



ciencia

Revista de la Academia Mexicana de Ciencias

Novedades científicas

**Las suculentas y la vista,
una relación inesperada**

**Tejer o no tejer...
Las diversas estrategias
de caza de las arañas**

**¿Nos predisponen los
genes al consumo de drogas?**

**El romero, una planta
para el alivio del dolor**

**Las emociones en la
toma de decisiones**

**Una nueva terapia para
la leucemia linfoblástica aguda**

**La unión hace la fuerza:
historia de los líquenes**

**Innovaciones tecnológicas
en la UAM: una mirada
desde el doctorado**



CONSEJO DIRECTIVO

agosto 2023 – agosto 2026

Presidente

José Antonio Seade Kuri

Vicepresidenta

Telma Gloria Castro Romero

Tesorera

Gloria Soberón Chávez

Secretarios

Elva Guadalupe Escobar Briones

Sergio López Ayllón

Presidentes de las Secciones Regionales de la AMC

Sección Noreste: Gloria María González González

Sección Noroeste: María Teresa Viana Castrillón

Sección Centro-Occidente: Alejandro De las Peñas Nava

Sección Centro-Sur: José Ramón Eguibar Cuenca

Sección Sur-Sureste: Dalila Aldana Aranda

Desde el Comité Editorial	3
<i>Alonso Fernández Guasti y Juan Pedro Laclette</i>	

Novedades científicas	
Relojes moleculares: ¿cuándo aparecieron las especies?	6
<i>María Concepción Jordán-Hernández, Susana Favela-Lara y Katia Lizeth Treviño-Cuéllar</i>	
El control de la temperatura corporal: cuestión de vida o muerte	14
<i>Jimena Rivera Rea, Eréndira Quintana Sánchez y Juan Carlos González Morales</i>	
Tejer o no tejer... Las diversas estrategias de caza de las arañas	20
<i>Karem Guadalupe Sánchez Solano, Dinesh Rao y Luis Eduardo Robledo Ospina</i>	
Los dientes, una importante fuente de información morfológica y ecológica	28
<i>Mónica Yanira Rodríguez-Pérez, María Pamela Bermúdez-González y Laura Sánchez-Velasco</i>	
La unión hace la fuerza: historia de los líquenes	34
<i>Aline Graciela Ruiz-Cazares y María del Rosario Gregorio-Cipriano</i>	
La Sierra de Guadalupe, una fuente de biodiversidad en la Cuenca de México	42
<i>Perla María del Carmen Acevedo Ramírez, Aarón Rodríguez Caballero y Elia Torres Gutiérrez</i>	
¿Cómo reducir los gases de efecto invernadero de los rumiantes?	50
<i>Germán David Mendoza Martínez, Nallely Sánchez López y María Eugenia de la Torre Hernández</i>	
Alfred Wallace: científico y militante social	58
<i>María Pino Castañón y Pablo Padilla Longoria</i>	
El romero, una planta para el alivio del dolor	64
<i>Janet Siles-Guevara, Myrna Déciga-Campos y María Eva González-Trujano</i>	
Las suculentas y la vista, una relación inesperada	72
<i>Anuar Salazar-Gómez y Luis Fernando Hernández-Zimbrón</i>	
El rábano: de lo comestible a lo nanotecnológico	78
<i>Gonzalo Guillermo Lucho Constantino, Fabiola Zaragoza Martínez y Juan Valente Megchún García</i>	
¿Nos predisponen los genes al consumo de drogas?	84
<i>Araceli Gutiérrez-Rodríguez, Brenda Loaiza y Rodrigo Marín-Navarrete</i>	
“Obesos sanos”, un término equivocado	90
<i>Lorena Judith Reynoso Ramírez, Beatriz Adriana Aguilar Galarza y César Campos Ramírez</i>	
Entendiendo el tormento de la cefalea en racimos	96
<i>Magdalena Avilés-Flores, Vera L. Petricevich y Gabriela Castañeda-Corral</i>	
Paracetamol, un analgésico popular que no es tan inocuo	102
<i>Félix González-Alvarado, Valeria Reynoso-Ramírez y José Alfredo González-Ortiz</i>	
Linfocitos T: desarrollo, activación y funciones	108
<i>David Andón García, Karla Aimee Patiño Santiago y Genaro Patiño López</i>	
Una nueva terapia para la leucemia linfoblástica aguda	114
<i>Ilse Fernanda Martínez Padilla y Mayra Cristina García Anaya</i>	
Las emociones en la toma de decisiones	122
<i>Antonio López Jaimes y Alicia Montserrat Alvarado-González</i>	

De actualidad	
Tejiendo el futuro: nanotecnología en la industria textil	129
<i>José de Jesús Serralta Macías y Juan Carlos Tapia Picazo</i>	

Desde la UAM	
Innovaciones tecnológicas en la UAM: una mirada desde el doctorado	137
<i>Mario A. De Leo Winkler, coordinador</i>	

Desde las redes	
Vaporizar huevos de dinosaurio para conocer su edad	148
Retos para disminuir la mortalidad por enfermedades no transmisibles	149
Mosquitos hackeados contra el dengue	150
<i>José Eduardo González Reyes</i>	

Noticias de la AMC	
	151



Portada: Pixabay.



Contraportada: Ana Viniegra.

ciencia, revista de la Academia Mexicana de Ciencias, volumen 76, número 4, correspondiente a octubre-diciembre de 2025, es una publicación electrónica trimestral, editada y distribuida por la Academia Mexicana de Ciencias, A. C., con domicilio en Casa Tlalpan, km 23.5 de la Carretera Federal México-Cuernavaca, Av. Cipreses S/N, Col. San Andrés Totoltepec, Alcaldía Tlalpan, C. P. 14400, Ciudad de México, tel. 55 5849 4905, www.revistaciencia.amc.edu.mx, rciencia@unam.mx.

Editor responsable legal: Francisco Salvador Mora Gallegos. Número de Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título: 04-2001-072510183000-102, expedido el 25 de julio de 2001; ISSN 2954-5285, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Fecha de última modificación: 24 de marzo de 2023. Certificado de Licitud de Título y Contenido 17371, expedido por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación.

El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de sus autores y no refleja de manera alguna el punto de vista de la Academia Mexicana de Ciencias. Queda prohibida la reproducción total o parcial del contenido por cualquier medio sin la autorización expresa de la Academia Mexicana de Ciencias.

ciencia

Revista de la Academia Mexicana de Ciencias
octubre-diciembre 2025 volumen 76 número 4

Director fundador

Ignacio Bolívar Urrutia (1850-1944)

Director

Alonso Fernández Guasti

Comité editorial

Raúl Antonio Aguilar Roblero
Dalila Aldana Aranda
Raymundo Cea Olivares
Gabriela Dutrénit Bielous
Gerardo Gamba Ayala
Adolfo Guzmán Arenas
Juan Pedro Laclette San Román
Miguel Ángel Pérez de la Mora
Carlos Prieto de Castro
Sergio Sánchez Esquivel
Gina Zabludovsky Kuper

Editora

Rosanela Álvarez

Corrección y enlace con autores

Leticia García Urriza

Social Media

José Eduardo González Reyes

Diseño y formación

Intidrinero, S.A. de C.V.

Ilustradora

Ana Viniegra, pp. 7, 15, 21, 29, 35, 59, 73, 79, 85, 123, 128

Pixabay: pp. 4, 5, 11, 12, 26, 40, 43, 47, 48, 51, 54, 55, 57, 66, 69, 70, 71, 82, 88, 89, 94, 103, 104, 106, 124, 139, 141, 145

Firefly (IA generativa de Adobe): pp. 16, 32, 91, 97, 109, 110, 115, 120, 135

Red

Walter Galván Tejada

Academia Mexicana de Ciencias, A.C.

Casa Tlalpan, km 23.5 de la Carretera Federal México-Cuernavaca, Av. Cipreses S/N, Col. San Andrés Totoltepec, Del. Tlalpan, C.P. 14400, Ciudad de México
tel.: 55 5849 4905

www.revistaciencia.amc.edu.mx



@CienciaAMC



ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Este número de la revista *Ciencia* ha sido posible gracias al patrocinio del
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Desde el Comité Editorial

Estimados lectores de la revista *Ciencia*:

Primero que nada, queremos manifestar nuestro profundo pesar por el fallecimiento de la doctora Julieta Fierro Gossman, acontecido el pasado 19 de septiembre. Nuestra colega Julieta fue una de las figuras más relevantes de la divulgación científica de nuestro país.

