamente vinculada al daño genético que puede llevar al desarrollo de cáncer hepático (Rushing y Selim, 2019). A escala mundial, el aducto AFB1-Lisina es el biomarcador más utilizado para evaluar la exposición crónica a aflatoxinas, debido a su estabilidad en el torrente sanguíneo y su relación directa con el riesgo de cáncer hepático. Estos biomarcadores ofrecen una herramienta invaluable para la vigilancia epidemiológica y el diseño de estrategias de intervención en poblaciones expuestas, sobre todo cuando se trata de cáncer hepático.

CÁNCER DE HÍGADO Y AFLATOXINA B1

El carcinoma hepatocelular es el tumor maligno más común en el hígado, y la cirrosis (formación de cicatrices en el tejido hepático) una de las principales causas de su desarrollo. Esta cirrosis ocurre principalmente debido a enfermedades virales como la hepatitis B y C, el alcoholismo, el hígado graso y, por supuesto, la exposición crónica a aflatoxinas B1. El cáncer de hígado es el sexto más frecuente a nivel mundial, causando aproximadamente 740,000 muertes anuales. Aunque la información sobre esta enfermedad es escasa y no siempre está actualizada, se sabe que, en México, el carcinoma hepatocelular

ocupa el noveno lugar entre los tipos de cáncer (Cisneros-Garza *et al.*, 2022), y aunque no hay una cifra específica de las muertes provocadas por esta enfermedad en los últimos años, se sabe que las enfermedades del hígado causaron 40,052 muertes en 2023: 27.6 % mujeres y 72.4 % hombres (INEGI, 2024).

Una vez que se ingiere la aflatoxina B1 y transcurren entre 1 y 2 días, las células normales son expuestas a ella, lo que da paso a un proceso irreversible que se conoce como fase de iniciación. Posteriormente viene el estado de promoción, en el cual las células presentan errores genéticos y mutaciones. Estas células defectuosas se reproducen y se expanden, dañando a las células vecinas, lo que facilita la propagación del tumor. Esta fase de promoción puede extenderse hasta 10 años, culminando en la fase neoplásica, en la que el cáncer puede diseminarse a otras partes del cuerpo en un período de hasta 1 año (Dhandayuthapani *et al.*, 2022). Dado el peligro que representan estas toxinas, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y, con base en los datos epidemiológicos disponibles, ha establecido un límite máximo tolerable de consumo diario de aflatoxina B1, fijado en 1 nanogramo por kilogramo de alimento por cada kilogramo de peso corporal al día (WHO, 2004). Esta regulación es fundamental para prevenir la exposición crónica y reducir el riesgo de desarrollar carcinoma hepatocelular.

EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN MEXICANA

A LAS AFLATOXINAS B1

Aunque el desarrollo de cáncer hepático involucra factores como la edad, el estado de salud, enfermedades crónicas como la obesidad, la diabetes, el alcoholismo y el tabaquismo, el consumo de alimentos contaminados con aflatoxinas como el maíz y sus derivados representa un problema de salud pública importante. Investigaciones recientes indican una exposición crónica significativa a estas toxinas en México. Por ejemplo, Monge y colaboradores (2023) encontraron el aducto AFB1-Lisina en el 91.9 % de las muestras de suero sanguíneo de adultos en cinco estados de México (Chiapas,

Veracruz, Yucatán, Tamaulipas y Campeche). Por su parte, Díaz de León-Martínez y colaboradores (2020) detectaron la presencia de los aductos AFB1-Lisina y AFB1-Guanina en el 100 % de las muestras de sangre analizadas en mujeres indígenas de la Huasteca Potosina. Además, se ha estimado que la población mexicana consume entre 0.7 y 8.2 nanogramos de aflatoxinas por kilogramo de alimento, por cada kilogramo de peso corporal al día. Esto significa que una persona de 70 kg ingiere entre 49 y 574 nanogramos de aflatoxinas diariamente, valores alarmantemente elevados y muy por encima de los recomendados a nivel mundial (Sandoval *et al.*, 2019). Aunque existen más estudios que evidencian la presencia de biomarcadores biológicos asociados a la exposición a la aflatoxina B1, los datos mencionados son suficientes para demostrar la gravedad del problema. Dado el vínculo entre las aflatoxinas y el cáncer hepático, es urgente implementar acciones de control en los alimentos que actúan como fuentes de exposición, con el objetivo de reducir la incidencia de estas toxinas y, en consecuencia, disminuir la prevalencia del cáncer hepático en la población.

MECANISMOS PARA DISMINUIR LA EXPOSICIÓN

A LAS AFLATOXINAS B1

Existe normatividad mexicana respecto a las aflatoxinas, pero es limitada y su aplicación resulta deficiente. Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) consideran únicamente a las aflatoxinas totales, sin una regulación específica para la aflatoxina B1, a pesar de ser esta la más tóxica y carcinogénica. Además, los límites máximos permitidos para aflatoxinas, particularmente en el maíz y sus derivados (12 µg/kg), superan significativamente los establecidos en normativas internacionales, como la que dicta la Unión Europea (4 µg/kg). Esta falta de rigurosidad en la normatividad se origina, en gran parte, por el desconocimiento general de la población sobre los riesgos asociados a estas toxinas, lo que lleva a una falta de exigencia en la oferta de alimentos seguros. Sin embargo, la comunidad científica ha realizado importantes esfuerzos para monitorear

la presencia de aflatoxinas y proponer soluciones efectivas para su control. Entre estas propuestas se encuentran métodos de procesamiento de alimentos que reducen la presencia de aflatoxinas B1. Por ejemplo, se ha documentado el uso de la extrusión como un proceso efectivo para la elaboración de tortillas, logrando una disminución significativa de la contaminación (Elias-Orozco *et al.*, 2002). De igual forma, la aplicación de radiación infrarroja ha mostrado ser una técnica prometedora para la reducción de estas toxinas en productos a base de maíz (Zavala-Franco *et al.*, 2020). Estos avances representan alternativas viables para mejorar la seguridad alimentaria en el país, aunque aún se enfrentan desafíos relacionados con la falta de normatividad específica y el escaso conocimiento del problema en la cadena de producción y consumo de alimentos.

CONCLUSIÓN

La aflatoxina B1 representa una amenaza significativa para la salud pública en México, especialmente debido a su relación directa con el desarrollo de cáncer hepático. A pesar de la existencia de normativas, estas son insuficientes para controlar eficazmente la exposición a esta micotoxina. La evidencia científica ha identificado marcadores biológicos en la población mexicana expuesta, como la presencia de aductos de AFB1-Lisina y AFB1-Guanina, lo que confirma el impacto real de esta toxina en la salud hepática. Por ello, es fundamental fortalecer la normatividad, promover el conocimiento sobre estos riesgos y fomentar la adopción de métodos de procesamiento seguros para minimizar la exposición a aflatoxinas B1 en la dieta diaria.

AGRADECIMIENTO

Se agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca posdoctoral otorgada a la doctora Anai Zavala Franco (CVU 509892).



© Raúl Chiquito. Zapotecas, Tecajete y Sierra Nevada. Primera bajada de la Virgen de los Remedios a Tlaxcalancingo.

REFERENCIAS

- WHO (2004). *Evaluation of certain food additives and contaminants: sixty-first report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives* (Vol. 61). World Health Organization.
- Cisneros-Garza LE, González-Huezo MS, Moctezuma-Velázquez C et al. (2022). Il Consenso Mexicano de Carcinoma Hepatocelular. Parte I: Epidemiología y diagnóstico. *Revista de Gastroenterología de México* 87:216-234.
- Dhandayuthapani S, Chidambaram A, Thekkumalai M and Batra J. (2022). A narrative review on etiology and mechanism of aflatoxin B1 in the induction of hepatocellular carcinoma. *Journal of Pharmaceutical Negative Results* Vol. 13.
- Díaz de León-Martínez L, Rodríguez-Aguilar M, Wong-Arce A et al. (2020). Evaluation of acute and chronic exposure to aflatoxin B1 in indigenous women of the Huasteca Potosina, Mexico. *Environmental Science and Pollution Research* 27:30583-30591.
- Elias-Orozco R, Castellanos-Nava A, Gaytán-Martínez M et al. (2002). Comparison of nixtamalization and extrusion processes for a reduction in aflatoxin content. *Food Additives & Contaminants* 19:878-885.
- INEGI (2024). *Estadísticas de defunciones registradas (EDR) 2023. Comunicado de prensa número 661/24*. Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2024/EDR/EDR2023_Dtivas.pdf.
- Monge A, Romero M, Groopman JD et al. (2023). Aflatoxin exposure in adults in southern and eastern Mexico in 2018: A descriptive study. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 253:114249.
- Rushing BR and Selim MI. (2019). Aflatoxin B1: A review on metabolism, toxicity, occurrence in food, occupational exposure, and detoxification methods. *Food and Chemical Toxicology* 124:81-100.
- Sandoval IG, Wesseling S and Rietjens CM. (2019). Aflatoxin B1 in nixtamalized maize in Mexico; occurrence and accompanying risk assessment. *Toxicology Reports* 6:1135-1142.
- Zavala-Franco A, Arámbula-Villa G, Ramírez-Noguera P et al. (2020). Aflatoxin detoxification in tortillas using an infrared radiation thermo-alkaline process: Cytotoxic and genotoxic evaluation. *Food Control* 112:107084.

Anai Zavala Franco
Marcela Gaytán Martínez
Facultad de Química
Universidad Autónoma de Querétaro
anai.zavala.f@gmail.com

Resistencia antimicrobiana en aguas residuales

Maricela **Guerrero Suárez**
María Elena **Velázquez Meza**

Todos los organismos vivos necesitan agua para realizar procesos celulares necesarios para la supervivencia. Cada vez hay menos disponibilidad de agua apta para el consumo humano debido al constante incremento de la población, a la contaminación de los cuerpos acuáticos, su uso excesivo y el calentamiento global, entre otros factores. Este consumo implica el uso del agua para ser ingerida y el uso del líquido para la producción de comida, energía y otros servicios.

El acceso al agua potable en los hogares, centros de atención a la salud, lugares de trabajo y escuelas reduce de manera efectiva la mortalidad causada por enfermedades transmitidas por el agua. De acuerdo con datos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), alrededor del 26 % de la población a nivel mundial no tiene acceso a agua potable, lo que equivale a dos mil millones de personas en todo el mundo.

Por otro lado, el agua utilizada para las diferentes actividades antropogénicas siempre genera aguas residuales que resultan contaminadas por el mismo uso. A escala mundial, 3.6 mil millones de personas (46 %) carece de servicios sanitarios, y el 44 % de las aguas residuales generadas por las actividades antropogénicas tiene un tratamiento pobre o nulo, lo que hace que estas aguas lleguen contaminadas a diferentes ambientes acuáticos y terrestres,

generando con ello un riesgo significativo para la salud humana, animal y ambiental (UN-Water, 2021).

RESISTENCIA ANTIMICROBIANA

El descubrimiento de los antibióticos ha permitido salvar muchas vidas; sin embargo, el mal uso y el abuso de estos han favorecido la selección de bacterias resistentes a antibióticos (BRA) y de genes de resistencia antimicrobiana (GRA). Esta problemática se ha agravado con el paso del tiempo y actualmente se ha convertido en un problema importante de salud pública que ha escalado a nivel mundial, provocando altas tasas de morbilidad y mortalidad, así como costos millonarios para la atención de las enfermedades provocadas por BRA. De acuerdo con datos estimados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), ocurren más de 700,000 muertes al año causadas por BRA; esta cifra podría aumentar hasta 10 millones de muertes por año para el 2050 si no se generan estrategias para combatir la resistencia antimicrobiana (RAM). El impacto económico mundial para financiar las medidas de contención de la RAM se estima en aproximadamente 9,000 millones de dólares por año, y esta cifra aumentará si no se toman medidas preventivas. En la actualidad, la problemática de la RAM debe ser abordada a través del enfoque de “Una salud”, el cual promueve una interrelación entre la salud humana, la salud animal y la salud ambiental, teniendo en cuenta que la afectación a cualquiera de estos tres ámbitos tiene una repercusión directa en los otros dos.

El concepto de “Una salud” fue creado en la década de 2000, en un esfuerzo tripartita entre la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) y la OMS, con la finalidad de desarrollar un marco de trabajo que implementaría un enfoque interdisciplinario para desarrollar políticas encaminadas a entender y prevenir enfermedades. Uno de los retos de este enfoque, en cuanto a la RAM, es la vigilancia temprana de estos tres sectores (humano, animal y ambiental). En el sector ambiental se

encuentran de manera importante los ecosistemas acuáticos, dentro de los que se incluye la vigilancia de la RAM en aguas residuales (Interagency Coordination Group on Antimicrobial Resistance, 2019; Velazquez-Meza *et al.*, 2022).

AGUAS RESIDUALES Y RESISTENCIA ANTIMICROBIANA

Las aguas que provienen de distintos entornos hospitalarios, urbanos, agrícolas, industriales, ganaderos, avícolas, piscícolas, entre otros, convergen en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Las aguas residuales contienen contaminantes de distintos tipos como detergentes, metales pesados, trazas de antibióticos, desinfectantes, BRA y GRA; para disminuir la carga de estos contaminantes, las PTAR cuentan con diferentes procesos de tratamiento (pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario). Estos sistemas pueden variar dependiendo de la infraestructura de cada PTAR. Las PTAR tienen el objetivo de disminuir la carga de contaminantes presentes en las aguas residuales, reduciendo con ello los riesgos para la salud humana, animal y ambiental. A pesar de estos sistemas de tratamiento, las BRA, sus GRA y otros determinantes de resistencia logran salir al ambiente a través de las aguas residuales tratadas, lo que representa un problema de salud pública importante que requiere atención (Figura 1).

Las condiciones generadas en las aguas residuales y dentro de las PTAR promueven la adquisición de GRA mediante transferencia horizontal de genes entre bacterias de la misma especie o incluso entre bacterias de géneros diferentes. Este tipo de genes se encuentran mayormente ubicados en elementos genéticos móviles (EGM), casetes cromosómicos, bacteriófagos, plásmidos y transposones.

La vigilancia de la carga antimicrobiana de las aguas residuales crudas y tratadas resulta importante para conocer la eficacia de los sistemas de tratamiento de las PTAR, además de que permite conocer qué tipo de bacterias salen de las PTAR y el riesgo que esto conlleva cuando el agua tratada alcanza los distintos ecosistemas (Galarde-López *et al.*, 2024; Velazquez-Meza *et al.*, 2024). Los estudios

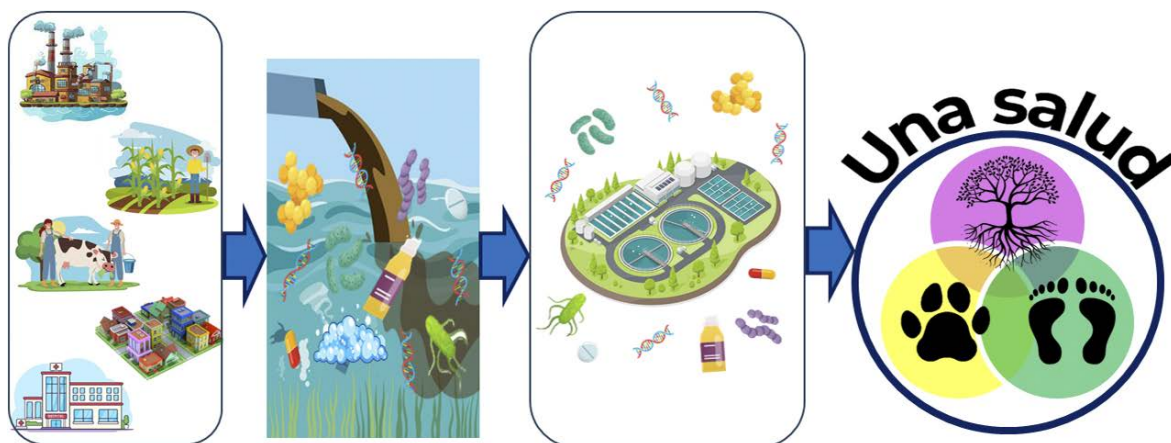


Figura 1. Representación esquemática de la diseminación de la RAM a través de las aguas residuales provenientes de diversas actividades antropogénicas y su repercusión en la salud humana, animal y ambiental.

de la RAM en aguas residuales han sido propuestos como un modelo de vigilancia temprana de la RAM debido a que este tipo de aguas se consideran puntos calientes para la adquisición y diseminación de GRA al medio ambiente. En los últimos años se han generado diversos trabajos que abordan este tema; a continuación, se describen brevemente los hallazgos más sobresalientes.

Existen múltiples estudios alrededor del mundo en los que se analizan aguas residuales para conocer el contenido bacteriano y los GRA presentes en estos entornos. En el artículo de revisión realizado por La Rosa y colaboradores, publicado en 2025, refiere un estudio realizado en 2019 en Croacia, en el que se encontró que la abundancia relativa de GRA fue mayor en las aguas residuales farmacéuticas, mientras que la riqueza de GRA fue mayor en las aguas residuales municipales (La Rosa *et al.*, 2025). Esta revisión también documenta la presencia de enterobacterias resistentes a fosfomicina mediada por los genes *fosA3* y *fosA4* en aguas residuales hospitalarias y comunitarias. Otro trabajo citado en esta revisión reportó la presencia de *Acinetobacter baumannii* resistente a carbapenémicos en aislamientos clínicos y en aguas residuales hospitalarias crudas y tratadas, lo que demuestra el potencial que tienen las aguas residuales hospitalarias para la diseminación de BRA. Estudios más recientes incluidos en esta revisión reportan GRA que codifican para carbapenémicos, fluoroquinolonas y

aminoglucósidos en aguas residuales (Brasil, 2024). En otro estudio mencionado en la revisión se ha reportado la presencia de bacterias productoras de betalactamasas de espectro extendido en ríos y aguas residuales de origen farmacéutico, hospitalario y municipal en Nepal. También se refiere otro trabajo realizado en Italia (2024), donde se comparó la abundancia de GRA en aguas superficiales y aguas residuales tratadas, y se encontró mayor diversidad de GRA en el agua residual (La Rosa *et al.*, 2025).

En México, este tipo de estudios ha sido abordado de manera muy reciente. El primer artículo sobre RAM en aguas residuales hospitalarias en México, publicado en 2022, mostró la presencia y persistencia de cepas de *Klebsiella pneumoniae* resistentes a carbapenémicos y a otros grupos de antimicrobianos (Galarde-López *et al.*, 2022a). Otro reporte en México (2022) detectó en aguas residuales hospitalarias aislamientos de *E. coli*, *Acinetobacter* spp. y *Enterobacter* spp. resistentes a cefalosporinas y otros grupos de antimicrobianos (Galarde-López *et al.*, 2022b).

En 2024 se realizó un estudio en aguas residuales hospitalarias y comunitarias, detectando la presencia de aislamientos multirresistentes de *Staphylococcus* spp. y *Enterococcus* spp., 17 % y 38 %, respectivamente (Velazquez-Meza *et al.*, 2024).



© Raúl Chiquito. *Vendiendo leña*. Vendedores de leña de la región del Tentzo.

La presencia y persistencia de bacterias del grupo ESKAPEE y sus GRA fueron detectadas en aguas residuales hospitalarias en México; en este trabajo se encontraron un total de 172 GRA; los más abundantes y persistentes fueron aquellos que codifican para resistencia a aminoglucósidos, betalactámicos, macrólidos, tetraciclinas, sulfonamidas, lincosamidas y glucopéptidos (Galarde-López *et al.*, 2024).

Urzúa *et al.*, en 2024, realizó un estudio de aguas residuales de origen comunitario, industrial y hospitalario, donde se aislaron Enterobacterales y otros bacilos Gram negativos resistentes a diversos antimicrobianos, incluyendo los carbapenémicos.

Recientemente, Velazquez *et al.*, 2025, realizó un estudio metagenómico en aguas residuales comunitarias y hospitalarias, donde describió la abundancia de las poblaciones bacterianas, la abundancia de GRA y plásmidos que portan GRA, evidenciando que los GRA más abundantes fueron aquellos que

codifican para antibióticos considerados de última elección (Velazquez-Meza *et al.*, 2025).

CONCLUSIONES

La RAM es un fenómeno creciente que representa un problema de salud pública importante en todo el mundo.

© Raúl Chiquito. *Cuaterros y tienda*. Bandoleros pasando por la calle central de Tlaxcalancingo.





© Raúl Chiquito. Llegando a Contlantzinco. Llegada de Alonso Galiote a Tlaxcalancingo.



© Raúl Chiquito. Dinero para el santuario de Cholula. Esteban Tocatl derramando dinero para la reconstrucción del santuario de la Virgen de los Remedios de Cholula en el siglo XIX.