Muy bienvenidos a este nuevo número de su revista *Ciencia*, en el que encontrarán una variedad de artículos interesantes.

La primera serie de ocho artículos trata temas actuales de biología. En el primer texto aprenderán acerca de los relojes moleculares y de cómo nos ayudan a inferir cuándo aparecieron las especies. Aun sin registro fósil se puede calcular el tiempo que las especies han habitado nuestro planeta a través del análisis de los cambios en la secuencia del ADN. El segundo artículo los invita a meditar sobre la importancia que tiene el control de la temperatura corporal. Existen animales que son capaces de regular internamente su temperatura, mientras que otros dependen de la temperatura de su medio ambiente. Los invitamos a ingresar al fascinante mundo de la termorregulación. Sigán leyendo y descubran cómo cazan sus presas las arañas. Existen muchas variantes de la famosa tela de araña que todos hemos visto entre las ramas de árboles y arbustos, e incluso algunas arañas lanzan sus redes o trozos adhesivos de seda para atrapar sus presas.

El cuarto artículo nos explica que los dientes son una importante fuente de información morfológica y ecológica. Entérense de que los dientes son excelentes fuentes de información del individuo y de la especie. Su análisis permite conocer aspectos como la fase de lactancia, o averiguar si alguna especie

emigró o sufrió periodos de hambruna. El quinto trabajo de esta serie tiene como objetivo dar a conocer qué son los líquenes y cuál es la historia de su simbiosis. En casi todos los ecosistemas existen líquenes, que se forman a partir de una asociación simbiótica entre un hongo y un alga o una bacteria fotosintética. La complejidad de esta simbiosis es el reflejo de una larga historia evolutiva de cientos de millones de años.

¿Conocen la Sierra de Guadalupe o han escuchado sobre ella? En el sexto artículo descubran que la Sierra de Guadalupe es una cadena montañosa al norte de la Ciudad de México que ofrece una amplia fuente de biodiversidad. Es un refugio de la naturaleza que proporciona múltiples beneficios ambientales y recreativos, por lo que debemos protegerla y cuidarla. Este tema nos obliga a pensar en el cuidado del planeta y a tratar de evitar el calentamiento global. ¿Qué tanto contribuyen los gases emitidos por los rumiantes en el efecto invernadero y el cambio climático? ¿Cómo podemos reducir los gases de efecto invernadero de los rumiantes? Repasen el siguiente artículo y entérense de que en México se pueden reducir las emisiones entéricas de metano con la inclusión de compuestos específicos en la dieta para ganado. Cierra la serie de textos relacionados con la biología el trabajo que presenta la vida de Alfred Wallace, personaje clave en la historia de la biología que ha sido reducido a sólo un colaborador en la teoría de la evolución, pero que fue un individuo preocupado por la conservación del medio ambiente y con una interesante vida espiritual.

Los siguientes tres artículos hablan de los beneficios terapéuticos de compuestos naturales encontrados en las plantas. El primero explica que el romero es una planta que se utiliza en la medicina tradicional



para tratar varios padecimientos asociados con el dolor agudo o crónico, como el dolor abdominal, reumático, muscular o inflamatorio, e incluso el dolor disfuncional, como la neuropatía diabética. El siguiente texto nos enseña que las succulentas son utilizadas por la población mexicana para tratar padecimientos oculares. Léanlo y entérense cuál es la succulenta que tiene estas propiedades y cuáles son los estudios científicos que se están realizando para corroborar sus acciones oftálmicas. Por último, en esta serie, encuentren el escrito: “El rábano: de lo comestible a lo nanotecnológico”, que explica que esta raíz, además de su aporte nutrimental, cuenta con compuestos que ayudan a evitar varias enfermedades previniendo o retardando la oxidación causada por radicales libres.

Los próximos seis escritos se encuentran en la frontera del estudio de la medicina. ¿Nos predisponen los genes al consumo de drogas? El interés por estudiar las bases genéticas del trastorno por consumo de drogas surge de la medicina genómica, que

propone la presencia y expresión de genes de riesgo para un diagnóstico y tratamiento. En este artículo se describen los factores genéticos asociados a este trastorno y las investigaciones que se realizan para entender más sobre la genética de este problema de salud pública. ¿De veras existen los obesos “sanos”? Examinen el siguiente texto en el que se describen nuevas corrientes que defienden que algunas personas obesas no están enfermas, se les considera “sanas”, ya que no manifiestan problemas de salud, lo cual es contradictorio pues la obesidad es una enfermedad que predispone al desarrollo de alteraciones más graves. El tercer escrito de esta serie explica la cefalea en racimos. Este tipo de cefalea es una condición debilitante que afecta principalmente a los varones y se caracteriza por racimos de dolor intenso alrededor del ojo. No existe cura, pero algunos medicamentos pueden ayudar a controlar los síntomas. En la misma línea del tratamiento del dolor encontramos el trabajo: “Paracetamol, un analgésico popular que no es tan inocuo”. El paracetamol es un medicamento que ha ganado la confianza de los médicos y del público por ser eficaz y seguro; sin embargo, la falta de regulación y su acceso libre favorecen el uso desmedido y, con ello, la aparición de efectos adversos. ¿Qué son los linfocitos T? ¿Dónde se desarrollan, cómo se activan y cuáles son sus funciones? Encuentren las respuestas en el siguiente escrito, que nos explica la fisiología de estas células del sistema inmune adaptativo. También acerca del tema de las células del sistema inmune, descubran el artículo: “Una nueva terapia para la leucemia linfoblástica aguda”. Este tipo de leucemia es la más frecuente en niños mexicanos. La ingeniería genética ha desarrollado una nueva forma de terapia eficaz con células CAR-T que modifica a las células del sistema inmune para que combatan más eficazmente a las células cancerosas.

El último texto de las novedades científicas nos explica la participación de las emociones en la toma de decisiones. Clásicamente, se considera que las emociones son un obstáculo para tomar buenas decisiones. Sin embargo, hoy sabemos que algunas emociones nos ayudan a alcanzar decisiones adecuadas que contribuyen a la solución de problemas personales y complejos.

El artículo de actualidad, “Tejiendo el futuro: nanotecnología en la industria textil”, nos ofrece una visión general de cómo el tamaño, la geometría y la composición química de los materiales influyen en el rendimiento y las propiedades de diversos productos textiles que utilizamos en nuestra vida cotidiana. El fascinante mundo de los nanomateriales ha revolucionado la industria textil.

En la sección Desde la UAM se presenta un panorama de cuatro investigaciones doctorales en temas novedosos. En la primera encuentren la respuesta a las siguientes preguntas: ¿envejecen las semillas?, ¿en qué condiciones se puede retrasar este proceso?, ¿cómo afecta al ecosistema este envejecimiento? La segunda nos habla de la nanotecnología aplicada a la conservación de los alimentos y explica cómo las nanopartículas de calcio, que son seguras para el consumo humano, alargan la vida de anaquel de frutas y verduras y, en esa medida, propician la seguridad alimentaria. La tercera se refiere al desarrollo de compuestos inspirados en medicamentos conocidos para combatir el cáncer de pulmón. Este ingenioso estudio consiste en diseñar un medicamento, a partir de uno ya conocido, para convertirlo en un inhibidor de la división celular característica del cáncer. Estos nuevos compuestos muestran una eficacia similar a uno de los fármacos que se usa contra el cáncer —el cisplatino—, pero con la ventaja de que podrían tener menos efectos secundarios. Por último, en el cuarto tema: “Entre el refugio y la invasión: ¿cómo sobreviven las aves entre pastos nativos e invasores en el Desierto Chihuahuense?”, entérense de que con el objetivo de mejorar la productividad ganadera se introdujeron pastos africanos que provocaron cambios ecológicos que impactaron en las aves locales.

Finalmente queremos anunciarles que con este editorial concluye una etapa en la dirección de la revista *Ciencia*. A partir de nuestro próximo número Alonso Fernández Guasti será remplazado por Juan Pedro Laclette, quien ha formado parte del comité editorial por más de quince años y que cuenta con una amplia experiencia en la gestión institucional,



lo cual asegura la continuidad de la revista *Ciencia*, que este 2025 cumple 85 años de vida.

Alonso Fernández Guasti expresa su más profunda gratitud a la mesa directiva de la Academia Mexicana de Ciencias, así como al Comité Editorial y al excelente equipo de producción, por su apoyo y trabajo constante durante más de cinco años. De la misma manera hace público su reconocimiento a todas las instituciones que financiaron la publicación de la revista *Ciencia* durante su dirección. Especialmente, agradece a los doctores Mario De Leo y José Antonio de los Reyes Heredia, que desde la rectoría de la Universidad Autónoma Metropolitana apoyaron a nuestra revista durante los últimos cuatro años.

ALONSO FERNÁNDEZ GUASTI
Y JUAN PEDRO LACLETTE

María Concepción Jordán-Hernández, Susana Favela-Lara y Katia Lizeth Treviño-Cuellar

Relojes moleculares: ¿cuándo aparecieron las especies?

¿Sabías que los científicos pueden calcular cuánto tiempo de habitar nuestro planeta tienen los seres vivos? Una especie es un grupo de organismos que pueden reproducirse entre sí y generar descendencia fértil. Para estimar su antigüedad, los científicos utilizan una herramienta llamada *reloj molecular*, que analiza los cambios en el ADN a lo largo del tiempo. Con ello, podemos establecer un tiempo geológico y reconstruir la historia evolutiva de las especies, especialmente de aquellas que no cuentan con un registro fósil.

¿Qué es un reloj molecular?

Desde la antigüedad la humanidad ha observado y se ha maravillado con las formas de vida actuales y pasadas, lo que ha llevado a cuestionarse sobre el origen de la vida en la Tierra, incluyendo el propio origen y el momento en que su línea evolutiva se separó de otros homínidos y primates. Así, además de intentar responder cómo se originan las especies, también se busca responder cuándo se originaron. La primera pregunta puede abordarse desde diversas disciplinas científicas, como la evolución, la filogenética, la biología comparativa, la biología funcional y la paleobiología, entre otras. Para responder la segunda, se recurre al registro fósil, que permite estimar el momento en que habitaron ciertos organismos a partir de la bioestratigrafía y el tiempo geológico, dividido en eones, eras, periodos, épocas y edades, de manera similar a como medimos el tiempo en segundos, minutos y horas, pero en una escala mucho mayor. Sin embargo, en la mayoría de los seres vivos la fosilización es escasa o inexistente debido a factores como la composición de su cuerpo, las condiciones ambientales del lugar donde mueren y el proceso de enterramiento. Esto limita la información sobre la historia evolutiva de muchos organismos, como invertebrados, plantas, hongos, bacterias e incluso virus.

Para complementar la información obtenida del registro fósil, el reloj molecular es una herramienta que permite estimar el tiempo evolutivo mediante programas computacionales y algoritmos matemáticos. Su uso facilita la fechación de los árboles filogenéticos, diagramas que representan las relaciones de parentes-



co evolutivo entre especies a partir de un ancestro común. Esto nos ayuda a ubicar eventos evolutivos en el tiempo y determinar, por ejemplo, si el origen o divergencia de una especie ocurrió durante la explosión cámbrica (hace ~541 millones de años), cuando surgieron la mayoría de los principales grupos animales; en el Devónico (~375 millones de años atrás), con la aparición de los primeros vertebrados terrestres; en el Carbonífero (~320 millones de años atrás), cuando los insectos con alas comenzaron a diversificarse; en el Jurásico (~201-145 millones de años atrás), cuando los dinosaurios dominaban la Tierra; en el Pleistoceno (~2.58 millones-11 700 años atrás), durante la extinción de la megafauna, o en el Holoceno (desde hace 11 700 años hasta la

actualidad), mientras las sociedades humanas desarrollaban la agricultura y la ganadería (Figura 1).

¿Cómo funciona un reloj molecular?

Hablemos de ADN, mutaciones y tiempo

El ADN, conocido como la molécula de la herencia, está compuesto por nucleótidos, que a su vez están conformados por un azúcar (desoxirribosa), un grupo fosfato y una base nitrogenada. Estas bases nitrogenadas –Adenina (A), Citosina (C), Timina (T) y Guanina (G)– se organizan en secuencias que forman “palabras” bajo un código genético universal. Cada grupo de tres bases, llamado codón, codifica un aminoácido específico, como el codón AUG, que

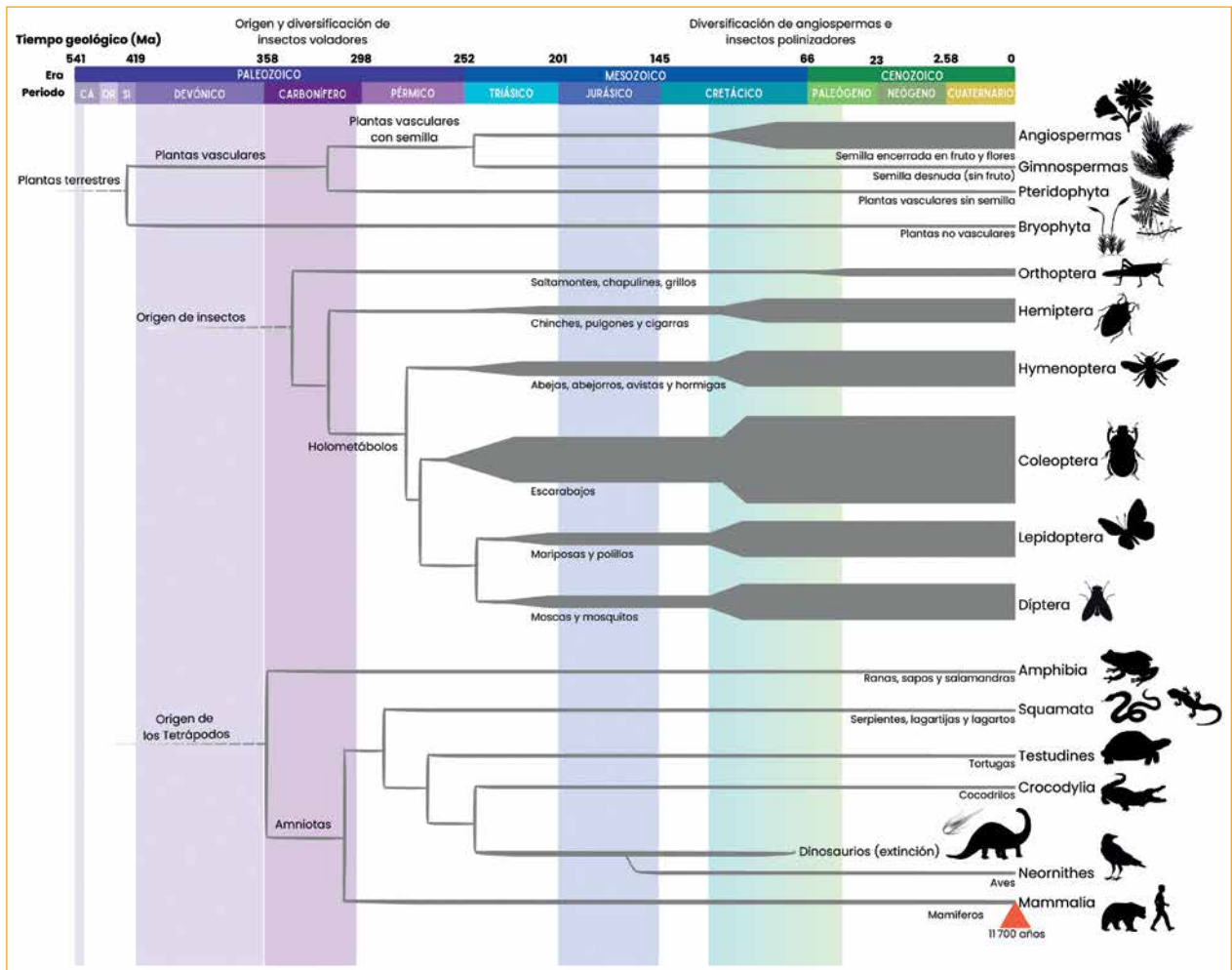


Figura 1. Árbol filogenético que muestra eventos evolutivos clave en la diversificación de plantas y animales, estimados mediante técnicas de relojes moleculares. La marca en 11 700 años señala el final del Pleistoceno y el inicio del Holoceno, un periodo reciente en la escala geológica caracterizado por importantes cambios climáticos y la expansión humana. Modificado a partir de Benton y cols. (2021). Ma = Millones de años.

señala el inicio de la síntesis de proteínas y codifica la metionina.