Este problema abarca los tres ámbitos incluidos en el concepto de Una Salud: la RAM en la salud humana, animal y ambiental, siendo probablemente la RAM en salud ambiental la menos explorada. Es por ello que los estudios de RAM en aguas residuales podrían ser un modelo de vigilancia temprana que permita detectar el surgimiento y diseminación de BRA y sus determinantes de resistencia, como sus GRA, plásmidos y fagos portadores de GRA, evidencia necesaria para generar políticas públicas encaminadas a regular las descargas de aguas residuales más allá de la detección de coliformes totales y fecales, así como impulsar la implementación de sistemas de tratamiento más eficaces en las PTAR.

REFERENCIAS

- Galarde-López M, Velazquez-Meza ME, Bobadilla-del-Valle M *et al.* (2022a). Surveillance of antimicrobial resistance in hospital wastewater: Identification of carbapenemase-producing *Klebsiella* spp. *Antibiotics* 11(3):288.
- Galarde-López M, Velazquez-Meza ME, Bobadilla-del-Valle M *et al.* (2022b). Antimicrobial resistance patterns and clonal distribution of *E. coli*, *Enterobacter* spp. and *Acinetobacter* spp. strains isolated from two hospital wastewater plants. *Antibiotics* 11(5):1-9.
- Galarde-López M, Velazquez-Meza ME, Godoy-Lozano EE *et al.* (2024). Presence and persistence of ESKAPEE bacteria before and after hospital wastewater treatment. *Microorganisms* 12(6):1231.
- Interagency Coordination Group on Antimicrobial Resistance (2019). *No time to wait: Securing the future from drug-resistant infections*. World Health Organization. Recuperado de: <https://www.who.int/publications/i/item/no-time-to-wait-securing-the-future-from-drug-resistant-infections>.

La Rosa MC, Maugeri A, Favara G *et al.* (2025). The impact of waste water on antimicrobial resistance: A scoping review of transmission pathways and contributing factors. *Antibiotics* 14(2):1-29.

UN-Water (2021). *Summary progress update 2021: SDG 6-Water and sanitation for all*. Recuperado de: <https://www.unwater.org/new-data-on-global-progress-towards-ensuring-water-and-sanitation-for-all-by-2030/>.

Urzua-Abad MM, Aquino-Andrade A, Castelan-Vega JA *et al.* (2024). Detection of carbapenemases in Enterobacterales and other Gram-negative bacilli recovered from hospital and municipal wastewater in Mexico City. *Scientific Reports* 14(1):26576.

Velazquez-Meza ME, Galarde-López M, Carrillo-Quiróz BA y Alpuche-Aranda CM (2022). Antimicrobial resistance: One health approach. *Veterinary World* 15(3):743-749.

Velazquez-Meza ME, Galarde-López M, Cornejo-Juárez P *et al.* (2024). Multidrug-resistant *Staphylococcus* sp. and *Enterococcus* sp. in municipal and hospital wastewater: A longitudinal study. *Microorganisms* 12(645):1-15.

Velazquez-Meza ME, Galarde-López M, Cornejo-Juárez P *et al.* (2025). Bacterial communities and resistance and virulence genes in hospital and community wastewater: Metagenomic analysis. *International Journal of Molecular Sciences* 26(2051):1-20.

Maricela Guerrero Suárez
Centro de Investigación sobre
Enfermedades Infecciosas
Instituto Nacional de Salud Pública
Centro de Investigación en Biotecnología
Universidad Autónoma del Estado de Morelos

María Elena Velázquez Meza
Centro de Investigación sobre
Enfermedades Infecciosas
Instituto Nacional de Salud Pública
mevelaz@insp.mx



© Raúl Chiquito. *Tirando dinero*. Don Esteban tirando dinero en el camino a México.

¿Los arbovirus infectan solamente a los humanos?

Itandehui **Hernández-Aguilar**
Antonio **Santos-Moreno**

Podríamos pensar que algunas enfermedades son exclusivas del ser humano, pero ¿te has preguntado si la fiebre del dengue, zika, chikungunya o fiebre amarilla solo afecta a la población humana? En las siguientes líneas daremos respuesta a esta pregunta.

Los arbovirus son un conjunto de virus transmitidos por artrópodos como mosquitos y garrapatas, y son un grupo taxonómicamente heterogéneo que incluye más de 500 especies agrupadas en las familias *Togaviridae* y *Flaviviridae*. De estos, aproximadamente 150 causan enfermedad en el ser humano (Arredondo-García *et al.*, 2016). Estos virus tienen una distribución mundial, aunque ocurren con mayor frecuencia en las zonas tropicales y subtropicales, es decir, aquellas ubicadas entre el ecuador y los 40° de latitud. Es precisamente en estas áreas geográficas donde las condiciones climáticas, como la temperatura y precipitaciones, muestran una relación positiva con un aumento en la abundancia de los insectos que los transmiten, técnicamente denominados vectores (Bhatt *et al.*, 2013).

LAS ENFERMEDADES VIRALES QUE TRANSMITEN

LOS MOSQUITOS Y SUS SÍNTOMAS

Entre las enfermedades causadas por arbovirus transmitidas por mosquitos (principalmente de los géneros *Aedes*

y *Haemagogus*) se encuentran el dengue, zika, chikungunya y la fiebre amarilla, que son las de mayor impacto en la salud mundial. Existe una amplia variedad de otras enfermedades causadas por arbovirus, menos frecuentes y que también son transmitidas por mosquitos, por ejemplo, la encefalitis de San Luis, fiebre del Nilo Occidental, encefalitis japonesa, encefalomielitis equina del Este y encefalitis equina venezolana. Por otra parte, entre los virus transmitidos por garrapatas se encuentran el virus de la fiebre hemorrágica Crimea-Congo, virus de la selva de Kyanasur y Tribec (Arredondo-García *et al.*, 2016).

Las enfermedades provocadas por los arbovirus tienen en común varios síntomas, entre los que se encuentran fiebre, dolor de articulaciones, salpullido, náuseas, vómitos, dolor muscular y encefalitis (inflamación del cerebro y sistema nervioso central). En ocasiones, como en el dengue y la fiebre amarilla, la fiebre puede evolucionar a hemorrágica con presencia de sangrado de diferentes órganos, disminución de glóbulos blancos en la sangre e incapacidad de coagulación, que puede incluso culminar con la muerte de las personas. De todas las enfermedades causadas por arbovirus, la fiebre del dengue es la de mayor incidencia en la salud pública mundial. De acuerdo con datos de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2025), en el año 2023 se registraron un total de 4,595,358 casos en el continente americano (9,198 fueron graves o hemorrágicos y 2,467 personas fallecieron). Sin embargo, algo alarmante es que en 2024 esta cifra se triplicó (13,070,675 casos). Los casos se concentraron principalmente en Brasil, Argentina, México, Colombia, Paraguay y Perú.

Otros arbovirus como el chikungunya y el zika también representan un foco de atención en la salud pública, debido al alto número de casos en personas en el continente americano (316,836 de chikungunya y 24,570 de zika). El incremento y expansión de estas enfermedades se debe en gran parte al control fallido de los mosquitos, el crecimiento poblacional acelerado y los cambios en los ecosistemas naturales.

RESPONDIENDO A LA PREGUNTA...

Varios de los arbovirus, como los causantes del dengue, zika, chikungunya y fiebre amarilla, inicialmente se detectaron en primates no humanos de África y Asia. Posteriormente, fueron transmitidos por picaduras de mosquitos a las poblaciones humanas. Actualmente se sabe que los arbovirus circulan en el ambiente en dos ciclos de transmisión: uno urbano entre humanos y mosquitos, y uno silvestre (también llamado selvático), donde los mosquitos transmiten los arbovirus a otros animales como primates no humanos, roedores, marsupiales y murciélagos (Olival *et al.*, 2017). A continuación, mencionaremos a los animales domésticos y silvestres que pueden infectarse por cuatro arbovirus de importancia en la salud pública.

Virus del dengue. Se sabe que hay un ciclo silvestre bien establecido en África y Asia entre mosquitos y primates no humanos. Sin embargo, se ha encontrado que otros animales domésticos y silvestres también pueden infectarse por este virus en diversas partes del mundo. Entre ellos destacan los murciélagos, marsupiales, roedores, bóvidos, perros y aves (Tabla 1). Además, Abundes-Gallegos y colaboradores (2018) descubrieron que las moscas que parasitan al murciélago vampiro común, *Desmodus rotundus*, también pueden estar infectadas con el virus del dengue; se desconoce el papel que pudieran tener en la transmisión debido a que son los únicos registros que se conocen hasta 2025.

Virus del zika. Se detectó originalmente en monos Rhesus (*Macaca mulatta*) en Uganda en 1947 y, posteriormente, en la década de 1950 se registró en seres humanos en otros países africanos. También se han detectado anticuerpos contra este virus en otros primates como orangutanes en Malasia. Esto indica que los orangutanes estuvieron infectados por el virus del zika en el pasado y por ello generaron anticuerpos. Un hallazgo reciente e importante es el que registraron investigadores de la Universidad Autónoma de Yucatán, México, al encontrar los primeros animales silvestres, distintos de primates, infectados naturalmente con el virus del zika. Se trata de dos murciélagos frugívoros

Nombre común	Nombre científico	Presencia de anticuerpos	Presencia de ARN viral
Murciélagos			
Murciélago	<i>Artibeus cinereus</i>		x
Murciélago	<i>Artibeus jamaicensis</i>	x	x
Murciélago	<i>Artibeus lituratus</i>	x	x
Murciélago	<i>Artibeus planirostris</i>	x	x
Murciélago	<i>Balantiopteryx plicata</i>	x	
Murciélago	<i>Carollia brevicauda</i>		x
Murciélago	<i>Carollia perspicillata</i>		x
Murciélago	<i>Desmodus rotundus</i>		x
Murciélago	<i>Eumops glaucinus</i>		x
Murciélago	<i>Glossophaga soricina</i>	x	x
Murciélago	<i>Molossus pretiosus</i>	x	x
Murciélago	<i>Molossus rufus</i>	x	x
Murciélago	<i>Molossus sinaloe</i>	x	x
Murciélago	<i>Myotis nigricans</i>	x	x
Murciélago	<i>Natalus stramineus</i>	x	
Murciélago	<i>Phyllostomus discolor</i>		x
Murciélago	<i>Phyllostomus elongatus</i>		x
Murciélago	<i>Platyrrhinus helleri</i>		x
Murciélago	<i>Pteronotus parnellii</i>	x	
Zorro volador	<i>Pteropus gouldi</i>	x	
Zorro volador	<i>Pteropus scapulatus</i>	x	
Murciélago	<i>Rhogeessa bickhami</i>	x	x
Murciélago	<i>Rhogeessa io</i>	x	
Murciélago	<i>Sturnira erythromos</i>	x	
Murciélago	<i>Sturnira lilium</i>	x	
Murciélago	<i>Sturnira parvidens</i>		x
Murciélago	<i>Tadarida brasiliensis</i>	x	
Marsupiales			
Zarigüeya	<i>Caluromys philander</i>		x
Comadreja	<i>Micoureus demerarae</i>		x
Tlacuache	<i>Didelphis marsupialis</i>		x
Marmosa	<i>Marmosops parvidens</i>		x
Marmosa	<i>Marmosa murina</i>		x
Tlacuache	<i>Philander opossum</i>		
Tlacuache	<i>Metachirus nudicaudatus</i>	x	
Canguros y Ualabis			
Canguro	<i>Macropus major</i>	x	
Canguro	<i>Macropus rufus</i>	x	
Ualabí	<i>Wallabia rufogriseus</i>	x	
Ualabí	<i>Wallabia elegans</i>	x	

Tabla 1. Animales con registros de infección pasada (anticuerpos) y activa (ARN viral) por el virus del dengue.

Nombre común	Nombre científico	Presencia de anticuerpos	Presencia de ARN viral
Roedores			
Rata	<i>Mesomys hispidus</i>		x
Ratón	<i>Oecomys spp.</i>		x
Rata	<i>Oryzomys megacephalus</i>		x
Rata	<i>Proechimys cayennensis</i>		x
Ratón	<i>Zygodontomys brevicauda</i>		x
Rata	<i>Proechimys cuvieri</i>		x
Agutí	<i>Dasyprocta leporina</i>		x
Puercoespín	<i>Coendou spp.</i>	x	
Ratón	<i>Mus Musculus</i>	x	
Rata	<i>Rattus rattus</i>	x	
Musarañas			
Musaraña	<i>Suncus murinus</i>	x	
Armadillos			
Armadillo	<i>Dasybus spp.</i>	x	
Venados y sus parientes			
Temazate	<i>Mazama spp.</i>	x	
Búfalo	<i>Syncerus caffer nanus</i>	x	
Carnívoros			
Perro doméstico	<i>Canis lupus familiaris</i>		x
Loros, pericos y guacamayas			
Cacatúa	<i>Cacatua galerita</i>	x	
Patos, gansos y cisnes			
Pato	<i>Anas superciliosa</i>	x	
Playeros, gaviotas y parientes			
Gaviota	<i>Larus novaehollandie</i>	x	
Playero	<i>Callidris acuminata</i>	x	
Playero	<i>Heteroscelus brevipes</i>	x	

Tabla 1 (continuación). Animales con registros de infección pasada (anticuerpos) y activa (ARN viral) por el virus del dengue.

de la especie *Artibeus jamaicensis* en los que se detectó ARN viral del Zika (Torres-Castro *et al.*, 2021). Este hallazgo es importante debido a que anteriormente se habían realizado experimentos en laboratorio para medir la susceptibilidad a la infección por el virus del zika en algunas especies de murciélagos frugívoros como *Eidolon helvum*, *Rousettus aegyptiacus*, *Mops condylurus*, y *Epomophorus angolensis*, pero no se habían encontrado otros animales silvestres infectados por este virus.

Nombre común	Nombre científico
Perezoso	<i>Choloepus didactylus</i>
Perezoso	<i>Bradypus tridactylus</i>
Oso hormiguero	<i>Tamandua tetradactyla</i>
Agutí	<i>Dasyprocta leporina</i>
Puercoespín	<i>Coendou spp.</i>
Tayra o viejo de monte	<i>Eira barbara</i>
Pecarí	<i>Tayassu tajacu</i>

Tabla 2. Mamíferos con presencia de anticuerpos contra el virus de la fiebre amarilla de acuerdo con De Thoisy y colaboradores (2004).



© Raúl Chiquito. Arar la tierra. Yunta de bueyes arando la tierra.



© Raúl Chiquito. Carita de barro. Hallando caritas de barro en los terrenos.

Virus de la fiebre amarilla. Se sabe que hay un ciclo silvestre de transmisión entre primates no humanos y mosquitos en el continente americano, principalmente en la Amazonia, que afecta a distintos tipos de monos como los aulladores, araña, ardilla y capuchinos. A principios de la década del 2000, se encontraron, mediante estudios de serología anticuerpos en muestras de animales distintos de los primates. Destaca el trabajo realizado por De Thoisy y colaboradores (2004) en la Guyana Francesa, donde reportan anticuerpos contra el virus de la fiebre amarilla en siete especies de mamíferos (Tabla 2). Lo anterior sugiere que esos mamíferos tuvieron una infección activa de fiebre amarilla y generaron anticuerpos. Sin embargo, lo anterior no significa que estas especies tengan la capacidad de transmitir el virus a otras especies.

Virus del Nilo Occidental. Este virus se mantiene en la naturaleza en un ciclo de transmisión que incluye aves (cuervos y palomas) y mosquitos del género *Culex*. Además, hay reportes de presencia de anticuerpos en animales domésticos como caballos (*Equus caballus*) y silvestres como murciélagos, en los que generalmente produce síntomas graves. Entre los murciélagos destacan los murciélagos frugívoros etíope (*Epomophorus labiatus*) y africano pajizo (*Eidolon helvum*). Además, recientemente, un equipo de investigadores de la Universidad Autónoma de Yucatán, México, también confirmó con técnicas moleculares la presencia de ARN de este arbovirus en siete muestras del murciélago frutero de Jamaica (Torres-Castro *et al.*, 2021).

ALGUNOS DILEMAS

Como hemos visto hasta ahora, los arbovirus no infectan solamente al ser humano, sino que pueden llegar

a través de los mosquitos a una amplia diversidad de animales domésticos y silvestres. No es claro todavía si los animales que llegan a infectarse por algún arbovirus presentan los mismos síntomas que los seres humanos, porque muchas veces no se observan síntomas clínicos evidentes en los animales. Sin embargo, se ha observado en experimentos de laboratorio que los murciélagos a los que se inoculó con el virus del zika y el dengue, y que después fueron sacrificados y revisados, desarrollaron hematomas (acumulación de sangre) en el pecho y la piel de las alas, sangrado en los pulmones, el hígado, estómago, vejiga e intestino, necrosis o muerte de células en el corazón, e inflamación de las glándulas salivales. Hasta ahora no sabemos si esta respuesta observada en animales de laboratorio también ocurre en la naturaleza, y si lo que ocurre en los murciélagos también es consistente con lo que sucede en otros grupos de mamíferos. Además de esto, actualmente también se investiga si los arbovirus pueden mantenerse, replicarse e incluso transmitirse entre las poblaciones de estos animales infectados, por lo que aún queda mucha investigación por realizar en el campo de los animales y sus virus.

RECOMENDACIONES

La mejor forma de prevenir las enfermedades causadas por arbovirus es eliminar los criaderos de mosquitos que los transmiten. Para ello, se debe evitar el almacenamiento de agua en recipientes en desuso como latas, botellas, llantas y bolsas. Si son recipientes de uso frecuente, se les puede colocar boca abajo o hacer recambio de agua cada tres días. El enfoque de “Una Sola Salud” (*One Health*) es crucial para abordar



© Raúl Chiquito. *Agua Agria*. Manantial al pie del promontorio Axocotzin.

el problema de los arbovirus, ya que, como se ha visto a lo largo de este artículo, estos virus transmitidos por mosquitos, afectan a seres humanos, animales domésticos y silvestres. Además, estas afectaciones están relacionadas directamente con los cambios en los ecosistemas, como la deforestación y el cambio climático, que pueden influir en el incremento del número y distribución de los mosquitos vectores. Este enfoque es necesario para promover una respuesta integral que proteja la salud de las personas, los animales y el medio ambiente.

Finalmente, tal como ha sido sugerido por otros autores como Aguilar-Setién y colaboradores (2022), recomendamos que, en la medida de lo posible, las personas que entren en contacto con animales silvestres utilicen medidas de bioseguridad como uso de guantes de nitrilo, cubrebocas KN95, botas de plástico y anteojos transparentes con cobertura total en el área de los ojos, con el fin de proteger y prevenir la transmisión de otros virus (i.e., coronavirus) hacia los animales silvestres y viceversa.

REFERENCIAS

Abundes-Gallegos J, Salas-Rojas M, Galvez-Romero G *et al.* (2018). Detection of dengue virus in bat flies (Diptera: Streblidae) of common

vampire bats, *Desmodus rotundus*, in Progreso, Hidalgo, Mexico. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 18(1):70-73.

Aguilar-Setién A, Romero-Almaraz ML, Sánchez-Hernández C *et al.* (2008). Dengue virus in Mexican bats. *Epidemiology & Infection* 136(12):1678-1683.

Aguilar-Setién A, Aréchiga-Ceballos N, Balsamo GA *et al.* (2022). Biosafety practices when working with bats: a guide to field research considerations. *Applied Biosafety* 27(3):169-190.

Arredondo-García JL, Méndez-Herrera A y Medina-Cortina H (2016). Arbovirus en Latinoamérica. *Acta Pediátrica de México* 37(2):111-131.

Bhatt S, Gething PW, Brady OJ *et al.* (2013). The global distribution and burden of dengue. *Nature* 496(7446):504-507.

De Thoisy B, Dussart P and Kazanji M (2004). Wild terrestrial rainforest mammals as potential reservoirs for flaviviruses (yellow fever, dengue 2 and St Louis encephalitis viruses) in French Guiana. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 98(7):409-412.

Gwee SXW, St John AL, Gray GC and Pang J (2021). Animals as potential reservoirs for dengue transmission: A systematic review. *One Health* 12:100216.

Olival KJ, Hosseini PR, Zambrana-Torrel C *et al.* (2017). Host and viral traits predict zoonotic spillover from mammals. *Nature* 546(7660):646-650.

Organización Panamericana de Salud (OPS) (2025). Arboviral Diseases Portal. Recuperado de <https://www.paho.org/en/arbo-portal/dengue-data-and-analysis/dengue-analysis-country>.