Las mutaciones son cambios en la secuencia del ADN. Por ejemplo, si una base T se reemplaza por una G en una posición específica, se considera una mutación. Estas mutaciones pueden ocurrir en genes codificantes o en regiones no codificantes del genoma. En los genes codificantes, pueden modificar la secuencia de aminoácidos de una proteína, con efectos que pueden ser beneficiosos, perjudiciales o neutros. Por ejemplo, algunas mutaciones en la tercera posición de un codón no cambian el aminoácido que se traduce, lo que se conoce como mutación sinónima. Éstas y otras variaciones en el ADN son clave para reconstruir la historia evolutiva de las especies y estimar los tiempos de divergencia con el uso del reloj molecular.

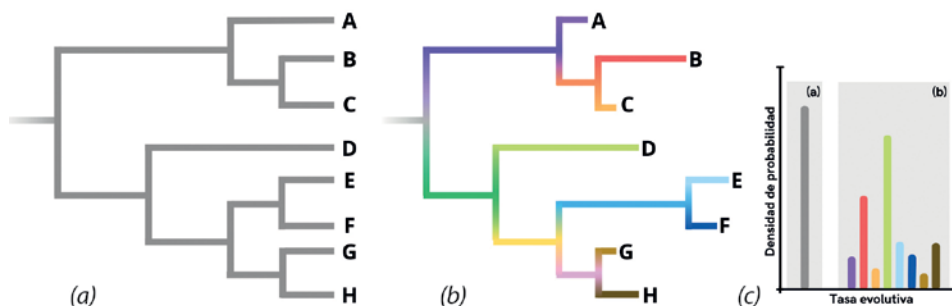
Para explicar en términos simples el reloj molecular, supongamos que tenemos la secuencia de un ancestro hipotético a partir del cual se originan dos especies. Con el paso del tiempo, el ADN de es-

tas especies acumula mutaciones a una cierta tasa; es decir, hay un número de cambios en un periodo determinado. Tradicionalmente, se consideraba que las mutaciones ocurren a una tasa constante, lo que permitía calcular el tiempo de divergencia entre especies bajo un modelo conocido como reloj molecular estricto. Por ejemplo, si la tasa de mutación es de un cambio cada 10 millones de años (Ma), y al comparar las secuencias de ADN de dos especies descendientes encontramos tres mutaciones, se estimaría que se separaron hace aproximadamente 30 Ma. Sin embargo, en la actualidad se sabe que la tasa de mutación no siempre es uniforme, ya que puede variar entre linajes debido a diferencias en la biología de los organismos o en factores ambientales. Este enfoque más flexible se conoce como reloj molecular relajado y permite ajustar las estimaciones considerando variaciones en la velocidad de acumulación de mutaciones en distintos grupos (véase el [Recuadro 1](#)). Además, los modelos más avanzados, como los basados en inferencia bayesiana, combinan

Recuadro 1.

Comparación entre el reloj molecular estricto y el relajado. El reloj molecular estricto (a) asume una tasa constante de evolución para todas las especies, representada por una sola barra uniforme que indica un ritmo de cambio constante a lo largo del tiempo. En contraste, el reloj molecular relajado (b) permite que las tasas de evolución varíen entre diferentes linajes, lo que se refleja en barras de diferentes tamaños y colores. Esto ilustra cómo algunas especies pueden evolucionar más rápido que otras, propor-

nando un modelo más realista para estimar los tiempos de divergencia evolutiva. La densidad de probabilidad (c) en el contexto de los relojes moleculares se representa mediante la altura de las barras, que indica la probabilidad de que una tasa de evolución específica ocurra. En el reloj relajado, la variación en las alturas de las barras muestra cómo la tasa de evolución cambia entre linajes, mientras que en el reloj estricto la única barra alta refleja una tasa constante y fija para todos los organismos.



información del ADN con datos fósiles y otras evidencias para obtener estimaciones más precisas sobre el tiempo de divergencia de las especies, incorporando la incertidumbre en los cálculos y proporcionando un marco más robusto para estudiar la evolución. Gracias a estos modelos, los científicos pueden reconstruir la historia evolutiva de los organismos y estimar cuándo aparecieron nuevas especies, incluso en aquellos casos en los que el registro fósil es escaso o inexistente.

El reloj molecular: modelos contemporáneos

 En los últimos años, los avances en la genética y la biología molecular han permitido el desarrollo de modelos más sofisticados para estimar el tiempo de divergencia entre especies, sustituyendo el concepto clásico del reloj molecular estricto por modelos más flexibles, como el reloj molecular relajado y los enfoques bayesianos.

El reloj molecular estricto, propuesto originalmente por Zuckerkandl y Pauling en 1962, fue desarrollado a partir de un estudio sobre las secuencias de hemoglobina en primates, una proteína clave para el transporte de oxígeno en los glóbulos rojos. En su investigación, Zuckerkandl y Pauling compararon las secuencias de hemoglobina de chimpancés, gorilas, orangutanes, monos Rhesus y humanos, observando un número constante de mutaciones en sus secuencias nucleotídicas, lo que sugería una tasa de evolución constante a través del tiempo. Sin embargo, resulta que la tasa de mutación de la hemoglobina en los primates sería la excepción y no la regla. La mayoría de los seres vivos no siguen una tasa de mutación tan constante. Este descubrimiento llevó a la necesidad de modelos más complejos y flexibles.

Hoy en día el reloj molecular relajado ha reemplazado este modelo debido a su capacidad para considerar tasas de mutación variables entre diferentes linajes, organismos y tipos de genes. Este modelo permite que la tasa de mutación no sea constante, lo que refleja de manera más realista los procesos biológicos y ecológicos de los organismos en su evolución.

Los modelos bayesianos son otra herramienta importante para reconstruir los árboles filogenéticos y

estimar el tiempo en que diferentes especies se separaron. Estos modelos no sólo consideran la variabilidad en la tasa de mutación de los organismos, sino que también incluyen información de los registros fósiles, lo que mejora la precisión de las estimaciones. Ahora bien, lo que hace único al enfoque bayesiano es su capacidad para manejar la incertidumbre que siempre está presente en los datos genéticos y fósiles. En lugar de proporcionar sólo una estimación del tiempo de divergencia, este enfoque nos ofrece un rango de posibles fechas, dándonos una mejor idea de cuán confiables son las estimaciones y ayudándonos a entender las probabilidades de diferentes escenarios.

La flexibilidad de los modelos contemporáneos, como el relajado y el bayesiano, ha hecho que estos enfoques sean ampliamente utilizados en estudios evolutivos modernos, reemplazando la rigidez del reloj estricto y ofreciendo estimaciones más ajustadas a la realidad biológica de los organismos. Además, estos modelos permiten incorporar la variabilidad en la tasa de mutación y la influencia de factores ambientales, lo que los convierte en herramientas más poderosas y precisas para datar eventos evolutivos.

Primero lo primero: calibrar el reloj molecular

 Para aplicar un reloj molecular, es fundamental determinar la tasa de mutación del gen seleccionado, ya que esta información permite estimar los tiempos de divergencia en un árbol filogenético. Sin una calibración adecuada, los cálculos pueden variar drásticamente. Por ejemplo, si comparamos secuencias con 10 mutaciones, no es lo mismo asumir que la tasa de mutación es de 1.4 cambios cada 10 millones de años (Ma), que asumir una tasa de un cambio cada 100 Ma. En el primer caso, la divergencia habría ocurrido hace 140 Ma, durante el Cretácico, cuando aparecieron las plantas con flores; en el segundo caso, habría ocurrido hace 1 000 Ma, en el Proterozoico, cuando los primeros organismos multicelulares comenzaban a surgir.

Para evitar estimaciones erróneas, se realiza la calibración del reloj molecular mediante la datación de nodos específicos en el árbol filogenético. El mé-



todo más utilizado para este propósito es la calibración con fósiles, los cuales proporcionan una edad mínima para el **clado** al que pertenecen. Es decir, si encontramos un fósil de un grupo particular con una antigüedad de 50 Ma, podemos inferir que el linaje en cuestión es al menos tan antiguo, aunque su origen puede ser aún más remoto.

Otra fuente importante de calibración es la biogeografía, en la que se utilizan eventos geológicos bien documentados, como la crisis salina del **Mesiniense** en el mar Mediterráneo (~5.96 Ma), el cierre del istmo de Panamá (~2.8 Ma) o la formación del Eje Neovolcánico Transversal en México (23.03 Ma-11 700 años). En estos casos, la datación geológica establece una edad máxima, ya que el evento tectónico precede al proceso de especiación que se pretende fechar.

Además, se pueden emplear calibraciones secundarias; es decir, estimaciones previas obtenidas en estudios filogenéticos que incluyan linajes cercanos al de interés. Sin embargo, este método debe usarse

con cautela, ya que cualquier error en la calibración primaria se propagará a los análisis posteriores.

■ Relojes moleculares en acción: desde la virología hasta la biología evolutiva

■ Los relojes moleculares han transformado la manera en que los científicos abordan el estudio de la evolución, la diversificación de organismos y, más recientemente, el rastreo de virus. Estas herramientas permiten estimar el tiempo de divergencia entre especies, identificar eventos evolutivos clave y entender la propagación de enfermedades. En este contexto, exploramos dos ejemplos de gran impacto: el uso de relojes moleculares en el rastreo de la evolución del virus SARS-CoV-2 durante la pandemia de covid-19 y su aplicación en la coevolución entre insectos polinizadores y plantas con flores.

Durante la pandemia de covid-19, la secuenciación rápida del genoma del virus SARS-CoV-2 les permitió a los investigadores monitorear la aparición

Clado

Grupo de organismos que incluye a un ancestro común y a todos sus descendientes. Representa una "rama" en el árbol evolutivo de la vida, útil para entender cómo están emparentadas las especies a través del tiempo.

◀ Messiniense

Etapa geológica ocurrida entre 7.2 y 5.3 millones de años atrás, conocida por la crisis salina del Messiniense (~5.96 Ma), cuando el mar Mediterráneo casi se secó al quedar aislado del Atlántico. Este evento dejó grandes depósitos de sal y tuvo un fuerte impacto en la evolución y distribución de muchas especies.

Espiritrompa

Estructura alargada y enrollada que muchas mariposas y polillas tienen en lugar de piezas bucales masticadoras. Les permite alimentarse al funcionar como un *popote* que desenrollan para succionar el néctar de las flores. Cuando no la usan, la mantienen enrollada bajo la cabeza.

de nuevas variantes y su capacidad de transmisión. Utilizando modelos de reloj molecular relajado, se estimó que el virus acumulaba aproximadamente dos mutaciones por mes, aunque en ciertos periodos esta tasa se aceleraba hasta cuatro veces, lo que permitió identificar variantes con mayor transmisibilidad. Este análisis fue fundamental para determinar el origen temporal del virus, su introducción en distintas regiones del mundo y para evaluar el impacto de las nuevas variantes en la efectividad de vacunas y tratamientos. Los relojes moleculares fueron clave para anticipar brotes, optimizar la respuesta de organismos de salud pública y mejorar el diseño de vacunas (Tay y cols. 2022).

Por otro lado, los relojes moleculares también han sido herramientas esenciales para entender la coevolución entre angiospermas e insectos polinizadores durante el Cretácico (Peris y Condamine, 2024). A través de la secuenciación genética de ambos grupos, los científicos han logrado reconstruir la historia evolutiva de estas interacciones y determinar el impacto de las angiospermas en la diversificación de los polinizadores hace cerca de 200 millones de años

(Figura 1). La evolución de estructuras florales especializadas favoreció la adaptación de insectos como los lepidópteros, que desarrollaron una **espiritrompa** más larga para acceder al néctar, lo que a su vez llevó a una mayor especialización en la interacción planta-polinizador. Estos enfoques han revelado cómo la expansión de las angiospermas pudo haber influido en la diversificación de los insectos polinizadores. Sin embargo, el uso de relojes moleculares en este contexto presenta desafíos. La conservación desigual de fósiles y la preservación parcial de ciertos grupos, como los Lepidoptera, limita la capacidad de obtener datos completos sobre los eventos de diversificación en el pasado. Además, los modelos bayesianos utilizados en estos estudios asumen que las tasas de diversificación y extinción son homogéneas dentro de los clados, lo cual puede no reflejar la complejidad de la realidad evolutiva.

A pesar de estas limitaciones, tanto en virología como en biología evolutiva, los relojes moleculares siguen siendo herramientas poderosas. Les permiten a los investigadores no sólo comprender la evolución de organismos y la propagación de enfermedades,



sino también realizar predicciones clave para la salud pública y la conservación de la biodiversidad. Estos avances subrayan el potencial de los relojes moleculares para abordar una amplia gama de preguntas científicas, a pesar de los retos inherentes a su aplicación.

■ Consideraciones finales

■ El reloj molecular ha demostrado ser una herramienta fundamental en la biología evolutiva, les permite a los científicos reconstruir la historia de la vida en la Tierra de manera precisa, incluso en ausencia de registros fósiles. Gracias a los avances en los modelos de mutación relajada y bayesiana, el estudio de las tasas de evolución y la divergencia entre especies ha adquirido una nueva dimensión, mucho más flexible y ajustada a la realidad biológica de los organismos. Este enfoque ha ampliado nuestras capacidades para abordar cuestiones fundamentales como la datación de eventos evolutivos, el rastreo de enfermedades y la coevolución entre especies. A pesar de los avances, es crucial continuar perfeccionando estos modelos, calibrándolos adecuadamente

y empleándolos de forma consciente, reconociendo sus limitaciones. El reloj molecular no sólo ofrece una ventana al pasado evolutivo de los seres vivos, sino que también es una herramienta invaluable para comprender la dinámica de los ecosistemas actuales y futuros, lo que abre nuevos horizontes en la investigación de la biodiversidad y la conservación de la vida en nuestro planeta.

María Concepción Jordán-Hernández

Laboratorio de Entomología y Artrópodos, Departamento de Zoología de Invertebrados, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León.

maria.jordanhr@uanl.edu.mx

Susana Favela-Lara

Laboratorio de Ecología Molecular, Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León.

susana.favelalr@uanl.edu.mx

Katia Lizeth Treviño-Cuéllar

Royal Botanic Garden Edinburgh, The University of Edinburgh.

KTrevinoCuellar@rbge.org.uk

Lecturas recomendadas

Bromham, L. y D. Penny (2003), "The modern molecular clock", *Nature Reviews Genetics*, 4:216-224.

Ho, S. Y. W. y S. Duchene (2014), "Molecular-clock methods for estimating evolutionary rates and timescales", *Molecular Ecology*, 23:5947-5965. Disponible en: <<https://doi.org/10.1111/mec.12953>>, consultado el 9 de julio de 2025.

Sauquet, H. (2013), "A practical guide to molecular dating", *Comptes Rendus Palevol*, 12(6):355-367. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.crpv.2013.07.003>>, consultado el 9 de julio de 2025.

Referencias específicas

Benton, M. J., P. Wilf y H. Sauquet (2021), "The angiosperm terrestrial revolution and the origins of modern

biodiversity", *New Phytologist*, 233(5):2017-2035. Disponible en: <<https://doi.org/10.1111/nph.17822>>, consultado el 9 de julio de 2025.

Peris, D. y F. L. Condamine (2024), "The angiosperm radiation played a dual role in the diversification of insects and insect pollinators", *Nat Communications*, 15:552. Disponible en: <<https://doi.org/10.1038/s41467-024-44784-4>>, consultado el 9 de julio de 2025.

Tay, J. H., A. F. Porter, W. Wirth y S. Duchene (2022), "The emergence of SARS-CoV-2 variants of concern is driven by acceleration of the substitution rate", *Molecular Biology and Evolution*, 39(2). Disponible en: <<https://doi.org/10.1093/molbev/msac013>>, consultado el 9 de julio de 2025.

Jimena Rivera Rea, Eréndira Quintana Sánchez y Juan Carlos González Morales

El control de la temperatura corporal: cuestión de vida o muerte

¿Alguna vez has dicho que “Sudas como puerco” o escuchado que alguien se “Asolea como lagartija”? Ambas frases son comunes; incluso podemos incluir otra más: “Jadea como perro”. Pero... ¿y si te contáramos que los puercos no sudan y que si las lagartijas no se asolean pueden morir? ¿Qué te parece si nos acompañas el resto de la lectura?, en donde descubriremos el fascinante mundo de la termorregulación.