Torres-Castro M, Noh-Pech H, Hernández-Betancourt S *et al.* (2021). West Nile and Zika viruses in bats from a suburban area of Merida, Yucatan, Mexico. *Zoonoses and Public Health* 68(7):834-841.

Itandehui Hernández-Aguilar
Antonio Santos-Moreno
Centro Interdisciplinario de Investigación para el
Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca
Instituto Politécnico Nacional
itandehui0901@gmail.com

Aplicaciones biomédicas de las nanopartículas de plata

Leticia **Lozada-Rodríguez**

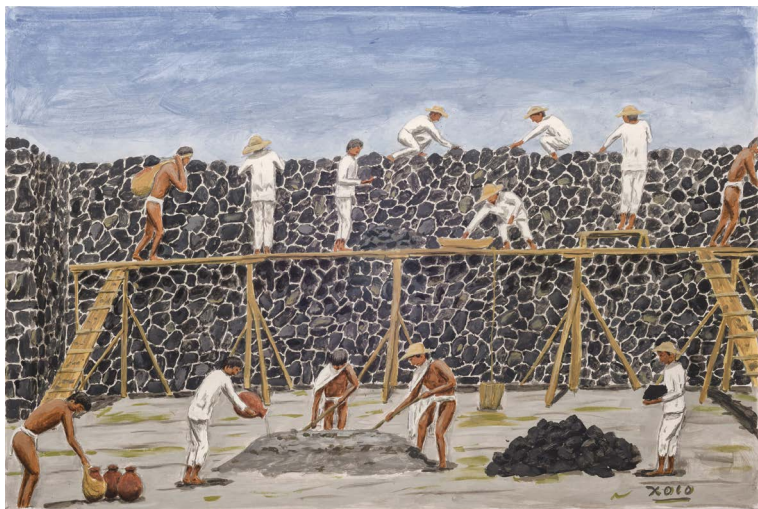
Quizá el término “nanopartículas de plata” no nos sea muy familiar, sin embargo, es muy probable que incluso usted las tenga en casa. Si en alguna ocasión ha desinfectado verduras con gotitas de una solución color café (vendidas bajo diferentes marcas comerciales), es posible que haya tenido entre sus manos una solución de nanopartículas de plata, aunque cabe aclarar que, en estas soluciones comerciales, las partículas no siempre son de tamaño nanométrico (Kumar y Goia, 2020). Esta solución es llamada “plata coloidal” porque contiene partículas de plata suspendidas, formando un coloide. Para comprender qué son las nanopartículas de plata y cuál es su importancia biomédica, ahondemos un poco en ciertos conceptos.

La nanotecnología se encarga del estudio y la manipulación de la materia a nivel atómico y nanométrico, diseñando y desarrollando nanopartículas; es decir, estructuras que en al menos una de sus dimensiones presentan un tamaño de 1-100 nanómetros (1 nm equivale a una millonésima parte de un milímetro, 1×10^{-9} m). Estas estructuras son tan pequeñas que, si consideráramos el ancho promedio de un cabello humano, este estaría conformado por unas 80,000 partículas cuyo diámetro sea de 1 nm. A nivel nanométrico, se observan propiedades físicas y químicas que pueden variar drásticamente respecto a las que presenta la materia a gran escala, comúnmente llamada *bulk*. Esto se debe a que las nanopartículas (que

están formadas por apenas unos cientos o miles de átomos) presentan un mayor radio de área superficial respecto a su volumen, lo que hace que los fenómenos atómicos y superficiales se vuelvan más importantes en esta escala de la materia.

Las propiedades de cada tipo de nanopartícula dependerán de su composición, estructura, forma y tamaño (Abbas *et al.*, 2024). Por ejemplo, si uno observa una pieza de joyería de plata, esta presentará el típico color plateado. Si consideramos ahora una partícula muy pequeñita del mismo metal, es decir, una nanopartícula de plata, cabría esperar que sea exactamente del mismo color; sin embargo, las soluciones coloidales de nanopartículas de plata presentan colores amarillo, naranja, verde, azul, morado, café, entre otros (Power *et al.*, 2011). Lo anterior ocurre debido al fenómeno de resonancia de plasmón superficial, en el cual los electrones de los átomos de la nanopartícula metálica oscilan dentro del campo alternante del espectro electromagnético de la luz visible, haciendo que presenten su color dependiendo de la composición, forma y tamaño.

Debido a las destacadas propiedades físicas y químicas de las nanopartículas de metales nobles como oro, plata, platino, cobalto, paladio, entre otros, estas han sido utilizadas en catálisis, dispositivos nanométricos y nanomedicina. De estos metales, el oro y la plata han sido los más ampliamente utilizados debido a que logran presentar una mayor estabilidad en solución, siendo la plata la opción más asequible. El uso de nanopartículas de plata ha sido de gran importancia en aplicaciones biomédicas, tales como agentes antibacterianos, antivirales y antifúngicos; en materiales para restauración y regeneración de tejidos, revestimientos para biomateriales y dispositivos médicos, sistemas de liberación de fármacos, plataformas de detección y diagnóstico, así como algunas otras alternativas terapéuticas mejoradas que aprovechan sus propiedades antimicrobianas y anticancerígenas. También han encontrado uso en diversos tipos de materiales, como cemento óseo para huesos fracturados, membranas, implantes dentales y dentaduras postizas, catéteres e hidrogeles para



© Raúl Chiquito. *Muro del templo*. Construyendo muros para el templo de Tlaxcalancingo.

inhibir o reducir el crecimiento de agentes patógenos (Meher *et al.*, 2024).

NANOPARTÍCULAS DE PLATA COMO AGENTES ANTIMICROBIANOS

El uso de la plata como agente antibacteriano ha sido reconocido desde hace siglos, cayendo en desuso debido a la identificación de algunas cepas resistentes a la plata. Esto dio paso a un mayor desarrollo de los antibióticos; sin embargo, debido a un uso inadecuado de los mismos, las bacterias han desarrollado resistencia a múltiples medicamentos, generando “superbacterias” cuyo tratamiento implica todo un desafío. Los intentos por descubrir nuevos fármacos para atacar a estas superbacterias condujeron nuevamente a la investigación y uso de las nanopartículas de plata. La capacidad antibacteriana de estas nanopartículas se atribuye a diversos factores que incluyen su tamaño, forma, estabilidad coloidal, composición, recubrimiento, radio superficie/volumen, entre otros que, cuando se ajustan correctamente, pueden contribuir a generar un perfil inhibidor de amplio espectro contra varios microbios patógenos (Prasher *et al.*, 2018).

La acción antibacteriana de las nanopartículas de plata es causada por varios mecanismos generalmente aceptados: contacto directo con la pared celular de la bacteria, emisión de iones Ag^+ , disrupción

de varias rutas metabólicas, generación de especies reactivas de oxígeno, genotoxicidad, alteración de la pared celular y del citoplasma, inhibición de la replicación del ADN bacteriano, alteración en la permeabilidad de la membrana bacteriana y de su intercambio iónico. Las nanopartículas de plata se pueden emplear solas, o bien, combinadas con algunos antibióticos conocidos para incrementar y ampliar su efecto. Por ejemplo, se han unido a rifampicina para el tratamiento de tuberculosis (Tăbăran *et al.*, 2020). Acopladas a algunos otros antibióticos convencionales, las nanopartículas de plata han sido más eficientes contra bacterias como *Propionibacterium acnes*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Klebsiella pneumoniae* (Meher *et al.*, 2024).

Por otro lado, las nanopartículas de plata han demostrado ser agentes antivirales eficientes. La forma en que actúan podría ser vía intracelular, bloqueando la replicación del virus, o vía extracelular, bloqueando la entrada viral, que podrá ser distinta según el tipo de virus. Las nanopartículas de plata han mostrado buena actividad antiviral contra diversos tipos de coronavirus, influenza, adenovirus, herpes simple, VIH, entre otros (Jain *et al.*, 2021).

NANOPARTÍCULAS DE PLATA PARA CURACIÓN DE HERIDAS

Las heridas crónicas siguen siendo un gran problema de salud pública. Su curación es un proceso que puede ser obstaculizado por factores como infecciones bacterianas, condiciones comórbidas, edad y estilo de vida.

La terapia de heridas se basa actualmente en el uso de antibióticos a largo plazo, y se ha visto limitada por varios factores, incluidos la eficacia misma de los tratamientos, su posible toxicidad, así como el riesgo de infecciones oportunistas. Las nanopartículas de plata, y sobre todo aquellas que se obtienen con extractos vegetales, pueden proporcionar plataformas sostenibles para desarrollar soluciones confiables, rentables e innovadoras, debido a sus propiedades antibacterianas y antiinflamatorias. Asimismo, las nanopartículas pueden ser combinadas con otros medicamentos, a fin de que sirvan como sistemas acarreadores de fármacos que ayuden en la curación de heridas. Estas nanopartículas ofrecen actividades antimicrobianas de amplio espectro contra infecciones polimicrobianas, biopelículas (capas de bacterias) y patógenos resistentes a los antibióticos, reduciendo así la inflamación patológica y estimulando la reparación de los tejidos. Sin embargo, también deben tomarse en cuenta los posibles efectos adversos, como citotoxicidad para las células sanas, estrés oxidativo, retraso en la cicatrización de heridas y el potencial desarrollo de resistencia antimicrobiana, por lo cual se subraya la necesidad de que sigan siendo estudiadas y de que su uso sea regulado (Oselusi *et al.*, 2024).

NANOPARTÍCULAS DE PLATA COMO ANTICANCERÍGENOS

Las células cancerígenas evaden la muerte celular programada (apoptosis) y continúan proliferándose, siendo este el foco principal en el desarrollo de terapias contra el cáncer. El proceso de apoptosis presenta varias etapas: la activación de la proteína apoptótica, daño en el ADN, degradación de la mitocondria, formación del apoptosoma y finalmente el encogimiento celular. Las nanopartículas de plata muestran actividad sobre algunas de estas áreas, presentando actividad anticancerígena. Investigaciones recientes establecen que estas nanopartículas funcionan mayormente incrementando las especies reactivas de oxígeno, aumentando el estrés oxidativo

© Raúl Chiquito. *Lecheros y fiscales.*
Miembros de la fiscalía barriendo en la calle frente al templo



y la destrucción del ADN. Las nanopartículas de plata han demostrado tener actividad citotóxica contra células cancerígenas de pulmón y próstata, entre otras. No obstante, aún se requieren más estudios para generar sistemas óptimos de nanopartículas, que puedan liberar fármacos de manera controlada y que puedan ser dirigidos específicamente a las células cancerígenas, así como estudios a largo plazo para evaluar el desempeño y toxicidad de las nanopartículas de plata en el organismo (Jain *et al.*, 2021).

NANOPARTÍCULAS DE PLATA EN EL TRATAMIENTO DE DIABETES

La diabetes mellitus es una enfermedad donde existe un mal funcionamiento de la insulina y un elevado nivel de azúcar en sangre. El uso de las nanopartículas de plata en el tratamiento de diabetes mellitus ha ido ganando importancia en los últimos años.

Estudios recientes han demostrado que estas nanopartículas tienen la capacidad de modular algunos pasos clave en la patogénesis de la diabetes. Adicionalmente, ayudan a mejorar la sensibilidad a la insulina, reducen el estrés oxidativo y apoyan a la función de las células beta pancreáticas. Al mismo tiempo, sus propiedades antimicrobianas son particularmente benéficas para los pacientes diabéticos, que son propensos a infecciones. Las nanopartículas de plata pueden ser además utilizadas como acarreadores de fármacos antidiabéticos, mejorando la biodisponibilidad de dichos medicamentos, disminuyendo sus efectos secundarios y mejorando la eficacia de los tratamientos convencionales. No obstante, es importante seguir llevando a cabo investigaciones que permitan optimizar las propiedades de las nanopartículas, a fin de mejorar su biocompatibilidad, evitando posibles problemas de toxicidad (Paul *et al.*, 2024).

NANOPARTÍCULAS DE PLATA EN BIOSENSORES, BIOIMAGEN Y OTROS MATERIALES

Las nanopartículas de plata tienen propiedades ópticas distintivas que les permiten ser utilizadas en



© Raúl Chiquito. *Círculo de cencal*.
Colocando la base de un cencal para guardar mazorca.

biosensores (dispositivos para identificar algún parámetro biológico o químico) y en aplicaciones de bioimagen (imágenes que permiten ver el interior de un organismo y sus funciones biológicas). Debido al fenómeno de resonancia de plasmón superficial que presentan, y a la relativa facilidad para modular su superficie, las nanopartículas de plata tienen un gran potencial para la obtención de bioimágenes de ciertas proteínas, ADN y células tumorales. Como biosensores, estas nanopartículas presentan una alta sensibilidad a la presencia de algunas biomoléculas como ADN y anticuerpos.

Aprovechando las propiedades antibacterianas de las nanopartículas de plata, se han integrado a diversos materiales dentales, tales como resinas acrílicas, implantes, restauraciones de porcelana, empastes dentales, entre otros, para inducir restauración e inhibir la presencia de patógenos.

Varios estudios publicados han aprovechado las capacidades de curación y regeneración de las nanopartículas para potenciar la curación de huesos. Algunos puntos clave en este tema son la inducción de la diferenciación de osteoblastos, el favorecimiento de la proliferación de las células madre mesenquimales (importantes para fabricar y reparar tejido esquelético) y el aprovechamiento de las propiedades antiinflamatorias de las nanopartículas de plata. Por ejemplo, un experimento *in vitro* demostró que las nanopartículas de plata pueden incrementar la proliferación de las células mesenquimales hasta en 2.5 veces más de lo esperado (Eker *et al.*, 2024).

CONCLUSIÓN

Las nanopartículas de plata poseen propiedades físicas y químicas que les permiten tener una amplia variedad de aplicaciones biomédicas. Estas nanopartículas son uno de los agentes antimicrobianos más eficientes; presentan una buena interacción con las membranas de las células e influyen en los parámetros intracelulares. Estos atributos las hacen muy valiosas para ser utilizadas en aplicaciones como agentes antibacterianos, antivirales y antifúngicos, así como en el tratamiento de diversas enfermedades como cáncer o diabetes, también para curación de heridas, dispositivos dentales y médicos como mascarillas quirúrgicas o materiales textiles; propiedades como la resonancia de plasmón superficial y la relativa sencillez con la que su superficie puede ser modulada, les permite a las nanopartículas de plata ser utilizadas en bioimagen o como biosensores. A pesar de todas sus ventajas, es importante reconocer que las nanopartículas de plata pueden presentar un potencial de toxicidad elevado, lo que dificulta la flexibilidad en sus aplicaciones. Su toxicidad estará mayormente determinada por la concentración y el tamaño de las nanopartículas.

Por lo tanto, para favorecer el correcto funcionamiento de las nanopartículas de plata en las aplicaciones biomédicas, es preciso afinar y establecer

de forma correcta diversos parámetros como área superficial, tamaño y concentración de las nanopartículas, así como su posible combinación con otras moléculas (Paul *et al.*, 2024). De aquí la importancia del desarrollo de la nanotecnología, la cual, eventualmente, nos permitirá el acceso a nuevas y mejores tecnologías de nanopartículas de plata, cuyas propiedades puedan ser aprovechadas al máximo.

REFERENCIAS

- Abbas, R, Luo J, Qi X *et al.* (2024). Silver Nanoparticles: Synthesis, Structure, Properties and Applications. *Nanomaterials* 14(17):1425.
- Eker F, Duman H, Akdaşçi E *et al.* (2024). Silver Nanoparticles in Therapeutics and Beyond: A Review of Mechanism Insights and Applications. *Nanomaterials* 14(20):1618.
- Jain N, Jain P, Rajput D and Patil UK (2021). Green synthesized plant-based silver nanoparticles: therapeutic prospective for anticancer and antiviral activity. *Micro and Nano Systems Letters* 9(1):5.
- Kumar A and Goia DV (2020). Comparative Analysis of Commercial Colloidal Silver Products. *International Journal of Nanomedicine* 15: 10425-10434.
- Meher A, Tandi A, Moharana S *et al.* (2024). Silver nanoparticle for biomedical applications: A review. *Hybrid Advances* 6:100184.
- Oselusi SO, Sibuyi NRS, Meyer M and Madihe AM (2024). Phytonan- otherapeutic Applications of Plant Extract-Synthesized Silver Nanopar- ticles in Wound Healing-a Prospective Overview. *BioNanoScience* 14(3):3455-3475.
- Paul S, Sarkar I, Sarkar N *et al.* (2024). Silver nanoparticles in diabetes mellitus: therapeutic potential and mechanistic insights. *Bulletin of the National Research Centre* 48(1):33.
- Power AC, Betts AJ and Cassidy JF (2011). Non aggregated colloidal silver nanoparticles for surface enhanced resonance Raman spec- troscopy. *The Analyst* 136(13):2794.
- Prasher P, Singh M and Mudila H (2018). Silver nanoparticles as anti- microbial therapeutics: current perspectives and future challenges. *3 Biotech* 8(10):411.
- Tăbăran A-F, Matea CT, Mocan T *et al.* (2020). Silver Nanoparticles for the Therapy of Tuberculosis. *International Journal of Nanomedicine* 15:2231-2258.

Leticia Lozada-Rodríguez
Unidad Académica de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de Zacatecas
leticialozada@uaz.edu.mx

© Raúl Chiquito. *Danza en lodo.*
Mezclando paja con lodo para fabricar adobes





© Raúl Chiquito. *Guardando dinero*. Mezclando paja con lodo para fabricar adobes.

Las conchas vacías de moluscos pueden contar una historia

Rosely **Peraza-Escarrá**

Los moluscos son uno de los grupos de invertebrados más diversos del reino animal. Actualmente existen alrededor de 86 mil especies válidas de moluscos recientes, y cada año se descubren entre 800 y mil especies nuevas en hábitats marinos, dulceacuícolas y terrestres (MolluscaBase, 2025). Los moluscos son organismos con gran variedad de formas, tamaños y colores, e incluyen animales muy conocidos como caracoles, almejas y pulpos. Formalmente se definen como el filo Mollusca, que incluye ocho clases con especies vivientes. Las clases mejor estudiadas y de mayor diversidad son Bivalvia (incluye mejillones, ostras y almejas) y Gastropoda (incluye caracoles, abalones, lapas y babosas). Una característica distintiva de los moluscos es la presencia de una concha de carbonato de calcio, aunque existen moluscos sin concha. La mayoría de las especies tienen conchas compuestas por un mineral denominado aragonita, aunque otras especies tienen conchas de calcita o una mezcla de ambos. En general, la concha es una estructura dura y resistente que se preserva en los sedimentos después de la muerte del individuo. Estos restos vacíos contienen información valiosa que, si sabemos interpretarla, puede informarnos sobre la historia del individuo y las condiciones ambientales de su hábitat.

LAS TANATOCENOSIS

Los conjuntos de conchas vacías que ocurren en el ambiente se denominan tanatocenosis, una combinación de términos de origen griego: *thanatos* (= muerte) y *cenosis* (comunidad). En el caso de los estudios de conchas de moluscos, se emplea el término “tanatocenosis de moluscos”, que se refiere a los conjuntos o asociaciones de conchas muertas. En inglés, el término utilizado es *mollusk death assemblages*. El concepto, en cualquiera de los casos, se refiere al conjunto de restos orgánicos identificables taxonómicamente que se encuentran en las capas de mezcla superficiales de paisajes y fondos marinos (Kidwell y Tomašových, 2013).

El estudio de las tanatocenosis se incluye en las disciplinas de paleoecología y/o paleontología, que estudian los ambientes del pasado y los fósiles, respectivamente. Una característica de las tanatocenosis es la acumulación de restos de distintas generaciones dentro de un mismo conjunto. Este proceso es nombrado *time averaging* (Kidwell y Tomašových, 2013) y, a pesar de que no ha sido definido formalmente en español, se puede traducir como mezcla de generaciones o promedio temporal de restos.

¿QUÉ INFORMACIÓN PODEMOS EXTRAER DE LAS CONCHAS MUERTAS DE MOLUSCOS?

Los estudios de tanatocenosis de moluscos han sido impulsados por ecólogos y paleontólogos en busca de información presente en los restos biológicos. La búsqueda suele comenzar con la identificación taxonómica de los individuos, es decir, determinar a qué especie pertenecieron a partir de las características de la concha (Figura 1).

A partir del conocimiento de las especies que habitaron en un sitio y momento determinado, se pueden realizar análisis de diversidad; por ejemplo, estimar la riqueza de especies y la composición (quiénes son esas especies). También se pueden analizar los rasgos biológicos de las especies en las tanatocenosis; por ejemplo, forma de alimentación, grado

de movilidad y relación con un sustrato. Los rasgos biológicos reflejan las adaptaciones de las especies al hábitat, por lo que, a través de las tanatocenosis, se puede conocer el tipo de hábitat en el que vivió el individuo (Figura 2).

Además de la identidad taxonómica, las conchas también proveen información ecológica muy útil sobre ambientes pasados. Por ejemplo, el tamaño y la etapa de vida (juvenil o adulto) informan sobre la productividad del hábitat. La presencia de señales de depredación permite estudiar la relación depredador-presa. Otra observación sobre las conchas vacías sería la presencia de organismos incrustantes (por ejemplo, gusanos poliquetos), que indican condiciones de enriquecimiento de nutrientes. Adicionalmente, a las conchas vacías se les puede evaluar el grado de abrasión, disolución, decoloración o el estado de los bordes. Estas son características por las que podemos evaluar los procesos que sufren los restos biológicos tras la muerte del individuo y se conocen como atributos tafonómicos.

Para conocer en qué momento habitaron los individuos, se determina la edad de las conchas mediante técnicas como el fechado con radio-carbono o la racemización de aminoácidos. Esta última se basa en el cambio de los aminoácidos de una forma L a una forma D. Los L-aminoácidos

¿A cuáles especies pertenecen estas conchas?

- Observar sus características, por ejemplo, la forma y tamaño
- Consultar la literatura especializada e identificar hasta el menor nivel taxonómico posible

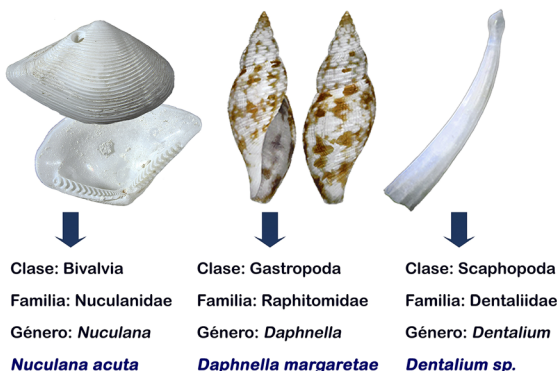


Figura 1. Identificación de tres especies a partir de conchas de individuos muertos.

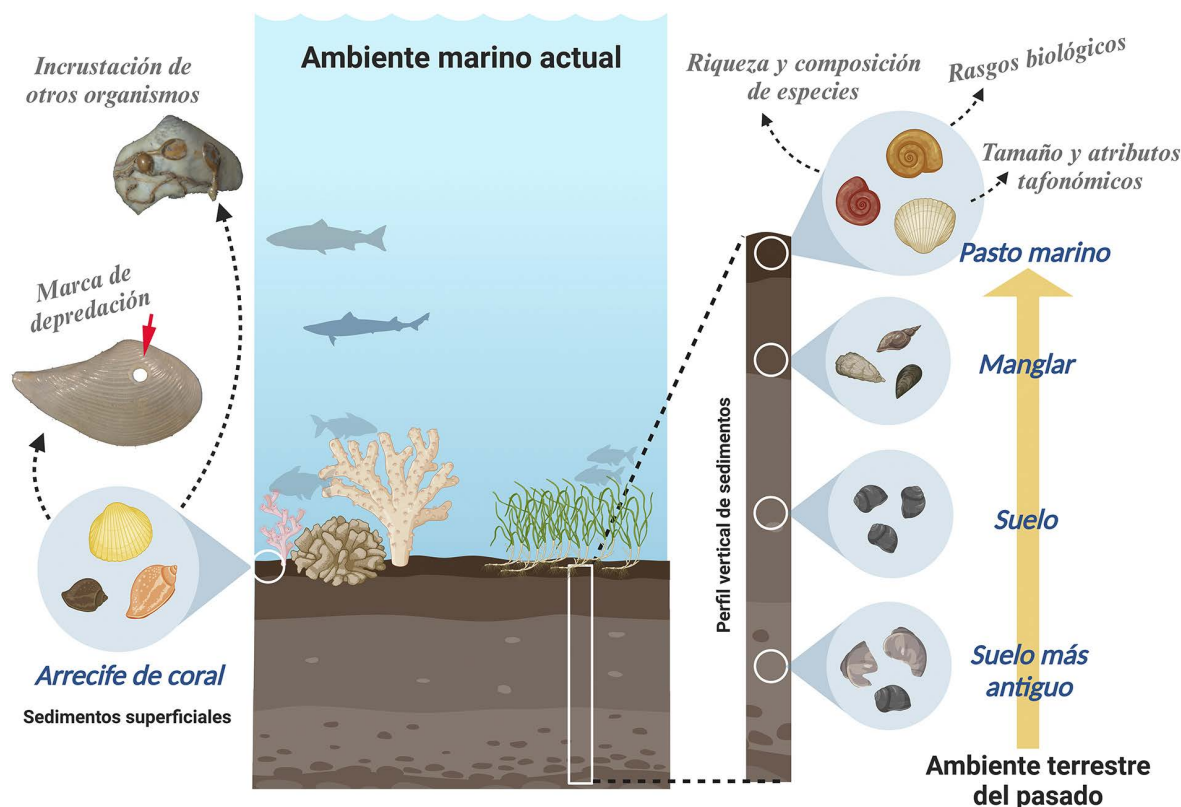


Figura 2. Tanatocenosis de moluscos en hábitats distintos. En sedimentos superficiales se representan tanatocenosis en dos hábitats actuales adyacentes: arrecifes de coral y pastos marinos. En el perfil vertical de sedimentos se refleja la sucesión temporal de hábitats inferida de las tanatocenosis en diferentes secciones del perfil. Plantilla adaptada de Dakota Holmes.

están presentes cuando el organismo está vivo y después de la muerte comienzan a convertirse en D-aminoácidos. La proporción entre las dos formas (relación L/D) indica entonces el tiempo que ha pasado desde la muerte del molusco (Demarchi *et al.*, 2011). Cualquiera de estas dos técnicas de fechado permitiría realizar una reconstrucción cronológica y conectar las tanatocenosis con eventos ambientales del pasado, como extinciones o cambios en el nivel del mar. Sin embargo, estos estudios no son frecuentes debido al costo de las técnicas y al alto nivel de especialización que requieren.

TANATOCENOSIS DE MOLUSCOS:

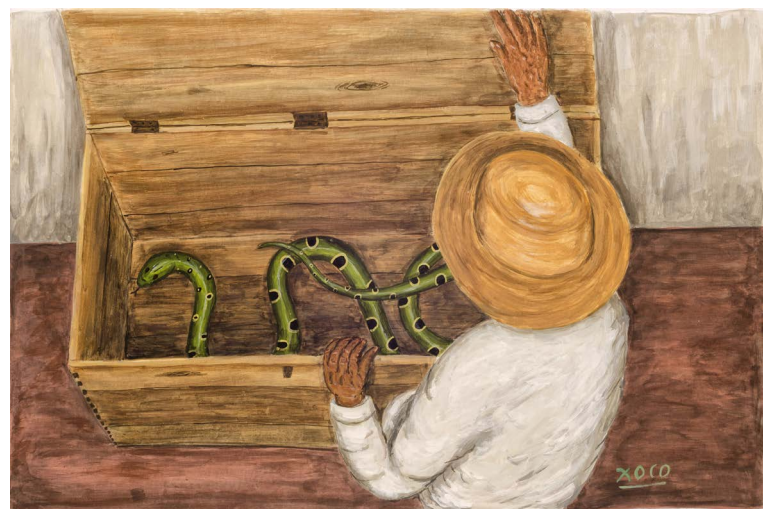
BENEFICIOS Y ALGUNAS LIMITACIONES

Los conjuntos de conchas vacías de moluscos permiten amplias posibilidades de análisis a partir de la información que contienen. Algunos beneficios de estudiar las conchas vacías en ecosistemas marinos son:

1. Son eficientes para estimar la riqueza de especies en regiones extensas, debido a la alta diversidad y abundancia de conchas que podemos encontrar en relativamente pocas muestras. Usualmente, para estudiar la diversidad de una comunidad viva, necesitamos recolectar muestras suficientemente grandes y en más de una ocasión. Gracias al "time averaging", las tanatocenosis representan muy bien la diversidad regional de especies (Kidwell y Tomašových, 2013).
2. Las tanatocenosis han sido utilizadas exitosamente para explorar la diversidad en ecosistemas marinos con muchas especies, como los arrecifes coralinos y los pastos marinos.
3. Existe una alta fidelidad entre los conjuntos de organismos vivos (biocenosis) y muertos (tanatocenosis). Esto se basa en que los conjuntos de conchas muertas incluyen a la mayoría de las especies vivientes en la comunidad actual (Kidwell y Flessa, 1996).



© Raúl Chiquito. *Almud y plata*. Llenando un almud con dinero.

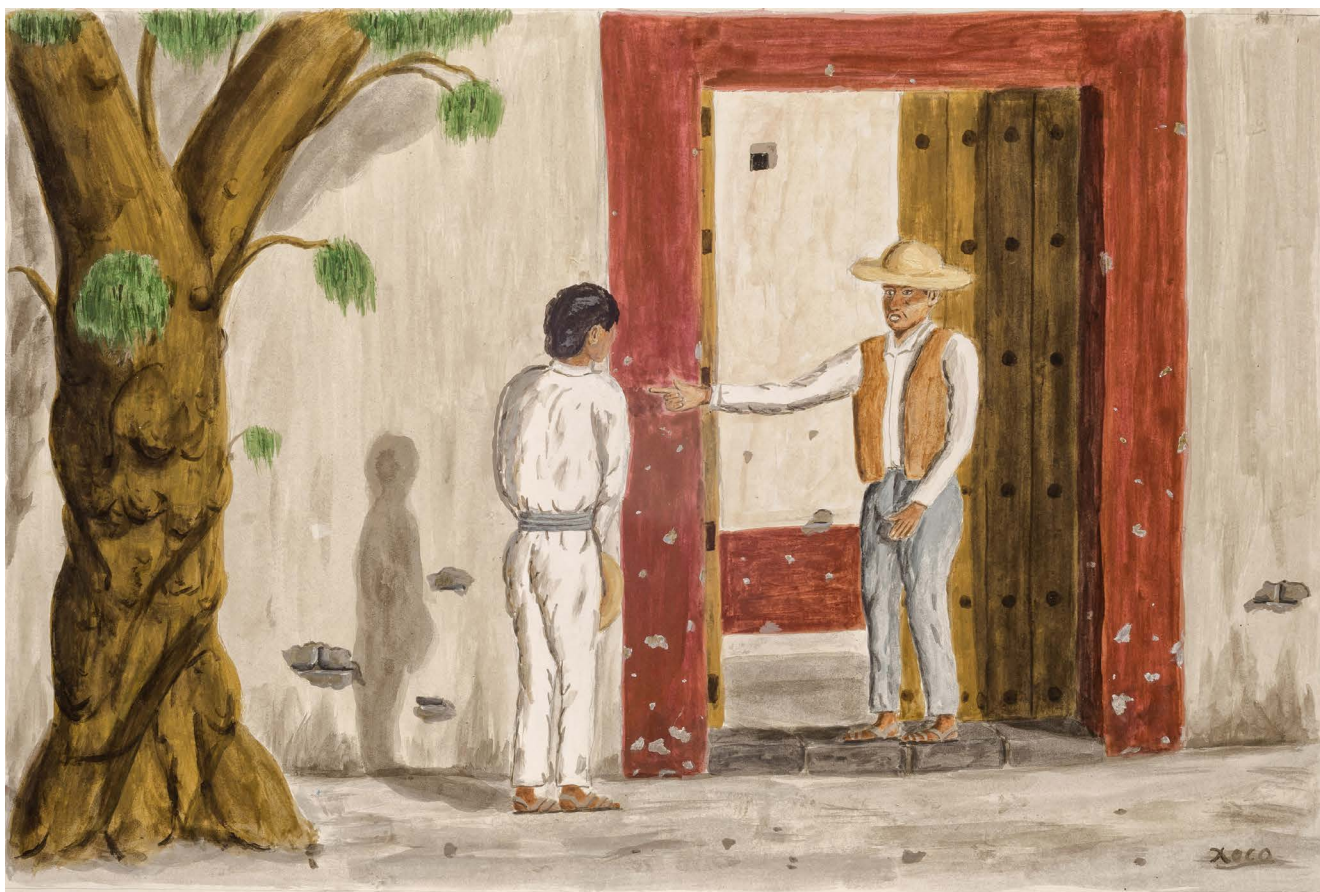


© Raúl Chiquito. *Dinero serpiente*.
Le niegan la entrada a la casa a Don Esteban Tocatl.

4. Los estudios de las tanatocenosis utilizan los mismos métodos de recolección y análisis de datos que los estudios de las biocenosis. Esto facilita la comparación entre ambos tipos de comunidades.
5. Para obtener las conchas vacías no se necesitan cantidades grandes de sedimentos, pues la acumulación de restos incrementa la abundancia en comparación con organismos vivos. En consecuencia, los estudios de tanatocenosis suelen ser menos invasivos que los estudios de biocenosis; estos últimos usualmente requieren de recolectas masivas de material del fondo usando dispositivos de arrastre.
6. Las tanatocenosis son esenciales en la reconstrucción de procesos históricos que incluyan componentes biológicos. La herramienta más empleada son los perfiles verticales de sedimentos, que ofrecen una secuencia de capas de sedimento donde se preserva la información geoquímica (por ejemplo, contenido de carbono, tamaño de partículas) y ecológica (riqueza y composición de especies). Las secuencias de capas en los perfiles pueden ser fechadas para reconstruir los eventos ambientales pasados y conectarlos con el marco temporal de referencia empleado por los investigadores (por ejemplo, épocas geológicas) (Figura 2).

Sin embargo, estudiar las conchas vacías en ecosistemas marinos también tiene algunas limitaciones relevantes:

- A. Los moluscos sin concha no están representados en las tanatocenosis; en consecuencia, los estudios están limitados fundamentalmente a las clases Gastropoda, Bivalvia y Scaphopoda. Otras clases importantes como Polyplacophora y Cephalopoda, aunque poseen especies con conchas, no están bien representadas en las tanatocenosis.
- B. El “*time averaging*” puede enmascarar la variabilidad a corto plazo en las asociaciones. Por ejemplo, los cambios en la riqueza de especies entre estaciones del año, asociados a la productividad primaria, pueden no reflejarse en la tanatocenosis (Kidwell y Flessa, 1996).
- C. Existen casos de baja fidelidad de la tanatocenosis con la comunidad viva, por ejemplo, en plataformas continentales estrechas y/o sometidas a disturbios antropogénicos como pesquerías de fondo y eutrofización (Kidwell, 2008).
- D. Una fuente de incertidumbre en el estudio de las tanatocenosis es la pregunta acerca de si realmente el organismo vivía en el sitio donde encontramos la concha, o si esta fue transportada hasta el lugar después de su muerte. Esta es una limitación menor, pues en general el transporte *post mortem* de conchas es detectable a través



© Raúl Chiquito. *Indios no. Le niegan la entrada a la casa a Don Esteban Tocatl.*

de la identidad de la especie, el hábitat donde ha sido reportada, sus rasgos biológicos y la calidad de preservación de la concha. El transporte *post mortem* de conchas hacia dentro o fuera de un hábitat usualmente no es significativo para enmascarar las señales ecológicas en las tanatocenosis. Pero puede ocurrir (y detectarse) en algunos ambientes donde se combinan dos condiciones que promueven el arrastre de conchas: la pendiente del fondo muy inclinada (típica de algunos tipos de talud continental) y corrientes marinas intensas (Kidwell y Flessa, 1996).

En resumen, las tanatocenosis de moluscos son archivos de información valiosa sobre el pasado que merecen ser estudiados más intensamente. Si se formulan las preguntas adecuadas en un marco de investigación riguroso, el estudio de las tanatocenosis ofrece muchas respuestas a problemas de relevancia actual, como la pérdida de biodiversidad o también el diseño de áreas protegidas marinas.

REFERENCIAS

- Demarchi B, Williams MG, Milner N *et al.* (2011). Amino acid racemization dating of marine shells: a mound of possibilities. *Quaternary International* 239(1-2):114-124.
- MolluscaBase eds. (2024). Sitio web MolluscaBase. Recuperado de: <https://www.molluscabase.org/>.
- Kidwell SM (2008). Ecological fidelity of open marine molluscan death assemblages: effects of post-mortem transportation, shelf health, and taphonomic inertia. *Lethaia* 4:199-217.
- Kidwell SM and Flessa KW (1996). The quality of the fossil record: populations, species, and communities. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 24:433-464.
- Kidwell SM and Tomašových A (2013). Implications of time-averaged death assemblages for ecology and conservation biology. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 44:539-563.

Rosely Peraza-Escarrá
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
roselyperaza2014@gmail.com



© Raúl Chiquito. *Serpiente y sueño*. Serpiente desplaza a bebé para alimentarse de la mamá.

Seguimiento y análisis de trayectorias del forrajeo de colonias de hormigas

Ana L. **Ballinas Hernández**
María Claudia **Denicia-Carral**

El estudio del comportamiento de colonias de insectos ha sido un tema de amplio interés desde hace varios años; sin embargo, existen varios desafíos por resolver. Diversas investigaciones se han centrado en analizar el comportamiento de las hormigas a partir de las tareas colectivas que realizan (Gordon, 2019). Estas colonias tienen una organización social compleja y eficiente, con altos niveles de cooperación y una clara división de las labores de forma descentralizada y autoorganizada. Una de las principales tareas es el “forrajeo”, donde las hormigas salen del nido en búsqueda de alimento mediante la exploración de áreas extensas sin un plan predeterminado.

En esas colonias se presenta inteligencia social y su principal forma de comunicación es a través de señales químicas basadas en feromonas, lo que les permite desarrollar una capacidad cooperativa colectiva (Xu y Chen, 2021). Al localizar una fuente de alimento, las hormigas depositan un rastro de feromonas que guía a otras hormigas; este rastro se disipa progresivamente y se refuerza mediante el tránsito continuo de cada individuo. El monitoreo de la actividad de forrajeo permite identificar interacciones individuales y patrones de organización social.

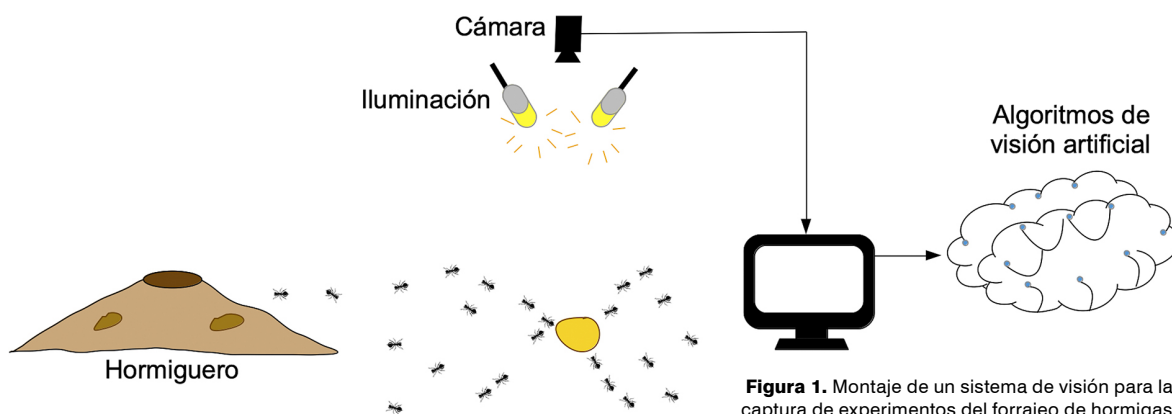


Figura 1. Montaje de un sistema de visión para la captura de experimentos del forrajeo de hormigas.

Actualmente, se han construido sistemas capaces de trazar el movimiento de múltiples hormigas de forma simultánea mediante el seguimiento automático en videos para investigar su comportamiento social. Sin embargo, varios de los métodos existentes son probados con experimentos controlados y presentan limitaciones en escenarios reales, causadas por la oclusión de hormigas, aglutinaciones y otros factores de implementación que generan errores en el seguimiento. Las nuevas herramientas tecnológicas y el uso de inteligencia artificial hacen posible construir sistemas de adquisición de datos y seguimiento de trayectorias con alta precisión y un tiempo de respuesta rápido en comparación con métodos tradicionales.

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DEL FORRAJE O DE HORMIGAS

El primer paso para analizar el comportamiento del forrajeo de hormigas es la construcción de un sistema de recolección de datos del movimiento que realizan durante la búsqueda, localización y traslado de comida hacia el nido. Debido al desarrollo de tecnologías emergentes y equipos de cómputo robustos, es posible construir prototipos para la captura automatizada de trayectorias.