¿Qué es la termorregulación?

La termorregulación consiste en regular la temperatura corporal. Este proceso resulta de vital importancia para que nuestro cuerpo funcione de forma correcta; a tal grado que, en el caso de los humanos, un ligero incremento de apenas unos cuantos grados centígrados nos produce fiebre, malestar general e incluso puede provocar daños graves en nuestro organismo. Cuando sucede lo contrario –cuando disminuye la temperatura–, el corazón, el cerebro y otros órganos pueden funcionar de forma incorrecta, llegando a provocar paros respiratorios y la muerte. La termorregulación no es exclusiva de los seres humanos, es algo que hacen todos los animales y la forma en que la temperatura corporal se regula depende del organismo de que se trate.

Ectotermos y endotermos: una cuestión de energía

De forma general, podemos dividir a los animales en *ectotermos* y *endotermos*. Los primeros carecen de un mecanismo fisiológico que les permita regular de forma interna su temperatura, y por esta razón deben obtener calor del ambiente donde habitan; por ejemplo, exponiéndose a los rayos del sol o tocando objetos que estén más calientes. Ahora ya resulta clara la importancia de “asolearse como lagartija”. Los reptiles y los anfibios usan esta conducta para mantener su temperatura corporal en niveles óptimos, lo que es de gran importancia, ya que sólo cuando su temperatura es la ideal pueden realizar una amplia variedad de



actividades, como buscar y digerir alimento, defender su territorio, crecer y encontrar pareja para reproducirse. Cuando su cuerpo está demasiado frío, incluso pueden cambiar su color a tonos más oscuros, para de esa forma captar mejor el calor del ambiente. Si usas ropa oscura en un día soleado, es probable que tengas una experiencia similar a la de estos curiosos animales. Otros animales, como el pitón, pueden tener pequeñas contracciones musculares para generar calor; algo similar a lo que sucede cuando nosotros temblamos de frío. ¿Pero qué ocurre cuando tienen calor? Los ectotermos no pueden sudar o quitarse un abrigo, ¿qué hacen entonces en estos casos? Lo más común es que, cuando la temperatura del ambiente se eleva, los ectotermos se mueven a lugares con sombra o se resguardan en sus refugios hasta que el ambiente está un poco más templado. Algunas ranas secretan una sustancia parecida a la saliva, con la cual se cubren cuando la intensidad de los rayos del sol es muy fuerte. Esta capa húmeda ayuda a reducir la pérdida de agua y a reflejar parte del calor, permitiéndoles tolerar temperaturas elevadas por más tiempo sin deshidratarse.

La regulación de la temperatura en los ectotermos resulta muy importante para la protección ante **patógenos**. Algunos reptiles, cuando están enfermos, suelen incrementar de forma intencional su temperatura corporal hasta niveles que podrían desencadenar efectos adversos. Aunque el riesgo de morir es elevado, esta estrategia, conocida como “fiebre conductual”, les permite eliminar gran parte de los patógenos causantes de sus malestares, debido a que, al aumentar su temperatura corporal, dificultan la replicación de virus, o la reproducción de bacterias y otros microorganismos, además de estimular su sistema inmunológico para combatir las infecciones con mayor eficacia. Aunque las estrategias de estos animales resultan asombrosas, probablemente no sean suficientes para mitigar el aumento de la temperatura ambiental por efecto del calentamiento global. Cada vez son más frecuentes los días calurosos en todo el mundo y los ectotermos pasan más tiempo dentro de sus refugios para protegerse. Esta conducta les ha restado tiempo para actividades como la búsqueda de alimento y de pareja para reproducirse, por

Patógenos
Organismos o agentes
(como virus, bacterias o
parásitos) que pueden
causar enfermedades
en otros seres vivos.



lo que se les considera como un grupo de animales en claro riesgo de extinción a corto y largo plazo.

Ahora platiquemos un poco de los endotermos. Este grupo de animales —que incluye a los seres humanos— sí tiene control de su temperatura corporal de forma autónoma e independiente de la temperatura del ambiente. En este tipo de organismos el calor corporal se produce principalmente como resultado del metabolismo, es decir, de las reacciones bioquímicas que ocurren dentro de las células cuando transforman los alimentos en energía. El metabolismo es como el motor del cuerpo: constituye la forma en que los organismos usan la energía para moverse, respirar, crecer, etcétera. Parte de esa energía se libera en forma de calor, lo que ayuda a mantener nuestra temperatura interna constante. Seguramente habrás notado que cuando tienes frío comienzas a temblar, el vello de tu cuerpo se eriza o los dedos de tus manos se ponen un poco pálidos. El temblor ayuda a generar calor mediante contracciones musculares, mientras que el erizamiento del vello y el cambio de color en los dedos operan como mecanismos que reducen la pérdida de calor conservándolo en zonas encargadas de funciones vitales del cuerpo. De esa forma nuestro cuerpo produce calor adicional y lo concentra en la región abdominal y el cerebro. Cuando el frío es menor, dejamos de temblar y nuestros dedos recuperan su color normal. Esta necesidad de conservar calor es aún más demandante en animales pequeños, como los ratones o colibríes, ya que entre menor es el tamaño de un animal éste pierde calor más rápido. Imagina una olla y una taza, ambas

con agua caliente: al dejarlas sobre una mesa, ¿cuál de las dos se enfriará más rápido? Algo así ocurre, por ejemplo, en un elefante y un ratón. En consecuencia, los animales pequeños deben alimentarse con mayor frecuencia para mantener estable su temperatura corporal. Por eso, muchos pequeños mamíferos parecen estar comiendo todo el tiempo: ¡su cuerpo lo exige para no enfriarse!

Además de producir calor, casi todos los mamíferos –animales con pelo y que amamantan o toman leche– poseen mecanismos que, por el contrario, generan pérdida de calor. La forma en que se disipa el exceso de calor se advierte variada y muy interesante. Platiquemos un poco sobre ello.

¿Sudar como puerco? Pero..., ¿cuál es la función del sudor?; y, ¿qué es el sudor? El sudor es un líquido claro y salado producido por las glándulas de la piel, una de cuyas funciones consiste en regular el exceso de calor de nuestro cuerpo. Cuando el sudor se mezcla con otros componentes de la piel, puede producir olor. En este punto podemos deducir que, para sudar, es indispensable tener glándulas sudoríparas en la piel y que sólo algunos mamíferos tienen esa capacidad. Otros animales, como los caballos, pueden acumular gotas de sudor visibles en el cuello y el vientre; en las vacas, por otra parte, también se produce sudor, aunque no siempre es perceptible a simple vista. Los puercos carecen de glándulas sudoríparas, por lo que no pueden sudar; cuando su temperatura corporal aumenta demasiado, tienden a refrescarse revolcándose en el lodo. En el caso de los perros, éstos pueden jadear para disminuir su temperatura cuando tienen calor. La lengua de los perros contiene una gran cantidad de vasos sanguíneos que, al exponerse al aire del ambiente, les permiten reducir su temperatura corporal. Otros animales, como los elefantes, mueven constantemente sus grandes orejas, las cuales, por tener una gran cantidad de vasos sanguíneos, ayudan a eliminar el exceso de calor.

Regular la temperatura corporal durante la noche y el invierno: una cuestión vital

La temperatura corporal de los ectotermos se reduce durante la noche, lo que hace que disminuya su

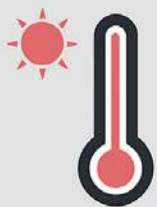
actividad metabólica y, con ello, que ahorren energía. Vale la pena mencionar que estos organismos son muy eficientes en el uso de energía; tanto, que incluso se considera a esta característica como parcialmente responsable del gran éxito que han tenido poblando la Tierra durante tanto tiempo. Para una gran parte de los endotermos, en cambio, la noche tiene un efecto no tan benéfico, toda vez que deben incrementar su gasto de energía para mantener su temperatura corporal. Dicho de otra forma, la regulación interna de la temperatura suele ser costosa. No obstante, algunos animales, como los murciélagos y los colibríes, tienen la capacidad de reducir su temperatura corporal durante la noche y así evitar ese gasto; adicionalmente, suelen tener grandes concentraciones de azúcar y proteínas especiales en la sangre que impiden que se congelen durante la noche. En el caso de los osos y otros animales que hibernan, la reducción de la temperatura corporal va acompañada de una reducción enorme del metabolismo, por lo que pueden sobrevivir durante todo el invierno y emerger en la primavera, cuando las condiciones del ambiente se vuelven un poco más amigables.