En la Figura 1 se observa el montaje de un sistema de visión que incluye videocámaras para la digitalización de imágenes del mundo real; una o varias

fuentes de iluminación; equipos de cómputo y dispositivos de almacenamiento, así como algoritmos para el reconocimiento de patrones en la dinámica de las hormigas.

La iluminación es un aspecto importante en la captura de videos, debido a que permite conseguir un nivel de exposición adecuado. Para escenarios exteriores, es recomendable considerar la luz directa del sol durante horarios entre las 12 del día y las 2 de la tarde, con un nivel de iluminación intensa de 60,000 a 100,000 lux (lúmenes por metro cuadrado). Para escenarios interiores, es importante emplear fuentes de iluminación artificial, como bombillas con intensidades de luz entre 500 y 1,500 lux.

Para una mejor precisión en la captura de información del forrajeo de hormigas, se recomienda el uso de videocámaras profesionales con las siguientes características o similares: sensor CMOS de 24.2 megapíxeles con capacidad de grabación de 1,080 píxeles o superior a una velocidad de 30 fps (fotogramas por segundo). Por cada hora de video en 1,080p, se requiere un espacio de almacenamiento de 23 GB. Para el procesamiento de videos, se sugiere el uso de procesadores con GPU (unidad de procesamiento gráfico), tal como el uso de la tarjeta gráfica NVIDIA GeForce GTX, RTX o equivalentes.

A partir de la información obtenida por el sistema, se pueden aplicar algoritmos de visión artificial para el reconocimiento del movimiento de hormigas usando equipos con alto poder de cómputo. Estos algoritmos permiten dar a las computadoras la capacidad de emular la visión humana. El sistema de

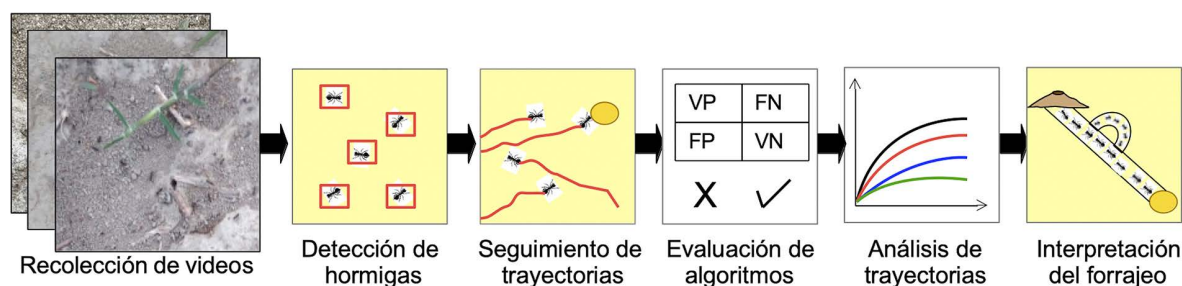


Figura 2. Propuesta para el análisis del forrajeo de hormigas.

visión puede servir tanto en escenarios interiores, bajo condiciones controladas de laboratorio, como en escenarios exteriores de mayor complejidad.

TRAYECTORIAS DE SEGUIMIENTO DEL FORRAJEО DE HORMIGAS

Con el uso de un sistema de visión artificial, es posible recuperar y procesar en tiempo real información del forrajeo de hormigas. La Figura 2 muestra el flujo secuencial propuesto para el seguimiento automático de hormigas y análisis de trayectorias mediante visión artificial y métodos de la mecánica estadística. Cada fase de la propuesta es descrita a continuación.

La fase de recolección de videos consiste en recolectar un conjunto de videos del forrajeo de hormigas con el sistema propuesto en la Figura 1. Cada video está compuesto por un conjunto de fotogramas durante un tiempo continuo de grabación, con duración entre 30 y 60 min. en formato MP4, a una velocidad de 5 a 15 fotogramas por segundo.

La segunda fase es la detección de hormigas que se realiza aplicando el algoritmo YOLO (You Only Look On), uno de los algoritmos más empleados para identificar y rastrear objetos. Este algoritmo da respuesta en tiempo real, es más rápido, más preciso y fácil de usar con respecto a otros modelos existentes como Fast R-CNN o similares; por tal motivo, actualmente es el algoritmo más eficiente para la detección de objetos. YOLO retiene los puntos centrales, trazando líneas que representan las trayectorias seguidas por los objetos (Pereira *et al.*, 2022). Cada hormiga es detectada a través de un cuadro delimitador dibujado sobre los fotogramas de la imagen.

La tercera fase es la de seguimiento de trayectorias, en donde se analiza cada fotograma continuo a partir de videos del forrajeo en búsqueda de alimento, identificando los cambios espaciales en el tiempo. En esta fase, se estima el movimiento futuro de la hormiga usando la información de ubicación anterior y aplicando algoritmos de aprendizaje profundo o *deep learning*. El aprendizaje profundo es un subcampo de la Inteligencia Artificial que usa grandes cantidades de datos no estructurados para emular el cerebro humano (Janiesch *et al.*, 2021). Estos algoritmos se entrenan mediante redes neuronales convolucionales (CNN) para aprender por sí mismos.

La propuesta considera un rastreador de múltiples objetos de forma simultánea, el cual requiere de grandes cantidades de imágenes para que su funcionamiento sea confiable. Se propone el uso del algoritmo preentrenado DeepSORT (*Deep Learning for Multiple Object Tracking*, o aprendizaje profundo para el seguimiento de objetos múltiples), que es empleado para rastrear objetos en movimiento a partir de videos. Este algoritmo está basado en SORT (*Simple Online and Realtime Tracking*, o seguimiento en línea y en tiempo real simple), pero añade la extracción de características de apariencia de los objetos para reducir errores de detección (Pereira *et al.*, 2022).

Los algoritmos de seguimiento de hormigas mediante aprendizaje profundo funcionan adecuadamente, incluso cuando las hormigas se ocuyen, gracias a la predicción del movimiento. El rastreador asigna un identificador a cada hormiga que se

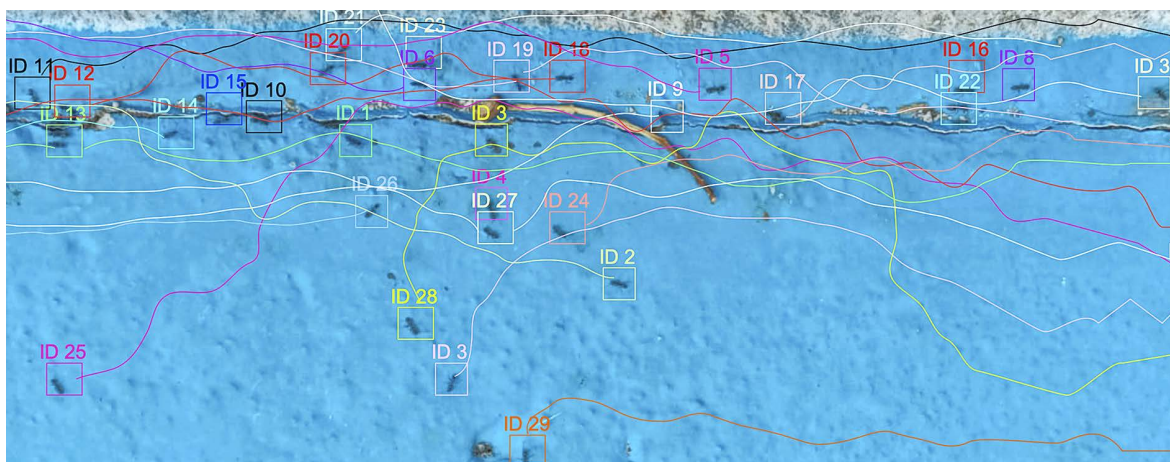


Figura 3. Ejemplo del seguimiento del forrajeo de hormigas usando el algoritmo DeepSORT.

mantiene durante todos los fotogramas. La trayectoria del movimiento de cada hormiga se traza de diferentes colores para identificar más fácilmente los comportamientos individuales. La Figura 3 muestra un ejemplo del seguimiento de hormigas a partir de videos en tiempo real donde se aplica el algoritmo DeepSORT.

La cuarta fase es la evaluación de algoritmos en donde se realizan pruebas del seguimiento de hormigas a partir de los videos almacenados y se compara el seguimiento automático con el seguimiento manual para evaluar el desempeño del algoritmo. Para ello, se calcula la tasa de precisión, la tasa de error y la falsa detección de hormigas. Estas medidas indican el nivel de precisión y confianza de los algoritmos de seguimiento.

En la fase de análisis de trayectorias se almacena la evolución temporal de la posición de cada hormiga en archivos con extensión .csv (ver ejemplo de generación de trayectorias en la Figura 3). A partir de esta información se pueden estimar las siguientes variables de estado discretas: {posición, velocidad, orientación} en cada instante, para cada hormiga individual. Esta información reproduce la dinámica individual del forrajeo de hormigas, la cual puede ser analizada para describir su comportamiento mediante medidas estadísticas como: curvas de evolución promedio, varianza y simetría, entre otras.

La fase de interpretación del forrajeo consiste en usar la información obtenida del seguimiento automático para identificar patrones colectivos. Las trayectorias individuales pueden ser analizadas y comparadas para evaluar la dinámica del movimiento colectivo de las colonias de hormigas. Para ello, en esta fase se evalúan ciertos parámetros de orden, entendidos como medidas que cuantifican el grado de organización o coherencia en un sistema colectivo, aplicados tanto a los patrones espaciales como a la evolución temporal del proceso mediante el cual las hormigas exploran su entorno y recolectan alimento de manera coordinada.

Entre los parámetros de orden que se miden, está la correlación espacial que permite analizar cómo se distribuyen las hormigas en un espacio determinado a lo largo del tiempo, este parámetro es clave porque puede dar indicios sobre el grado de cohesión social, la organización interna y sobre cómo responden a estímulos externos. La velocidad promedio de la colonia en un intervalo temporal permite evaluar la eficiencia del desplazamiento colectivo; además, refleja qué tan rápido se moviliza la colonia, una velocidad elevada puede representar un comportamiento sincronizado, mientras que una velocidad baja puede relacionarse con descoordinación, obstáculos o dispersión.

La transición de fase es un parámetro que muestra el cambio dinámico entre estados de comportamiento distintos, por ejemplo, el paso del forrajeo desordenado al ordenado. Este fenómeno ha sido

documentado por Beekman *et al.* (2001) y es de utilidad para identificar variaciones que pueden desencadenar transformaciones en la organización de la colonia. La entropía informacional mide el nivel de aleatoriedad o incertidumbre en los patrones de forrajeo de las hormigas, este indicador es útil para detectar fenómenos de autoorganización (Rangel-Huerta *et al.*, 2017), niveles más bajos de entropía podrían asociarse con una organización más estructurada y eficiente, mientras que valores altos indicarían comportamientos más caóticos o exploratorios.

Otros parámetros importantes son la función de actividad y el rompimiento de simetría. El primero se refiere al grado de interacción entre las hormigas dentro de la colonia y proporciona una medida de la frecuencia y naturaleza de las interacciones que son fundamentales para mantener la cohesión y cooperación del grupo (Ballinas-Hernández *et al.*, 2011); un alto nivel de actividad sugiere una red densa de comunicación y colaboración, elementos cruciales para la supervivencia y éxito de la colonia en entornos cambiantes. El rompimiento de simetría se refiere a la asimetría colectiva por fluctuaciones aleatorias causadas por posibles situaciones de escape del grupo, tales como decisiones individuales o respuesta ante amenazas (Ji *et al.*, 2018); este fenómeno puede conducir a rutas de escape o cambios abruptos en la dirección del grupo, lo que permite comprender la evolución de configuraciones complejas y adaptativas de la colonia.

DISCUSIÓN

A partir del seguimiento automático del forrajeo de hormigas, surge la siguiente interrogante: ¿Qué información adicional aporta el uso de nuevas tecnologías en comparación con los métodos tradicionales para analizar el forrajeo de hormigas? Con el uso de algoritmos de aprendizaje profundo de alta precisión y de respuesta rápida, además del uso de equipos de cómputo robustos, es posible calcular parámetros de orden de forma automatizada para interpretar de forma confiable los comportamientos colectivos del forrajeo de hormigas. Además, sirve como base para analizar otros comportamientos de insectos.

Debido a que la feromona no es visible para los humanos, a través del seguimiento del forrajeo de hormigas es posible inferir algunos de los comportamientos que presentan estas sociedades para realizar tareas de forma inteligente y autoorganizada. Los patrones de forrajeo pueden describirse mediante el análisis de correlación espacial, es decir, observando la forma como se distribuyen en el espacio.

La autoorganización y la capacidad de adaptación de la colonia de hormigas pueden evaluarse observando los cambios en su comportamiento colectivo, similares a transiciones entre distintos estados. El nivel de desorden y la dificultad para localizar alimento pueden medirse calculando su grado de organización y la velocidad con que se mueven. Cuando ocurre un evento inesperado, como un peligro repentino, se pueden identificar situaciones de escape observando cómo se rompe la simetría en sus movimientos.

CONCLUSIONES

El estudio del comportamiento de colonias de hormigas ha sido abordado por muchos años y ha servido de base para la realización de tareas colectivas de grupos de robots. No obstante, existen muchos retos y desafíos por resolver, tales como caracterizar el forrajeo de hormigas mediante el seguimiento automático de trayectorias, aun cuando existan dificultades en la detección causadas por oclusiones, aglutinaciones y confusiones por la información existente en el ambiente.

El uso de nuevas tecnologías que involucran inteligencia artificial, en particular el aprendizaje profundo, permite crear marcos de trabajo hacia el entendimiento de las tareas colectivas de forma más confiable y rápida que los sistemas de monitoreo tradicionales. Los algoritmos de aprendizaje profundo permiten resolver las limitaciones ocasionadas por oclusiones, aglutinaciones y confusiones en la interacción de hormigas de forma precisa y eficiente. La propuesta presentada en este trabajo sirve de base para analizar comportamientos de otros grupos de insectos u otros colectivos biológicos como peces, pájaros y grupos de peatones.



© Raúl Chiquito. Votando en fila. Plebiscito en Tlaxcalancingo para determinar la venta de terrenos.

REFERENCIAS

Ballinas-Hernández AL, Muñoz-Meléndez A y Rangel-Huerta A (2011). Multiagent system applied to the modeling and simulation of pedestrian traffic in counterflow. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 14(3):e2.

Beekman M, Sumpter DJ and Ratnieks FL (2001). Phase transition between disordered and ordered foraging in Pharaoh's ants. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98(17):9703-9706.

Gordon DM (2019). The ecology of collective behavior in ants. *Annual Review of Entomology* 64(1):35-50.

Janiesch C, Zschech P and Heinrich K (2021). Machine learning and deep learning. *Electronic Markets* 31(3):685-695.

Ji Q, Xin C, Tang SX and Huang JP (2018). Symmetry associated with symmetry break: Revisiting ants and humans escaping from multiple-exit rooms. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 492:941-947.

Pereira R, Carvalho G, Garrote L and Nunes UJ (2022). Sort and deep-SORT based multi-object tracking for mobile robotics: Evaluation with new data association metrics. *Applied Sciences* 12(3):1319.

Rangel-Huerta A, Ballinas-Hernández AL y Martínez-Guzmán G (2017). Entropía de discos rígidos auto-impulsados como parámetro de orden para peatones en contraflujo. *Revista Mexicana de Física* 63(6):585-592.

Xu T and Chen L (2021). Chemical communication in ant-hemipteran mutualism: potential implications for ant invasions. *Current Opinion in Insect Science* 45:121-129.

Ana L. Ballinas Hernández
María Claudia Denicia-Carral
Complejo Regional Centro, sede San José Chiapa
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
analuisa.ballinas@correo.buap.mx

© Raúl Chiquito. Frente al atrio.
 Mujeres caminando por la calle frente al templo.



Sistemas de recomendación: el motor invisible de la era digital

Víctor Giovanni **Morales Murillo**
Karina **Cancino Villatoro**

Los sistemas de recomendación son una de las aplicaciones más importantes de la inteligencia artificial (IA), el análisis de datos y la ciencia de datos, debido a que se han integrado en nuestra vida diaria a través de múltiples servicios en línea, incluyendo la mayoría de los principales sitios de comercio electrónico (e-commerce), plataformas multimedia (servicios de streaming) y redes sociales. De esta manera, compañías de tecnología como Google, Amazon, Spotify, Facebook, Netflix, Uber, Airbnb, LinkedIn y muchas más, han utilizado los motores de recomendación como uno de sus principales servicios para mejorar la experiencia de los usuarios cuando navegan en sus sitios web, con la finalidad de incrementar los indicadores clave de rendimiento (KPIs), como el número de ventas y la retención de clientes (Castells y Jannach, 2023).

Esta tecnología es una herramienta potente que facilita la toma de decisiones informadas, efectivas y eficientes dentro de una amplia variedad de artículos y servicios conocidos como ítems, los cuales pueden ser productos comerciales, listas de reproducción, series o películas, amigos en redes sociales, vacantes o aplicantes de empleo, puntos de interés (atractivos turísticos, hoteles, restaurantes, aparcamientos, etc.), publicaciones (libros, revistas, artículos, etc.), profesiones o carreras profesionales, cursos académicos y muchos más ítems (Morales-Murillo *et al.*, 2024).

De esta manera, las recomendaciones personalizadas y automatizadas son omnipresentes en la era digital, en cualquier parte del ciberespacio nos encontramos con sugerencias sobre artículos que podemos comprar, aplicaciones novedosas para descargar y nuevos artistas o música por descubrir. Estas sugerencias personalizadas son generadas por los sistemas de recomendación, que son componentes de software que identifican los ítems más adecuados para un determinado usuario, usando estadísticas y modelos de aprendizaje automático, llamados en inglés *machine learning* (Castells y Jannach, 2023).

El campo de investigación sobre los sistemas de recomendación es muy amplio y continúa creciendo rápidamente, debido a los casos de éxito que han beneficiado a múltiples negocios y consumidores. Asimismo, el continuo desarrollo del aprendizaje automático y de la era digital es un fuerte impulso para esta área de investigación. Actualmente, la población mundial es de aproximadamente 8 mil millones de personas, de las cuales, el 66.2 % son usuarios de internet y el 62.3 % son usuarios de redes sociales (Kemp, 2024). Mientras que el tiempo promedio que un ser humano pasa en internet es de 6 horas y 40 minutos, en el uso de redes sociales es de 2 horas y 23 minutos, y en servicios de *streaming* es de 3 horas y 6 minutos. Es difícil calcular la enorme cantidad de información que se produce en la era digital, lo que ha intensificado exponencialmente el problema de la sobrecarga de información.

En respuesta, surgieron los sistemas de recomendación con una tendencia en investigaciones y recursos en idioma inglés. Sin embargo, el desarrollo de nuevos y diferentes recursos para el área de sistemas de recomendación es fundamental para generar nuevas oportunidades en diversos dominios de aplicación y en diferentes regiones del mundo, especialmente en los países que están en vías de desarrollo y que requieren del alcance de este tipo de tecnología, debido a la globalización.

La ética en inteligencia artificial es un campo multidisciplinario que tiene el objetivo de regular el

desarrollo y uso de la IA; no obstante, las investigaciones en esta área son limitadas. Por lo tanto, es un área de oportunidad para atender los desafíos éticos de los sistemas de recomendación, como son las recomendaciones inapropiadas, la recopilación y almacenamiento de datos no autorizados, las fugas de datos, las inferencias no autorizadas, las trampas de comportamiento del usuario, los algoritmos de caja negra, las explicaciones de recomendaciones poco informativas y el sesgo de datos.

ALGORITMOS DE RECOMENDACIÓN

Las técnicas clásicas y más populares de recomendación son el filtrado basado en contenido, el filtrado colaborativo y los enfoques híbridos de recomendación (Morales *et al.*, 2022; Castells y Jannach, 2023). Mientras que las últimas tendencias son los sistemas de recomendación secuenciales/basados en sesiones (Moreira *et al.*, 2021), las recomendaciones explicables (Zhang y Chen, 2020) y los sistemas de recomendación conversacionales (CRS) (Jannach *et al.*, 2020), que han sido impulsados por el rápido desarrollo del campo del procesamiento de lenguaje natural (*NLP: Natural Language Processing*), el aprendizaje profundo (*Deep Learning*), el aprendizaje por refuerzo (*Reinforcement Learning*) y los grandes modelos de lenguaje (*LLMs: Large Language Models*).

FILTRADO BASADO EN CONTENIDO

Esta técnica de recomendación utiliza como principal fuente de información las descripciones textuales de los ítems que representan sus características; así, las preferencias pasadas de un usuario pueden hacer match con esas características. Este algoritmo se basa en el campo de recuperación de información (IR: Information Retrieval), en donde el objetivo es identificar y ponderar un conjunto de documentos relevantes dada una consulta, mientras que en los motores de recomendación los documentos representan a los ítems y se ponderan con base en un perfil del usuario. En la Figura 1 se presenta un ejemplo de filtrado basado en contenido, en el que

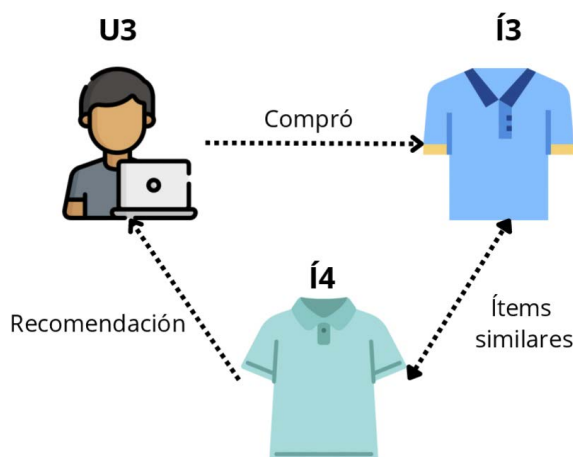


Figura 1. Ejemplo de filtrado basado en contenido. Imagen elaborada con recursos gráficos de flaticon.com.

al usuario U3 se le recomienda una camisa similar (ítem Í4) a la que ha comprado en el pasado (ítem Í3). Una alternativa es usar un modelo espacio vectorial de IR para representar los artículos como vectores de documentos que contienen las descripciones de los ítems y emplear la similitud del coseno para estimar los productos más similares al perfil del usuario.

FILTRADO COLABORATIVO

Este enfoque de recomendación se ha utilizado ampliamente en el estado del arte con la idea de aprovechar las opiniones o comentarios de otros usuarios. La principal fuente de información es un conjunto de calificaciones de los usuarios hacia los ítems que han comprado o consumido en el pasado. Estas calificaciones se almacenan en una matriz de calificaciones, conocida en inglés como *User-Item Rating Matrix*, la cual generalmente usa una escala de Likert de 1 a 5 en las calificaciones para representar el grado de interés que tiene un usuario hacia un ítem. De esta manera, las calificaciones representan los siguientes niveles de interés que puede tener un usuario hacia un ítem.

1. Muy negativo
2. Negativo
3. Neutro
4. Positivo
5. Muy positivo

	Í1	Í2	Í3	Í4	Í5
U1	3	4	3	?	?
U2		4	3		5
U3		1	3	1	
U4	4		3	2	3
U5	3		3	2	

Tabla 1. Ejemplo de una matriz de calificaciones con 5 usuarios y 5 ítems (*User-Item Rating Matrix*) para el filtrado colaborativo.

En la Tabla 1 se muestra un ejemplo de una matriz de calificaciones que incluye 5 usuarios y 5 ítems. En este caso, el usuario 1 ha otorgado una calificación de 3 al ítem I1, una de 4 al ítem I2 y otra de 3 al ítem I3. Sin embargo, las calificaciones correspondientes a los ítems I4 e I5 aún no están disponibles y se busca predecirlas usando las calificaciones de los usuarios más similares al usuario U1. Supongamos que los usuarios U2 y U4 son los más similares al usuario U1; entonces, la predicción para el ítem I5 del usuario U1 sería el promedio de la calificación del ítem I5 del usuario U2 y U4, que corresponde a una calificación de 4.

FILTRADO HÍBRIDO

El filtrado híbrido consiste en combinar dos o más técnicas de recomendación para complementar los algoritmos y resolver sus limitaciones al implementarse de manera individual.

El filtrado basado en contenido presenta un problema de novedad, en donde las sugerencias de los motores de recomendación se basan exclusivamente en el perfil del usuario; es decir, si al usuario le gustan las películas de terror, entonces se le recomendarán películas del mismo género sin tomar en cuenta otros géneros. Mientras que en el filtrado colaborativo se presenta el problema de arranque en frío, en donde generar predicciones es complejo



Figura 2. Ejemplo de información secuencial para el usuario U1 y ejemplo de información de sesiones para el usuario U2. Imagen elaborada con recursos gráficos de flaticon.com y Amazon.com.

cuando los usuarios tienen un bajo número de ítems calificados o no han calificado ningún ítem.

RECOMENDACIONES SECUENCIALES Y BASADAS EN SESIONES

Recientemente, los sistemas de recomendación secuenciales y basados en sesiones (Wang *et al.*, 2022) han surgido como un nuevo paradigma que captura las preferencias dinámicas y a corto plazo del usuario para generar recomendaciones más precisas y oportunas. Estos algoritmos se basan en las interacciones del usuario hacia los ítems a lo largo del tiempo.

Una interacción está constituida por un usuario, un ítem y una acción, por ejemplo, un clic, una vista o una compra. Una secuencia o sesión es un conjunto de interacciones con propiedades específicas, como la longitud (número de interacciones) de la secuencia o sesión, el orden interno, el tipo de acción (vista, compra o clic), la información disponible del usuario y la estructura de los datos.

A diferencia de los sistemas de recomendación secuenciales, que solo tienen una secuencia de interacciones por usuario, en las recomendaciones basadas en sesiones los usuarios pueden tener más de una sesión, las cuales están separadas por intervalos de tiempo.

En la Figura 2 se presenta un ejemplo de información secuencial para el usuario U1, que ha leído una saga de libros de *Los Juegos del Hambre* y la información de sesiones del usuario U2, que ha comprado o visto diferentes ítems en tres sesiones distintas separadas por intervalos de tiempo; es decir, la sesión 1 y 2 pueden tener una diferencia de 2 o 3 semanas, y la sesión 2 y 3 pueden tener una diferencia de tiempo de N semanas.

La idea de estos algoritmos es usar un conjunto de datos sobre interacciones de los usuarios hacia los ítems para predecir las siguientes acciones de los usuarios como compras, vistas o clics.

Además, estas técnicas son una tendencia en los sistemas de recomendación debido a que los últimos avances en *NLP*, *Deep Learning* y *LLMs* se están empleando para generar nuevos modelos de recomendación (Vats *et al.*, 2024).

Explicación basada en el usuario	Explicación basada en el ítem
El libro <i>Los Detectives Salvajes</i> de Roberto Bolaño fue recomendado a ti porque tus usuarios similares Pedro y Pablo han comprado ese mismo ítem antes.	El libro <i>Los Detectives Salvajes</i> de Roberto Bolaño fue recomendado a ti porque tú leíste un libro del mismo autor antes.

Tabla 2. Ejemplos de explicación de recomendaciones basadas en el usuario y basadas en el ítem.

RECOMENDACIÓN EXPLICABLE

Otra tendencia de investigación en los sistemas de recomendación es generar nuevos modelos de explicación (Zhang y Chen, 2020), también conocidos como modelos interpretables o transparentes, los cuales describen por qué específicos ítems fueron recomendados a ciertos usuarios.

Esto es para mejorar la transparencia, persuasión, eficacia, confiabilidad y satisfacción del usuario en los sistemas de recomendación. Asimismo, garantiza una mejor depuración de errores para el algoritmo de recomendación.

Un ejemplo de una explicación de recomendación tradicional se muestra en la Tabla 2, en donde

en la parte izquierda se presenta una explicación basada en el usuario y en la parte derecha se observa una explicación basada en el ítem.

SISTEMAS DE RECOMENDACIÓN CONVERSACIONALES

Existen escenarios en los que las preferencias del usuario no pueden ser estimadas usando sus interacciones pasadas; por ejemplo, cuando se recomienda un celular o una casa. Hay recomendaciones que dependen altamente de su contexto y que pueden ser complejas de determinar debido a las necesidades y situaciones actuales del usuario. Otra suposición es que los usuarios ya conocen sus preferencias o las construyen en el proceso de decisión cuando observan las diferentes opciones de los ítems.

El objetivo de un sistema de recomendación conversacional es recomendar eficientemente ítems a los usuarios a través de una interfaz de diálogo. Esta tecnología contiene múltiples subtareas como la identificación de las preferencias del usuario, la recomendación, la explicación y la búsqueda de información del ítem (Feng *et al.*, 2023). Además, los desafíos que enfrentan son:

1. ¿Cómo gestionar y resolver las subtareas?
2. ¿Cómo generar respuestas correctamente que interactúen con los usuarios?

En la Tabla 3 se presenta un ejemplo de un sistema de recomendación conversacional, en donde un CRS tiene la habilidad de gestionar y resolver las subtareas. Asimismo, una tecnología de este tipo necesita generar respuestas que interactúen con el usuario.

Usuario	Quiero encontrar un drama legal
Robot: Identificación de preferencias del usuario	¿Algún actor o director favorito?
Usuario	Quiero que una actriz tenga el papel principal
Robot: Recomendación	¿Qué tal <i>Suits</i> ? Es un drama legal sobre un brillante desertor universitario
Usuario	¿Por qué me lo recomiendas?
Robot: Explicación	Es una película legal cuyo papel principal es una mujer. Y la historia es fantástica e interesante
Usuario	De acuerdo, ¿en qué período de tiempo transcurre?
Robot: Búsqueda de información del ítem	De 2011 a 2012
Usuario	¡Gracias! Me gusta esta película
Robot	Suena bien

Tabla 3. Ejemplo de un sistema de recomendación conversacional (modificada de Feng *et al.*, 2023).



CONCLUSIONES

La transformación digital es un nuevo paradigma económico y social en donde el principal activo es el conocimiento basado en la información para mejorar la toma de decisiones de las personas, las empresas, el gobierno u otras organizaciones. De esta manera, por la naturaleza de los sistemas de recomendación, se han convertido en una de las principales tecnologías de la era digital. Existen diversos enfoques de recomendación para aprovechar las diversas fuentes de información en diferentes dominios de aplicación. Otro fuerte impulso para los sistemas de recomendación además del comercio electrónico, es la Industria 4.0, que busca integrar la inteligencia artificial, la impresión 3D, el internet de las cosas (IoT) y otros avances tecnológicos en los procesos industriales y de fabricación. Por tal motivo, es importante generar nuevos recursos de recomendación en distintos idiomas y dominios de aplicación.

REFERENCIAS

Castells P and Jannach D (2023). *Recommender Systems: A Primer*. Recuperado de: <http://arxiv.org/abs/2302.02579>.

Feng Y, Liu S, Xue Z, Cai Q et al. (2023). *A Large Language Model Enhanced Conversational Recommender System*. Recuperado de: <http://arxiv.org/abs/2308.06212>.

Jannach D, Manzoor A, Cai W and Chen L (2020). *A Survey on Conversational Recommender Systems*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1145/3453154>.

Kemp S (2024). *Digital 2024*. Recuperado de: <https://wearesocial.com/es/blog/2024/01/digital-2024/>.

Morales VG, Pinto D, Rojas F y Gonzales J (2022). A Systematic Literature Review on the Hybrid Approaches for Recommender Systems. *Computación y Sistemas*, 26(1):357-372.

Morales-Murillo VG, Pinto D, Perez-Tellez F and Rojas-Lopez F (2024). A Transformer-Based Multi-Domain Recommender System for E-commerce. *International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics* 15(2):95-123.

Moreira GDSP, Rabhi S, Lee JM, Ak R and Oldridge E (2021). Transformers4Rec: Bridging the Gap between NLP and sequential/session-based recommendation. *RecSys 2021-15th ACM Conference on Recommender Systems*.

Vats A, Jain V, Raja R y Chadha A (2024). *Exploring the Impact of Large Language Models on Recommender Systems: An Extensive Review*. Recuperado de: <http://arxiv.org/abs/2402.18590>.

Wang S, Zhang Q, Hu L, Zhang X, Wang Y and Aggarwal C (2022). Sequential/Session-based Recommendations: Challenges, Approaches, Applications and Opportunities. *SIGIR 2022-Proceedings of the 45th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*.

Zhang Y and Chen X (2020). Explainable recommendation: A survey and new perspectives. *Foundations and Trends in Information Retrieval*. 14(1):1-101.

Víctor Giovanni Morales Murillo
Karina Cancino Villatoro
Universidad Politécnica de Tapachula
vg055@hotmail.com

Los daños generados por las corrientes de fuga y su impacto en los vehículos eléctricos

Julio A. **Cao-Romero-Gallegos**
Leonardo I. **Farfán-Cabrera**

Los autos eléctricos contienen cinco componentes principales en su tren motriz para su buen funcionamiento: unidad de control electrónico, baterías, convertidores (inversores) eléctricos, motor(es) eléctricos y transmisión por engranajes o caja reductora. Hay tres configuraciones comúnmente usadas en el mercado (ver Figura 1). La primera es el motor de cubo de rueda, comúnmente utilizado cuando se prioriza la compactibilidad, ligereza y eficiencia energética. Segunda, el motor central con transmisión de una marcha o multimarcha. El motor central con transmisión de una marcha es el más utilizado en vehículos eléctricos debido a su costo-beneficio. La arquitectura de esta configuración es la más simple, ya que el motor eléctrico va acoplado directamente a las ruedas por medio de una flecha, una caja reductora de engranajes y un diferencial. La caja reductora de engranajes se utiliza para compensar la alta velocidad a la que los motores eléctricos giran ($>10,000$ RPM) (Wu *et al.*, 2018). Finalmente, está la configuración de multimotor, que puede incluir de dos a cuatro motores eléctricos, dependiendo del desempeño y la velocidad máxima deseadas en el automóvil. Precisamente, a partir de dos motores eléctricos se puede lograr una tracción integral

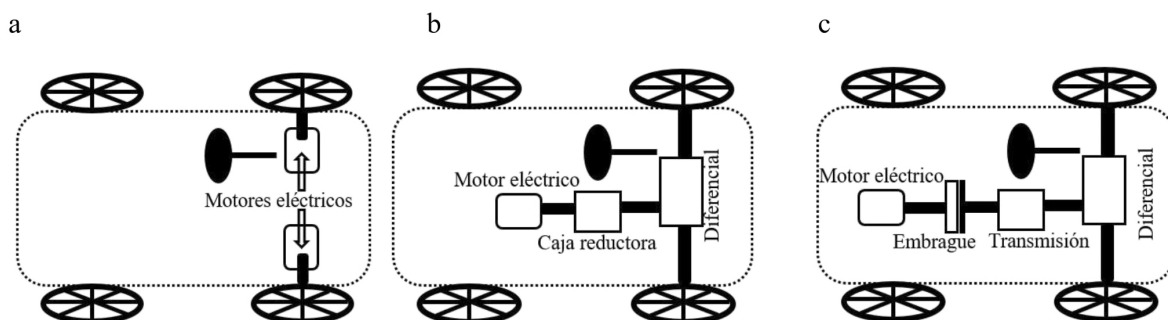


Figura 1. Configuraciones del tren motriz de autos eléctricos. a) Motor de cubo de rueda (*in-wheel motor*); b) motor central con transmisión de una marcha; c) motor central con transmisión multimarcha.

para condiciones de baja adherencia (como en situaciones de lluvia o nieve), y con cuatro motores eléctricos, una tracción para condiciones *off-road*.

Cuando se utiliza una transmisión multimarcha, el uso de la caja reductora ya no es necesario porque la transmisión compensa la velocidad de giro del motor eléctrico con las diferentes marchas. Incluso estas configuraciones permiten que el motor eléctrico opere con factores de carga más eficientes y mayor desempeño. Actualmente hay varios tipos de transmisiones multimarcha disponibles para autos eléctricos: transmisión de doble embrague (*dual-clutch*), transmisión de velocidad continua (*CVT*), transmisión manual automatizada y transmisión automática.

Además, hay distintos tipos de motores eléctricos utilizados en vehículos eléctricos. Entre ellos están el motor síncrono de imán permanente, motor de inducción, motor de reluctancia variable y el motor de corriente directa (*DC*) sin escobillas. Estos motores se utilizan según el desempeño deseado (como se muestra en la Figura 2). Hoy en día, el motor más utilizado para autos eléctricos es el motor síncrono de imán permanente debido a sus características y desempeño (Ramesh y Lenin, 2019).

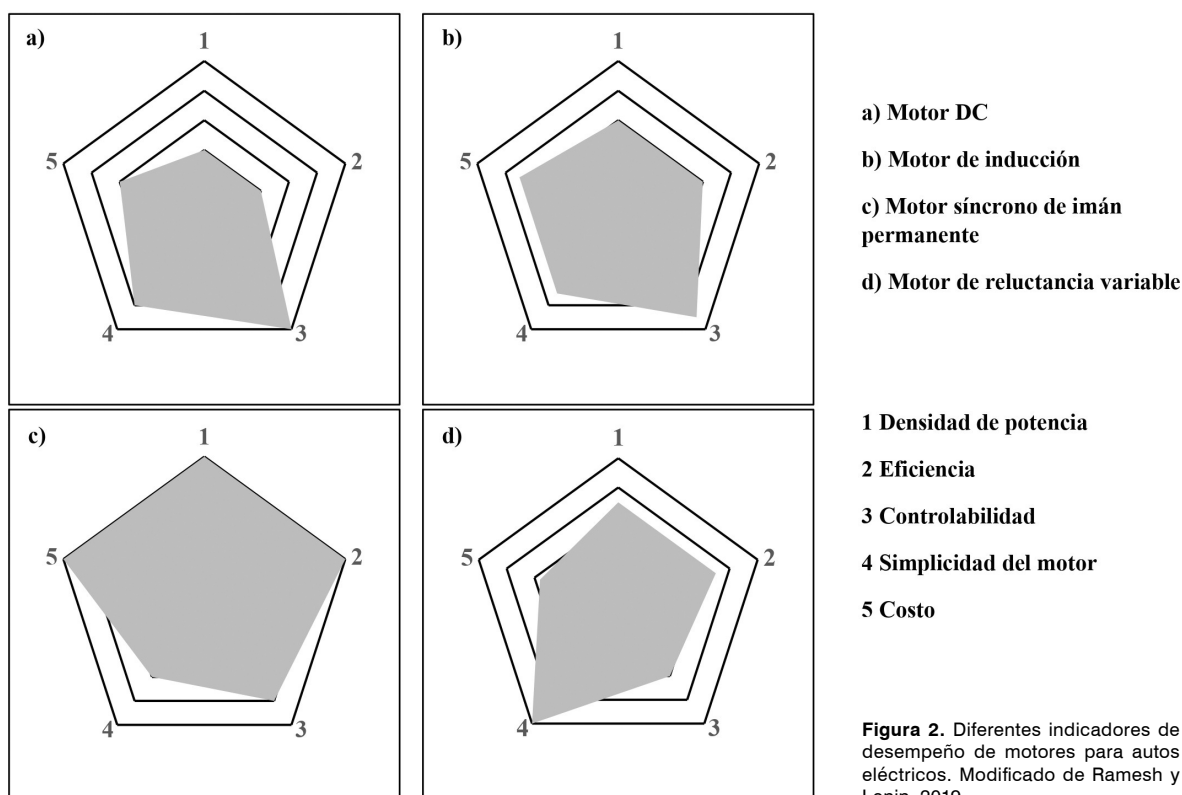
FALLAS DE MOTORES ELÉCTRICOS

Los autos eléctricos son reconocidos por considerarse de bajo mantenimiento porque, en comparación con un auto de combustión interna, tienen menos componentes propensos a fallar por desgaste

(Farfán-Cabrera L, 2019). Sin embargo, excluyendo el conjunto de baterías, uno de los componentes más críticos y propensos a fallar es el motor eléctrico (mostrado en la Figura 3). Los motores eléctricos pueden presentar fallas mecánicas y eléctricas. Desde fallas por vibraciones, hasta fallas por fluctuaciones de voltaje debido a los convertidores eléctricos; son estos últimos los que permiten la variación de velocidad del motor eléctrico. En ambos tipos de fallas, los componentes más propensos a dañarse son los rodamientos. Estadísticamente, se ha mencionado que alrededor del 40 % de las fallas de motores eléctricos se origina en los rodamientos (Singh y Ahmed Saleh Al Kazzaz, 2003). Además, el 8 % de estas fallas corresponde a fallas eléctricas por corrientes de fuga (Hadden *et al.*, 2016).

LAS CORRIENTES DE FUGA

Las corrientes de fuga son producidas por diferentes fuentes como: efectos electromagnéticos, electrostática y voltajes inducidos por el inversor (Busse *et al.*, 1997). Las corrientes de fuga son causadas porque se envían pulsaciones eléctricas de alta frecuencia al motor eléctrico para que gire, y hay situaciones en que las pulsaciones no se consumen por el motor. Así, las pulsaciones se fugan como corriente eléctrica hacia la flecha del motor y, en consecuencia, a diferentes componentes del tren motriz, como los rodamientos y los engranajes (mostrados en la Figura 4). Los rodamientos han sido los más comúnmente dañados debido a sus dimensiones y la pequeña cantidad de lubricante que utilizan.