La grasa no siempre es mala: el caso de las crías y la regulación de la temperatura corporal

Los animales tienen la capacidad de almacenar energía en forma de grasa: si en algún momento no tienen la posibilidad de ingerir alimentos de forma frecuente, pueden utilizar dicha grasa para sobrevivir. Actualmente, nuestra percepción de la grasa es negativa, ya que en exceso causa problemas graves de salud. Pero ¿sabías que existen dos tipos de grasa diferente en nuestro cuerpo? La grasa blanca es la más conocida, como fuente de energía y origen de muchos problemas cuando se concentra en grandes cantidades en el cuerpo, ya que al acumularse en los intestinos y el tórax puede provocar un paro respiratorio. Por otra parte, la grasa parda, que es menos conocida, se encuentra en menor cantidad en comparación con la grasa blanca, y su función principal es la producción de calor corporal. Este tipo de grasa resulta común en animales recién nacidos, como los

Cuando llega la temporada invernal, algunos anfibios:

- Elevan la glucosa en sangre
- Producen proteínas anticongelantes que evitan el daño a los tejidos



Al aumentar la temperatura ambiental se descongelan poco a poco y reanudan sus funciones

Figura 1. ¿Qué sucede con los anfibios que se congelan? Estos animales pueden tolerar el congelamiento parcial del cuerpo gracias a adaptaciones bioquímicas que protegen sus tejidos durante el invierno. Infografía elaborada por los autores en BioRender.

gazapos —crías de los conejos—, debido a que en esta etapa de vida el control de la temperatura corporal aún no está completamente desarrollado y su capacidad para producir calor por otras vías —como los temblores musculares ya mencionados— es limitada. Los bebés humanos y los gazapos tienen una gran cantidad de grasa parda en las vísceras y axilas; cuando tienen frío, dicha grasa se activa para generar calor, lo cual permite regular la temperatura del cuerpo de mejor forma.

Los científicos han mostrado un gran interés en la grasa parda desde varias perspectivas: la primera tiene que ver con el hecho de que si logramos entender cómo se activa la grasa parda, existe la posibilidad de que se logre activar a la grasa blanca, por lo que sería una opción viable para el tratamiento de la obesidad; la segunda perspectiva está relacionada con el hecho de que la grasa parda les permitiría a los seres humanos realizar viajes de exploración a zonas donde la temperatura ambiental es baja, a

regiones polares del planeta, por ejemplo, y expediciones al espacio.

¿Las plantas regulan su temperatura corporal?

Las plantas suelen pasar desapercibidas en relación con varias preguntas o procesos de interés que atañen sólo a los animales. Parte de esta idea surge del hecho de que, desde cierta perspectiva, las plantas no realizan actividades llamativas o dan la impresión de permanecer estáticas todo el tiempo. En el caso de la regulación de la temperatura corporal, las plantas sí cuentan con ciertas características que les facilitan dicho proceso; el más usual es la transpiración. Las plantas cuentan con estomas, es decir, estructuras especializadas que liberan agua cuando la temperatura ambiental es elevada, de tal forma que podríamos decir que las plantas sí “sudan”. Cuando la temperatura ambiental es baja, los árboles pueden replegar sus hojas, lo que reduce la superficie expuesta al ambiente y, con ello, la pérdida de calor por convección o radiación. Esto funciona de manera similar a la conducta de los animales cuando se encogen o se agrupan para conservar el calor.

¿Qué pasa cuando no se regula de forma adecuada la temperatura corporal?

Los efectos en los animales de no regular de forma adecuada la temperatura corporal son variados. En un reptil o anfibio, la temperatura muy alta o muy baja puede impedir que se desplacen libremente, ya que pierden el control de sus movimientos. Si estos animales pasan demasiado tiempo expuestos al calor, pueden sobrecalentarse y morir. Otros efectos menos drásticos consisten en no absorber por completo los nutrientes de la comida, lo que limita su crecimiento. En los mamíferos, un descenso prolongado de la temperatura corporal puede llevar a que el organismo presente necrosis de las extremidades ya que, después de todo, siempre se dará prioridad a mantener el calor en las vísceras y el cerebro. En relación con el exceso de calor, los mamíferos pueden desarrollar “fiebre”, lo que constituye una elevación controlada de la temperatura corporal que mejora el

funcionamiento del sistema inmune y facilita la eliminación de agentes infecciosos. Sin embargo, si la fiebre se prolonga demasiado, puede provocar la muerte de neuronas, inducir convulsiones e incluso causar la muerte.

Ahora ya sabes que no tiene sentido decir que “sudamos como puercos”; y, además, ya sabes que “asolearse como lagartija” sí que puede ser importante para vivir.

Agradecemos al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (Comecyt) por el apoyo brindado. Jimena Rivera Rea recibió financiamiento a través del Programa de Investigadoras e Investigadores Comecyt, mientras que Eréndira Quintana Sánchez fue apoyada por medio del proyecto financiado en el marco del Programa Científicas Mexiquenses.

Jimena Rivera Rea

Centro Universitario UAEM Amecameca, Universidad Autónoma del Estado de México.
jrivera_rea@hotmail.com

Eréndira Quintana Sánchez

Centro Universitario UAEM Amecameca, Universidad Autónoma del Estado de México.
equintanasa@uaemex.mx

Juan Carlos González Morales

Centro Universitario UAEM Amecameca, Universidad Autónoma del Estado de México.
juan.gonmor@gmail.com

Lecturas recomendadas

- Angilletta, M. J. (2009), *Thermal Adaptation: A Theoretical and Empirical Synthesis*, Oxford, Oxford University Press.
- Fajardo, V., M. Burguete y J. C. González-Morales (2020), “Calentamiento global y la fisiología de ectotermos: el caso de tres lacertilios mexicanos”, *Ciencia ergo-sum*, 27(3):e99.
- Molina-Montenegro, M. A. (2008), “Variación de la pubescencia foliar en plantas y sus implicaciones funcionales a lo largo de gradientes altitudinales”, *Ecosistemas*, 17(1).
- Moya, M. (2010), “Curiosidades de los osos polares”, *Muy Interesante* [en línea]. Disponible en: <<https://www.muyinteresante.com/naturaleza/1669.html>>, consultado el 5 de agosto de 2025.
- Sanmiguel-Plazas, R. A. y V. Díaz-Tolima (2011), “Mecanismos fisiológicos de la termorregulación en animales de producción”, *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 4(1):88-94.

Karem Guadalupe Sánchez Solano, Dinesh Rao y Luis Eduardo Robledo Ospina

Tejer o no tejer...

Las diversas estrategias de caza de las arañas

Cuando uno piensa en una araña, una de las cosas que se vienen a la mente es que construyen telarañas. El hecho de observar que muchas de ellas están posadas en estas finas redes nos hace suponer que todas elaboran esta sofisticada estructura para capturar a sus presas. Sin embargo, muchas especies utilizan diversos mecanismos para obtener alimento, sin necesidad de tejer una red.

Descubriendo a las arañas

Los artrópodos (filo *Arthropoda*) son el grupo de animales más abundante en el planeta e incluye a organismos como: *insectos*, *miriápodos*, *crustáceos* y *arácnidos*. Estos animales tienen en común poseer un resistente esqueleto externo a base de quitina, que protege y da sostén a su cuerpo (por lo cual hace que truenen cuando se los aplasta); además poseen extremidades articuladas que les permiten desplazarse, cortejar a la pareja, obtener y manipular su alimento. Por estos rasgos compartidos, es común que las arañas sean confundidas con los insectos, aunque existen varios rasgos que los diferencian.