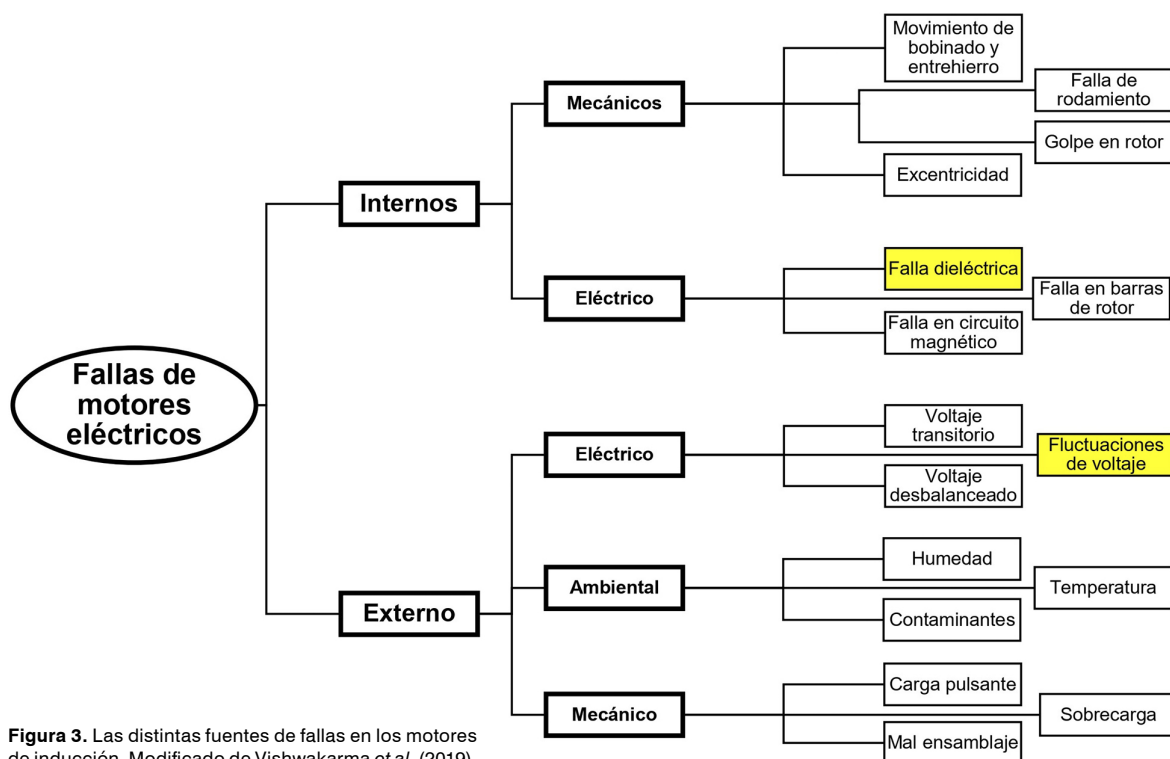


Muchos estudios han demostrado los daños severos que pueden causar las corrientes de fuga en los rodamientos de los motores eléctricos, y uno de los más completos ha sido escrito por He *et al.* (2020). Dependiendo de los materiales y lubricantes utilizados en los rodamientos, los daños más comunes y severos que pueden causarse por estas corrientes de fuga son: *fluting*, *frosting*, *pitting* y *welding* en casos extremos. Además, el lubricante (sea grasa o aceite) puede degradarse significativamente por estas corrientes, contribuyendo a un deterioro acelerado de los rodamientos. De hecho, se ha demostrado que la exposición de los lubricantes a corrientes eléctricas puede ocasionar: degradación térmica, separación de aditivos, oxidación, pérdida de viscosidad y lubricidad (Spikes H, 2020).

MITIGACIÓN DE LAS CORRIENTES DE FUGA

Se han propuesto diferentes soluciones eléctricas para evitar las consecuencias causadas por estas corrientes como: instalación de filtros sinusoidales, conexión a tierra de la flecha, blindaje eléctrico del

cableado, ajuste de la conexión a tierra de la cubierta del motor, reducción de la frecuencia de salida del inversor, entre otros (Busse *et al.*, 1997). En el caso de las soluciones mecánicas, se ha optado por instalar anillos deslizantes para conectar a tierra o desviar las corrientes de fuga, y aislamiento de los rodamientos mediante el uso de materiales cerámicos, ya sea como sustrato o recubrimiento (Hadden *et al.*, 2016). Más recientemente, se ha investigado el uso de lubricantes como una opción complementaria para aportar protección contra los daños eléctricos derivados de las corrientes de fuga. En general, se ha recomendado que estos lubricantes contengan buenas propiedades de lubricidad, cuenten con alta resistencia dieléctrica y baja resistencia eléctrica. Esas características en el lubricante podrían obtenerse a través de los aditivos y la química que los componen. Los aceites de transformador son un buen ejemplo de fluidos diseñados para estar expuestos a condiciones de alta potencia eléctrica. Estos se formulan con muy baja viscosidad y con



características de alta resistencia dieléctrica, baja conductividad eléctrica, alta estabilidad térmica y presencia de aditivos antioxidantes (Rajab *et al.*, 2016). Así, las correctas propiedades eléctricas en los lubricantes pueden disminuir el daño causado por las corrientes de fuga, ya que las descargas eléctricas producidas en los rodamientos o engranajes serían de menor ocurrencia e intensidad.

RETOS ACTUALES

Actualmente los autos eléctricos son un producto popular para su uso principalmente en ciudad, ya que su autonomía y la infraestructura para cargar las baterías aún son limitadas. Sin embargo, es importante considerar las corrientes de fuga, ya que afectan el desempeño, la confiabilidad y la durabilidad de los componentes del tren motriz. Es fundamental el estudio, diseño y

el correcto uso de materiales para engranajes, rodamientos y lubricantes utilizados en el tren motriz de autos eléctricos. Para esto se utilizan máquinas tribológicas con instrumentación especial que permite estudiar materiales y lubricantes en condiciones que simulen las del tren motriz. De este modo es posible el desarrollo de materiales y fluidos adecuados para la fabricación de autos eléctricos (Farfán-Cabrera L, 2019).

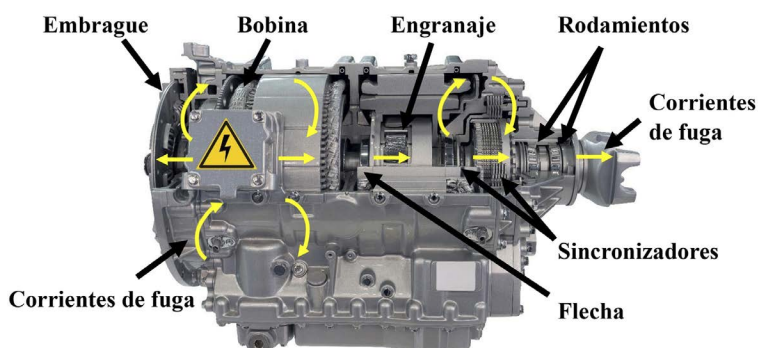
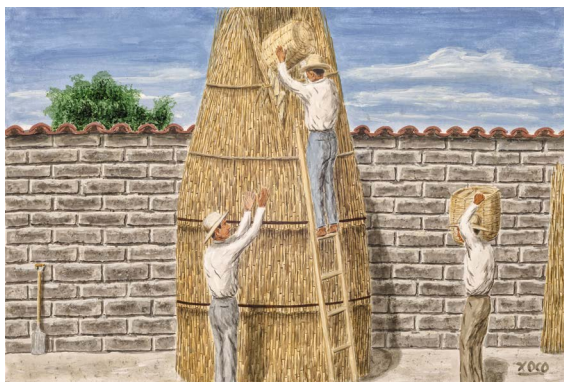


Figura 4. Componentes internos de un sistema de transmisión para un tren motriz híbrido. Se muestra el motor eléctrico y sus elementos de transmisión expuestos a las corrientes de fuga.



© **Raúl Chiquito**. a) *Cal viva*. Elaborando cal para usarse en el nixtamal. b) *Tallos de maíz*. Construyendo cerca con chinamites de maíz. c) *Llenando cencal*. Llenando cencal con mazorca. d) *Escondiendo mujeres*. Escondiendo mujeres en las monotoneras de zacate durante la revolución.

G L O S A R I O

Fluting: la exposición a descargas eléctricas periódicas propicia la formación de estrías o surcos en las pistas de los rodamientos.

Frosting: descargas de baja potencia provocan pequeñas picaduras y con el paso del tiempo empiezan a generar una superficie erosionada en rodamientos.

Pitting: descargas eléctricas de alta tensión pueden provocar la formación de pequeñas aberturas o cráteres en la superficie de rodamientos.

Resistencia dieléctrica: característica de un material aislante para resistir la aplicación de un campo eléctrico sin que se produzca una descarga o conducción eléctrica.

Welding: cuando las superficies de rodamientos son expuestas a corrientes eléctricas extremas se puede generar el fenómeno de soldadura.

R E F E R E N C I A S

- Busse D, Erdman J, Kerkman R *et al.* (1997). Characteristics of shaft voltage and bearing currents. *IEEE Industry Applications Magazine* 3(6):21-32.
- Farfán-Cabrera L (2019). Tribology of electric vehicles: A review of critical components, current state and future improvement trends. *Tribology International* 138:473-486.
- Hadden T, Jiang JW, Bilgin B *et al.* (2016). A Review of Shaft Voltages and Bearing Currents in EV and HEV Motors. *IECON 2016-42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 1578-1583.
- He F, Xie G and Luo J (2020). Electrical bearing failures in electric vehicles. *Friction* 8(1):4-28.

Rajab A, Sulaeman A, Sudirham S and Harjo S (2011). A Comparison of Dielectric Properties of Palm Oil with Mineral and Synthetic Types Insulating Liquid under Temperature Variation. *ITB Journal of Engineering Science* 43(3):191-208.

Ramesh and Lenin (2019). High Power Density Electrical Machines for Electric Vehicles-Comprehensive Review Based on Material Technology. *IEEE Transactions on Magnetics* 55:1-21.

Singh and Ahmed Saleh Al Kazzaz (2003). Induction machine drive condition monitoring and diagnostic research-a survey. *Electric Power Systems Research* 64(2):145-158.

Spikes H (2020). Triboelectrochemistry: Influence of Applied Electrical Potentials on Friction and Wear of Lubricated Contacts. *Tribology Letters* 68(3).

Kumar S, Prakash Bharti O, Varshney L, Saket RK and Vishwakarma DN (2019). Probabilistic evaluation and design aspects for reliability enhancement of induction motor. *International Journal of Reliability and Safety* 13(4):267.

Wu J, Liang J, Ruan J, *et al.* (2018). Efficiency comparison of electric vehicles powertrains with dual motor and single motor input. *Mechanism and Machine Theory* 128:569-585.

Julio A. Cao-Romero-Gallegos
Leonardo I. Farfán-Cabrera
Escuela de Ingeniería y Ciencias
Tecnológico de Monterrey campus Monterrey
A01327704@tec.mx



© Raúl Chiquito. *Agujero de maíz*. Extrayendo mazorcas del cencal.

Probióticos: ¿nueva esperanza para las personas con ansiedad y depresión?

Gilberto Uriel Rosas Sánchez
César Soria Fregozo

Por muchos años, el tratamiento de los desórdenes del estado de ánimo, como la ansiedad y depresión, se ha limitado al uso de fármacos que modulan la neuroquímica cerebral. Sin embargo, investigaciones emergentes han incluido al eje microbiota-intestino-cerebro como factor importante en el mantenimiento de la salud mental (Yong *et al.*, 2020). Los avances recientes reportan que los microorganismos que habitan nuestro sistema digestivo desempeñan un papel crucial en la regulación de las emociones (Yong *et al.*, 2020). Los probióticos son microorganismos vivos que, administrados en cantidades adecuadas, aportan grandes beneficios a la salud del huésped, por lo que se les ha considerado como potenciales coadyuvantes terapéuticos en trastornos del estado de ánimo (Ferrari *et al.*, 2024).

COMUNICACIÓN DEL EJE INTESTINO-CEREBRO

En el tracto gastrointestinal se encuentran cerca de 100 billones de microorganismos, lo que se conoce como microbiota intestinal. La microbiota mantiene una comunicación bidireccional con el cerebro mediante vías neuronales, inmunológicas y endocrinas (Yong *et al.*, 2020). Esta doble comunicación intestino-cerebro permite que los eventos intestinales impacten en la función cerebral y viceversa (Ferrari *et al.*, 2024).



© Raúl Chiquito. *Elevando suelo*.
Subiendo el nivel del terreno para la construcción del templo.

La microbiota intestinal influye sobre dicho eje produciendo neurotransmisores como la serotonina (se sabe que el 90 % de serotonina se produce en el intestino); además, ayuda a modular la respuesta inflamatoria sistémica que puede afectar al cerebro y regula el eje hipotálamo-hipófisis-adrenal (HPA), que es crucial en la respuesta al estrés (Yong *et al.*, 2020).

Estos mecanismos sugieren que la composición de la microbiota podría tener implicaciones directas en el estado de ánimo y el comportamiento (Valles-Colomer *et al.*, 2019).

PROBIÓTICOS Y SU IMPACTO EN LA SALUD

Los probióticos se han asociado con varios beneficios para salud entre las que se destacan una mejora de la salud digestiva, reduciendo casos de diarrea y el síndrome del intestino irritable; ayudan a fortalecer el sistema inmunológico y prevención de infecciones gastrointestinales y respiratorias.

Recientemente, los investigadores alrededor del mundo han orientado sus estudios a probar el efecto de los probióticos, no solo por los múltiples beneficios que tienen en el sistema digestivo, sino por sus efectos sobre la salud mental; específicamente sobre estados de ansiedad y depresión (Lof *et al.*, 2022).

El término probiótico se deriva de la combinación de palabras que significan “para la vida” y fue propuesto en 1953. Estos microorganismos actúan a través de diferentes mecanismos; algunas cepas

estimulan la producción de neurotransmisores como serotonina, ácido gamma-aminobutírico (GABA) y noradrenalina, los cuales están implicados en la regulación del estado emocional y afectivo (Ferrari *et al.*, 2024).

Otros estudios han reportado que los probióticos ayudan a disminuir la permeabilidad de la barrera intestinal, proceso que reduce el paso de sustancias proinflamatorias a la circulación sistémica (Yong *et al.*, 2020). Además, disminuyen los niveles elevados de cortisol asociados al estrés y, por último, favorecen la producción de ácidos grasos de cadena corta, capaces de atravesar la barrera hematoencefálica para establecer efectos neuromoduladores una vez que han llegado al cerebro (Yong *et al.*, 2020; Ferrari *et al.*, 2024).

DISBIOSIS Y ALTERACIONES DEL ESTADO DE ÁNIMO

Al desequilibrio de la microbiota intestinal se le conoce como disbiosis. Diversos estudios han reportado que en condiciones de disbiosis se incrementan los procesos inflamatorios sistémicos, lo que contribuye a la aparición de cuadros de ansiedad y depresión (Xu *et al.*, 2024). En modelos animales, la transferencia de microbiota fecal de ratones con depresión a ratones libres de gérmenes induce comportamientos similares a los depresivos en estos animales (Xu *et al.*, 2024). Estas observaciones refuerzan la hipótesis de que la microbiota, en condiciones de disbiosis, contribuye al desarrollo de signos y síntomas de ansiedad y depresión.

Por otro lado, se ha demostrado que el estrés altera el HPA y la composición de la microbiota intestinal, lo que contribuye al establecimiento de la ansiedad o depresión. En este sentido, los probióticos pueden restablecer el funcionamiento del eje HPA (Jain *et al.*, 2024) y regular la producción de cortisol, el cual se ha comprobado que puede afectar la plasticidad cerebral en regiones como hipocampo y corteza cerebral, estructuras que regulan los procesos emocionales (Yong *et al.*, 2020). Estos mecanismos sugieren que los probióticos tienen un gran potencial para ser coadyuvantes en el tratamiento de la ansiedad y depresión.

Estudios preclínicos han reportado que la mezcla de probióticos, que incluye *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus reuteri* y *Lactobacillus plantarum*, son capaces de inhibir la permeabilidad de la barrera hematoencefálica e intestinal en un modelo de Parkinsonismo inducido por la neurotoxina 6-OHDA (Nápoles-Medina *et al.*, 2023). Esto sugiere que los probióticos pueden tener efectos favorables en la modulación del eje microbiota-intestino-cerebro, y podrían ser benéficos en el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas como el Parkinson, que posee una alta comorbilidad con alteraciones como ansiedad y depresión.

PROBIÓTICOS QUE AYUDAN A REGULAR NUESTRAS EMOCIONES

Las bacterias más utilizadas como probióticos se encuentran los *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* (Lof *et al.*, 2022), especialmente *L. reuteri*, *L. fermentum*, *L. plantarum*, *L. rhamnosus*, *L. acidophilus*, *L. bulgaricus*, *B. breve*, *B. longum*, *B. infantis*, con efectos sobre ansiedad y depresión (Ferrari *et al.*, 2024). Durante décadas la idea de que el intestino y el cerebro están conectados parecía una aseveración extraña; ahora la ciencia ha demostrado que el intestino no solo es un órgano encargado de la digestión, sino que además está fuertemente vinculado con la regulación de los estados de ánimo.

¿CÓMO ACTÚAN LOS PROBIÓTICOS EN ANSIEDAD Y DEPRESIÓN?

Diversos estudios sugieren que los probióticos secretan una amplia variedad de moléculas de señalización que pueden ejercer sus efectos en el Sistema Nervioso Central y sistema inmune. Estas moléculas incluyen neurotransmisores y precursores de serotonina, GABA, noradrenalina y dopamina, proteínas bacterianas, butiratos y otros compuestos bioactivos (Yong *et al.*, 2020).

La liberación y producción de ciertos neurotransmisores son cruciales para la regulación del estado de ánimo. Por ejemplo, se ha reportado que cepas del *Lactobacillus* incrementan los niveles de serotonina



© Raúl Chiquito. *Tequio comunitario*. Mayordomos efectuando trabajo comunitario en la limpieza de una zanja.

y dopamina, neurotransmisor involucrado con el placer. Además, los probióticos pueden actuar como inmunomoduladores, ya que influyen en la respuesta inmune al reducir la inflamación. Se ha reportado que la inflamación crónica puede favorecer la aparición de cuadros de ansiedad y depresión. En este sentido, el uso de probióticos puede disminuir la inflamación, posible mecanismo por el cual los probióticos regulan el estado de ánimo (Ferrari *et al.*, 2024).

Por otro lado, el uso de probióticos en humanos se encuentra en desarrollo y es prometedor. Ensayos clínicos controlados han evaluado el efecto de intervenciones con probióticos en síntomas de ansiedad y depresión, con resultados contradictorios, pero generalmente alentadores. Un metaanálisis que incluyó 34 ensayos controlados aleatorizados con más de 2,000 participantes, concluyó que la suplementación con probióticos se asociaba con reducciones significativas en las escalas de depresión y ansiedad, en comparación con la administración de placebo (Liu *et al.*, 2019). Los efectos más significativos se encontraron en individuos con diagnósticos clínicos de dichos trastornos, más que en sujetos sanos. Otro estudio, en el que se administró la combinación de *Lactobacillus acidophilus*, *L. casei*, *L. rhamnosus*, *Bifidobacterium longum* y *B. infantis* durante ocho semanas a pacientes con depresión mayor que continuaban sus tratamientos antidepressivos habituales, reportó mejoras significativas de los síntomas depresivos, en comparación

con quienes recibieron un placebo además de tratamiento farmacológico (Ng *et al.*, 2018).

LIMITACIONES Y PERSPECTIVAS

A pesar del potencial terapéutico de los probióticos, se debe considerar la heterogeneidad metodológica de las investigaciones, ya que los estudios varían en cuanto a cepas utilizadas, dosis, duración del tratamiento y población estudio, además de que no todos los probióticos ejercen efectos similares sobre el estado de ánimo (Prajapati *et al.*, 2024). Por otra parte, la respuesta a los probióticos puede variar según la composición basal de la microbiota de cada individuo, factores genéticos y ambientales (Valles-Colomer *et al.*, 2019), por lo que el uso de los probióticos debe considerarse como complemento y no como sustituto de los tratamientos convencionales para la ansiedad y depresión (Prajapati *et al.*, 2024).

El estudio del efecto de los probióticos sobre las alteraciones del estado de ánimo debe considerar la identificación de cepas específicas para determinar qué microorganismos son más efectivos para síntomas específicos y en subpoblaciones definidas; debe también precisar las vías moleculares mediante las cuales los probióticos influyen en el cerebro, diseñar intervenciones probióticas adaptadas al perfil microbiómico individual y explorar el potencial de los probióticos en la prevención o tratamiento de la ansiedad y depresión (Prajapati *et al.*, 2024).

En general, los probióticos son considerados seguros para la mayoría de las personas, sin embargo, pueden causar ciertos efectos secundarios leves como gases o malestar estomacal, específicamente al inicio del tratamiento.

En personas con sistema inmunológico comprometido o condiciones de salud graves se deben consumir con precaución. La efectividad de los probióticos también dependerá de la dieta, la genética, edad y estilos de vida. En conclusión, los probióticos son microorganismos benéficos que pueden contribuir a la salud intestinal y emocional, por lo que su uso

está siendo respaldado por una gran cantidad de evidencia científica, en donde se le considera como un coadyuvante para el tratamiento de la ansiedad o depresión.

R E F E R E N C I A S

- Ferrari S, Mulè S, Parini F, Galla R, Ruga S, Rosso G and Uberti F. (2024). The influence of the gut-brain axis on anxiety and depression: A review of the literature on the use of probiotics. *Journal of Traditional and Complementary Medicine* 14(3):237-255.
- Jain M, Anand A, Sharma N, Shamim MA and Enioutina EY. (2024). Effect of Probiotics Supplementation on Cortisol Levels: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients* 16(20):3564.
- Liu RT, Walsh RFL and Sheehan AE (2019). Prebiotics and probiotics for depression and anxiety: A systematic review and meta-analysis of controlled clinical trials. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 102:13-23.
- Lof J, Smits K, Melotte V and Kuil LE. (2022). The health effect of probiotics on high-fat diet-induced cognitive impairment, depression and anxiety: A cross-species systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 136:104634.
- Nápoles-Medina AY, Aguilar-Uscanga BR, Solís-Pacheco JR *et al.* (2023). Oral Administration of Lactobacillus Inhibits the Permeability of Blood-Brain and Gut Barriers in a Parkinsonism Model. *Behavioural Neurology* 2023(1):6686037.
- Ng QX, Peters C, Ho CYX, Lim DY and Yeo WS (2018). A meta-analysis of the use of probiotics to alleviate depressive symptoms. *Journal of Affective Disorders* 228:13-19.
- Prajapati K, Bisani K, Prajapati K *et al.* (2024). Advances in probiotics research: mechanisms of action, health benefits, and limitations in applications. *Systems Microbiology and Biomanufacturing* 4(2):386-406.
- Valles-Colomer M, Falony G, Darzi Y *et al.* (2019). The neuroactive potential of the human gut microbiota in quality of life and depression. *Nature Microbiology* 4:623-632.
- Xu Q, Sun L, Chen Q *et al.* (2024). Gut microbiota dysbiosis contributes to depression-like behaviors via hippocampal NLRP3-mediated neuroinflammation in a postpartum depression mouse model. *Brain, Behavior, and Immunity* 119:220-235.
- Yong SJ, Tong T, Chew J and Lim WL (2020). Antidepressive mechanisms of probiotics and their therapeutic potential. *Frontiers in Neuroscience* 13:1361.

Gilberto Uriel Rosas Sánchez
Estancias Posdoctorales por México (SECIHTI)
Centro Universitario de Los Lagos
Universidad de Guadalajara
gilberto.rosas@lagos.udg.mx
César Soria Fregozo
Centro Universitario de Los Lagos
Universidad de Guadalajara

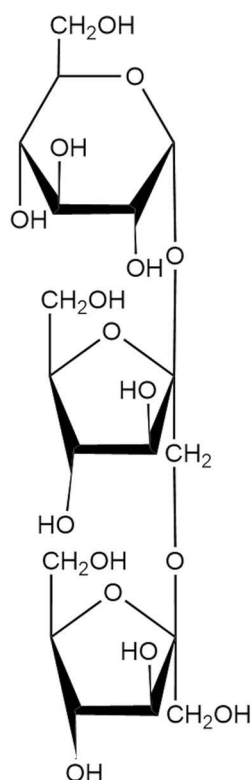
Aguamiel: un alimento con beneficios para la salud

Mónica A. **Robles-Arias**
Alma E. **Cruz-Guerrero**

El aguamiel es la savia fresca producida por el agave y las variedades de la especie *Salmiana* son las más comunes para su obtención; sin embargo, se pueden emplear otras especies como: *Agave macroculmis*, *A. ferox*, *A. tecta*, *A. mapisaga*, *A. mapisaga* var. *lisa* y *A. angustifolia*. Aunque se han incluido otras variedades para la obtención de aguamiel, como *A. atrovirens* Karw, *A. americana* o *A. weberi* Cels, la planta de *A. salmiana* var. *salmiana* es la más aceptada entre los consumidores (Guzmán-Pedraza y Contreras-Esquivel, 2018). Para la obtención del aguamiel se requiere que la planta de agave tenga entre 8 y 12 años, que es cuando se inicia la floración. Como paso principal para la extracción del aguamiel, se realiza un corte del tallo floral (*meloyote*) y de algunas hojas (*pencas*); posteriormente, se hace una cavidad en la parte central de la planta (mejor conocida como *cajete*), la cual tiene una profundidad entre 20 y 30 cm. Es entonces cuando comienza a brotar la savia de la planta, que los agricultores, conocidos como “tlachiqueros”, extraen con una calabaza seca llamada *acocote* (Villarreal-Morales *et al.*, 2019).

La recolección del aguamiel se realiza dos veces al día, obteniéndose un rendimiento promedio de 2 a 4 litros diarios durante un período de 3 a 6 meses, aproximadamente, por lo que es posible obtener hasta 720 litros

a)



b)

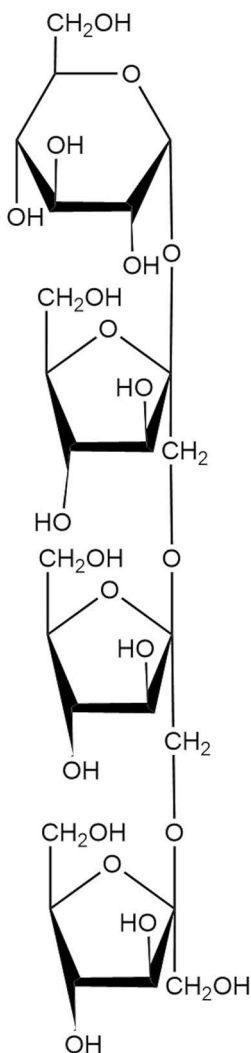


Figura 1. Fructooligosacáridos presentes en el agave. a) 1-kestosa, y b) nistosa.

de aguamiel; no obstante, una vez terminado ese período, la planta de agave muere (Ramírez-Cuellar *et al.*, 2018).

El aguamiel es un líquido ligeramente amarillo con un aroma herbáceo y un sabor ligeramente dulce por su contenido de azúcares como glucosa, fructosa y sacarosa; además, ofrece distintos efectos beneficiosos para la salud de sus consumidores debido a la presencia de compuestos como fructanos, aminoácidos, proteínas, minerales, vitaminas, saponinas, compuestos fenólicos y microbiota.

FRUCTANOS

Los fructanos son azúcares compuestos por largas cadenas de moléculas de fructosa unidas entre sí, con una molécula terminal de glucosa. A partir de la hidrólisis de los fructanos, es posible obtener fructooligosacáridos (FOS), que son cadenas más cortas de fructosa (entre 3 y 10 unidades), también enlazadas a una molécula de glucosa. Los FOS poseen actividad prebiótica, ya que no se digieren en el tracto gastrointestinal. Esto permite que lleguen intactos al colon, donde son fermentados por la microbiota intestinal. Como resultado de esta fermentación, se generan ácidos grasos de cadena corta (AGCC), compuestos que brindan diversos beneficios a la salud (Figura 1).

Entre los AGCC, el propionato y el butirato activan los receptores GPR41 y GPR43 en las células L del intestino, estimulando la liberación de hormonas como el péptido similar al glucagón tipo 1 (GLP-1). Esta hormona promueve la secreción de insulina e inhibe la de glucagón, lo que contribuye a la disminución de los niveles de glucosa en sangre. Además, la activación de dichos receptores induce la secreción del péptido YY (PYY), que reduce el apetito y retrasa el vaciamiento gástrico, lo que convierte a los FOS en aliados potenciales en estrategias para la pérdida de peso. Adicionalmente, los AGCC resultantes de la fermentación de los FOS reducen el pH del colon, lo que incrementa la solubilidad del calcio y facilita su absorción. También estimulan la mucosa intestinal, favoreciendo la captación activa tanto de calcio como de magnesio (Zhang *et al.*, 2023).

Gracias a estas propiedades bioactivas, así como a las características fisicoquímicas que aportan a las matrices alimentarias, los FOS han despertado un creciente interés en la industria alimentaria. Se ha demostrado que pueden actuar como endulzantes naturales y como sustitutos parciales de grasa en productos como quesos, galletas y helados (Espínosa-Andrews *et al.*, 2021).

PROTEÍNAS Y AMINOÁCIDOS

El aguamiel, líquido dulce extraído del maguey, puede contener hasta 11.96 g/L de proteínas, dependiendo

del cultivar. Sin embargo, cuando el aguamiel se fermenta para producir pulque, su contenido proteico disminuye considerablemente hasta alcanzar aproximadamente 1 g/L. Esta reducción se debe a los procesos microbiológicos que ocurren durante la fermentación.

En el caso del contenido de aminoácidos, se encontraron 9 de los 20 aminoácidos esenciales para la salud (valina, lisina, isoleucina, fenilalanina, prolina, treonina, alanina, tirosina e histidina) en aguamiel extraído de la especie *A. atrovirens* (Romero-López *et al.*, 2015). Es necesario el consumo de alimentos que contengan aminoácidos esenciales, ya que nuestro cuerpo no los sintetiza y son indispensables para diversos procesos fisiológicos. Por ejemplo, la prolina ayuda a la recuperación de los tejidos musculares, así como a su fortalecimiento y desarrollo. Por otro lado, la lisina ayuda al fortalecimiento del sistema inmune.

MINERALES

El aguamiel es una bebida tradicional que destaca por su valioso contenido mineral, entre los que sobresalen el potasio (120.44 mg/100 g) y el calcio (11.70 mg/100 g en materia seca), además de aportar hierro (0.81 mg/100 g) y zinc (0.18 mg/100 g). Su perfil nutricional ha llevado a proponerlo como una fuente natural de micronutrientes esenciales para ser incorporado en programas de salud pública, especialmente en países en desarrollo que enfrentan deficiencias minerales significativas (Romero-López *et al.*, 2015).

En particular, el calcio presente en el aguamiel adquiere especial relevancia en el contexto de la salud ósea. Se estima que hasta el 50 % de las mujeres mayores de 50 años sufrirá una fractura relacionada con la osteoporosis a lo largo de su vida. Considerando que la ingesta diaria recomendada de calcio para mujeres de 51 a 70 años es de 1,200 mg, incluir aguamiel en la dieta diaria representa una estrategia complementaria para reducir dicho riesgo de forma natural y culturalmente pertinente.

Se ha comprobado que el aumento en el consumo de potasio podría prevenir el endurecimiento de las arterias asociado con enfermedades graves del

corazón, como presión arterial alta, accidentes cerebrovasculares e infartos (D'Elia *et al.*, 2011), por lo que el consumo de aguamiel podría reducir el riesgo de sufrir dichos padecimientos. La promoción del consumo de aguamiel no solo contribuye al fortalecimiento nutricional, sino que también revaloriza una bebida ancestral con un gran potencial en la prevención de enfermedades relacionadas con la deficiencia de minerales.

VITAMINAS

Las vitaminas son compuestos de gran importancia para la salud en general; no obstante, deben ser consumidas a través de la dieta, ya que no pueden ser sintetizadas por nuestro organismo. Una deficiencia en su consumo puede provocar diversas enfermedades. Por ejemplo, la ingesta diaria recomendada de vitamina B6 para hombres y mujeres de entre 19 y 50 años es de 1.3 mg; esta deficiencia vitamínica se ha asociado con enfermedades neurológicas e inflamatorias. En el caso de la vitamina C, la recomendación diaria para adultos es de 90 mg para hombres y 75 mg para mujeres; una ingesta insuficiente puede causar escorbuto, enfermedad caracterizada por fatiga, debilidad general, hemorragias y anemia (Villarreal-Morales, 2019). El aguamiel es una fuente de vitamina B6 (0.57 mg/100 g en base seca), y destaca especialmente por su contenido de vitamina C, con una concentración de 17.99 mg/100 g en materia seca (Romero-López *et al.*, 2015).

SAPONINAS

Entre los fitoquímicos presentes en el aguamiel se encuentran las saponinas esteroideas, con una concentración de 1.17 g/100 g de muestra seca. Estos compuestos poseen diversas actividades biológicas relevantes, como efectos antiinflamatorios, antibacterianos, antitumorales y antivirales (Hernández-Domínguez *et al.*, 2023). Sin embargo, la evidencia clínica sobre su efectividad en el tratamiento de enfermedades aún es limitada.

La actividad terapéutica de las saponinas de agave ha sido evaluada *in vitro* frente a distintos tipos de cáncer, como leucemia, cáncer cervical y cáncer de colon. Asimismo, se ha demostrado su efecto positivo contra el síndrome metabólico en estudios realizados con modelos animales. A pesar de estos hallazgos, se requieren más estudios clínicos que confirmen sus beneficios en humanos, así como la cantidad necesaria para su consumo terapéutico (Vázquez-Rodríguez *et al.*, 2021).

COMPUESTOS FENÓLICOS

Los compuestos fenólicos están formados por uno o más anillos aromáticos (Figura 2). Dichas moléculas son capaces de estabilizar los radicales libres, asociados al envejecimiento y a diversas enfermedades como la arterioesclerosis, cáncer, Alzheimer y Parkinson (Hernández-Domínguez *et al.*, 2023). Los compuestos fenólicos son de gran importancia para la salud, ya que pueden inhibir la oxidación de lipoproteínas de baja densidad (como el colesterol), disminuyendo la probabilidad de padecer enfermedades cardíacas (Ramírez-Cuellar *et al.*, 2018). A pesar de que la información sobre compuestos fenólicos en el agave y su efecto benéfico en la salud es aún escasa, se han identificado algunos compuestos bioactivos como flavonoides, glucósidos de kakaferrol y glucósidos de quercetina (Hernández-Ramos *et al.*, 2025).

MICROBIOTA

En el aguamiel, los microorganismos presentes corresponden principalmente a bacterias, entre las que destacan bacterias ácido-lácticas (BAL) del género *Lactobacillus* y *Pediococcus*, responsables de la acidez, así como levaduras de los géneros *Saccharomyces* y *Kluyveromyces* que convierten los azúcares en etanol. Por su parte, la presencia de bacterias del género *Leuconostoc*, productoras de exopolisacáridos, otorgan viscosidad durante la fermentación del aguamiel para la obtención de pulque (Guzmán-Pedraza y Contreras-Esquivel, 2018). Las BAL

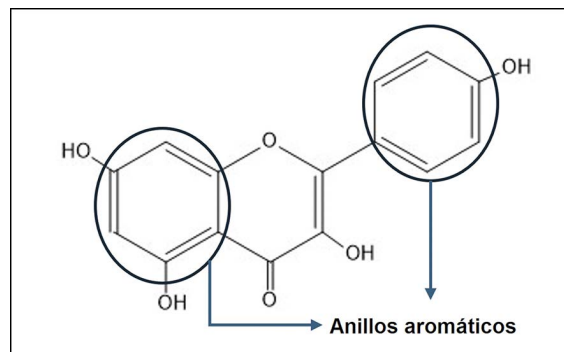


Figura 2. Estructura del kaempferol, compuesto fenólico presente en el aguamiel.

son consideradas “probióticas”, término que se refiere a microorganismos vivos que, al ser consumidos, proporcionan beneficios para la salud. Algunos de los beneficios reportados debido al consumo de probióticos son: coadyuvancia en el tratamiento de diarrea infecciosa, diarrea relacionada con antibióticos y disminución de los síntomas del síndrome de intestino irritable, entre otros (Zhang *et al.*, 2023).

Debido a su microbiota nativa y a los azúcares que posee, el aguamiel debe ser consumido pocas horas después de ser extraído y debe observarse una cadena de frío con la finalidad de que no se fermente y se convierta en pulque, con lo cual se altera su sabor, composición y propiedades nutrimentales.

CONCLUSIONES

En la actualidad podemos encontrar otras bebidas que al ser consumidas otorgan beneficios a la salud debido a la presencia de compuestos con actividad biológica, tal es el caso del kéfir. A diferencia del aguamiel, que se obtiene directamente del maguey, el kéfir es producto de la fermentación de la leche por un consorcio de bacterias y levaduras (conocidos como búlgaros o gránulos de kéfir); debido a ello, tanto su sabor como perfil nutricional son diferentes. Mientras el aguamiel tiene un sabor dulce, el kéfir es ligeramente ácido; en cuanto a su perfil nutricional, el aguamiel es rico en azúcares y minerales como calcio y potasio, y en vitaminas B y C, en tanto que el kéfir tiene un alto contenido de calcio y vitaminas B12 y K2.



© Raúl Chiquito. a) *Maza de madera*. Rompiendo terromotes con una maza de madera. b) *Boyero*. El boyero don Andrés Pérez llamando a los dueños de ganado. c) *Giro zopilote*. Zopilotes girando en torno a un cadáver. d) *Hacienda Buenavista*. La hacienda de Buenavista y el Cerro del Chiquihuite.

El aguamiel es una bebida ancestral mexicana que, debido a su contenido nutrimental –proteínas, aminoácidos y minerales–, es un alimento que ayuda a cumplir con nuestros requerimientos nutrimentales. El consumo de dicha bebida no solo se limita al disfrute de una bebida refrescante, sino que también aporta numerosos beneficios para la salud; además, su consumo apoya a las economías locales y a mantener las tradiciones agrícolas y nuestra identidad mexicana.

REFERENCIAS

- D'Elia L, Barba G, Cappuccino FP and Strazzullo P (2011). Potassium intake, stroke, and cardiovascular disease: a meta-analysis of prospective studies. *Journal of the American College of Cardiology* 57(10):1210-1219.
- Espinosa-Andrews H, Urias-Silvas JE and Morales-Hernandez N (2021). The role of agave fructans in health and food applications: A review. *Trends in Food Science and Technology* 114:585-598.
- Guzmán-Pedraza R and Contreras-Esquivel JC (2018). Aguamiel and its fermentation: Science beyond tradition. *Mexican Journal of Biotechnology* 3(1):1-22.
- Hernández-Domínguez EM, Álvarez-Cervantes J y López-Vázquez E (2023). Aprovechamiento de compuestos bioactivos en el agave y sus productos. En *Magüey aguamiel/pulque: una visión para el desarrollo territorial* (pp. 147-170). Consejo Editorial/El Colegio del Estado de Hidalgo, México.
- Hernández-Ramos L, García-Mateos M e Ybarra-Moncada MC (2025). Componentes antioxidantes y calidad nutricional de aguamiel de diversos

cultivares de agave pulquero (*Agave salmiana* y *A. mapisaga*). *Poli-botánica* 59:275-293.

Ramírez-Cuellar LI, Alfaro-Rodríguez C, Ramos-Muñoz LG *et al.* (2018). Capacidad antioxidante, fenoles totales y análisis microbiológico del aguamiel. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos* 3:495-500.

Romero-López MR, Osorio-Díaz P, Flores-Morales A *et al.* (2015). Chemical composition, antioxidant capacity and prebiotic effect of aguamiel (*Agave atrovirens*) during in vitro fermentation. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 14(2):281-292.

Vázquez-Rodríguez B, Gutiérrez-Urbe JA, Guajardo-Flores D, Santos-Zea L (2022). Microencapsulation of steroidal saponins from agave sap concentrate using different carriers in spray drying. *Food Science and Technology International* 28(7):622-633.

Villarreal-Morales SL, Muñoz-Márquez DB, Michel-Michel M *et al.* (2019). Aguamiel a fresh beverage from Agave spp. sap with functional properties. En *Natural Beverages* (pp. 179-208). Academic Press, Estados Unidos.

Zhang D, Jian YP, Zhang YN *et al.* (2023). Short-chain fatty acids in diseases. *Cell Communication and Signaling* 21(1):212.

Mónica A. Robles-Arias
CONAHCYT
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Departamento de Biotecnología
Alma E. Cruz-Guerrero
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Departamento de Biotecnología
aec@xanum.uam.mx

© Raúl Chiquito. *Gallo de oro*. Gallo mágico en el promontorio Coyotepec.