Las arañas pertenecen al orden *Araneae*, y junto con otros órdenes que incluyen a los ácaros y garrapatas (*Acari*), escorpiones (*Scorpiones*), los opiliones (*Opiliones*), vinagrillos (*Uropygi*), entre otros, conforman la clase *Arachnida*. A diferencia de los insectos (clase *Insecta*), las arañas se caracterizan por tener el cuerpo dividido en dos regiones (y no en tres), conocidos como prosoma y opistosoma, los cuales están unidos por el pedicelo, que es como una pequeña cintura. Otros rasgos únicos de las arañas son la presencia de quelíceros en lugar de mandíbulas, que además poseen glándulas de veneno; pueden llegar a tener de dos a ocho ojos, y carecen de alas y antenas (las cuales están presentes en los insectos) (Figura 1). Actualmente, existen más de 51 000 especies de arañas identificadas (World Spider Catalog, 2025), y con excepción de los casquetes polares, las arañas ocupan todos los hábitats terrestres, incluso se encuentran debajo del agua, como la especie europea *Argyronetha aquatica*.



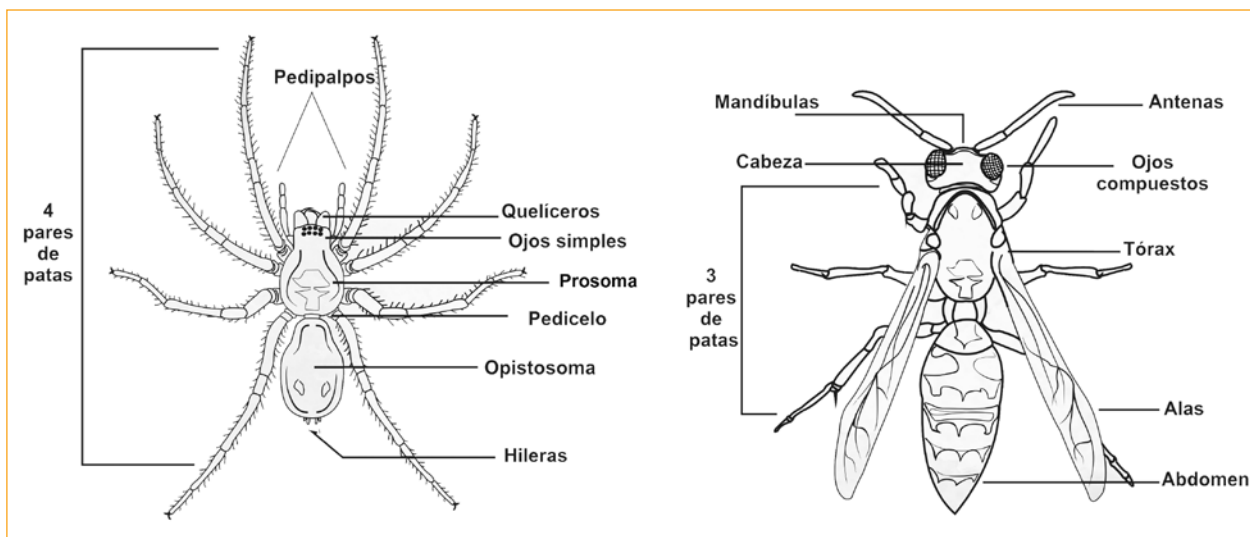


Figura 1. Las arañas y los insectos presentan características que los diferencian.

Las arañas son depredadores estrictos y, a excepción de la familia *Uloboridae* y algunos miembros de la familia *Anapidae*, usan el veneno para paralizar y predigerir a sus presas. Pueden cazar desde insectos hasta pequeños vertebrados como aves, reptiles, peces e incluso, en algunos casos extraordinarios, murciélagos y serpientes. Se estima que las arañas pueden llegar a consumir entre 400 y 800 millones de toneladas de alimento al año, lo que implica que son depredadores terrestres eficientes.

■ Entretejiendo trampas

■ Uno de los rasgos más conocidos de las arañas es su capacidad para tejer la seda que producen las glándulas de su opistosoma. Las arañas tienen de cuatro a ocho glándulas de seda –cada una de las cuales produce un tipo de seda particular–, que en conjunto permiten formar toda la red. La seda (conjunto de finos hilos) es usada por todas las especies de arañas para múltiples tareas, desde la captura de presas, el desplazamiento con ayuda de las corrientes de aire –lo que se conoce como *ballooning* o aerostación–, la protección de sus huevos, hasta la construcción de refugios, incluso debajo del agua. Este increíble biomaterial está constituido por distintos tipos de proteínas de gran tamaño, denominadas fibroínas, que son una mezcla de proteínas conocidas como

espidroínas. Estas proteínas le confieren a la seda propiedades antibacterianas y antifúngicas, además de gran resistencia y elasticidad, lo que las hace dos a tres veces más duras que fibras sintéticas como el nailon. La gran resistencia de estos hilos de seda es vital para la captura y retención de las presas, que muchas veces suelen ser más grandes que la propia araña. Por lo anterior, la construcción de telarañas es una de las estrategias de captura de presas más conocida que tienen las arañas; pero como veremos más adelante, existen especies que emplean otros métodos para obtener alimento.

Los insectos voladores, tales como las abejas, avispas, moscas o mariposas, suelen ser capturados principalmente por las arañas tejedoras (**Figura 2a**). No todas las telarañas son idénticas; se estima que existen más de 100 formas diferentes. Las más estudiadas y que comúnmente podemos ver son las llamadas telas o redes orbiculares, que suelen ser de gran tamaño en relación con el cuerpo de la araña y en forma de rueda en espiral (**Figura 3**). La espiral de las telarañas es el área de captura y se caracteriza por estar formada por una seda pegajosa y muy elástica, que logra disipar la energía del impacto de los insectos que están en vuelo.

Una vez que las presas quedan atrapadas en la telaraña, transmiten vibraciones que las arañas perciben mediante órganos especializados de sus patas



Figura 2. Diversas estrategias de caza de las arañas: a) tela orbicular, género *Trichonephila*; b) tela en forma de embudo, familia *Agelenidae*; c) tela de "pesca" de la araña ogro *Asianopsis subrufa*; d) caza activa, familia *Salticidae*; e) emboscada, familia *Oxyopidae*. Créditos de fotos a, b, d y e: Dinesh Rao; c: Luis Robledo Ospina.

para ubicarlas y poder dirigirse de manera rápida para capturarlas y consumirlas. Las arañas que comúnmente podemos encontrar en parques y jardines, tales como la araña de seda dorada (*Trichonephila*

clavipes), la araña tejedora espinosa (*Gasteracantha cancriformis*) y las arañas de los géneros *Micrathena*, *Leucauge* y *Argiope* se caracterizan por tejer redes orbiculares (Figura 3).



Figura 3. La construcción de redes orbiculares es la estrategia de captura de presas más conocida de las arañas. Foto: Dinesh Rao.

Aunque tejer redes puede parecer un método muy práctico para capturar presas, tiene ciertas desventajas para las arañas. Un punto importante a considerar es que las expone a sus depredadores: aves, lagartos o algunas avispas que capturan a ciertas especies de arañas para poder parasitarlas con sus larvas. Además, las arañas deben estar constantemente reparando o reconstruyendo la telaraña, ya que suele sufrir daños por el constante impacto de presas, o por las condiciones climáticas (lluvias o corrientes de aire muy fuertes).

Las telas que construyen arañas como los agelénidos o arañas de túnel (familia *Agelenidae*) se caracterizan por usar abundante seda y no presentar espiral ni radios, como las que construyen las arañas tejedoras; al contrario, elaboran telarañas en forma de embudo con un pequeño espacio en el centro de la tela a manera de túnel, como lo indica su nombre. Ahí es donde se encuentra la araña esperando a que alguna presa se acerque para ser capturada y arrastrada hacia el agujero (**Figura 2b**). Usualmente, estas arañas suelen construir telarañas entre troncos y rocas, por lo que atrapan presas que están al nivel del suelo.

También existen tipos de telas que no tienen una forma en particular ni estructura definida, las cuales se denominan telarañas irregulares. Arañas como

la viuda negra (género *Latrodectus*) y la violinista o araña del rincón (género *Loxosceles*) se caracterizan por tejer este tipo de redes en lugares como la base de troncos, bajo rocas o cortezas, así como en las esquinas de los cuartos, donde básicamente las presas (voladoras o terrestres) son capturadas en hilos pegajosos.

Entre las arañas existen algunas que, sin ser tejedoras, usan una pequeña red asimétrica a modo de herramienta que no está fija a un sustrato particular. Los deinópodos (familia *Deinopidae*), mejor conocidos como arañas cara de ogro —debido a sus grandes ojos frontales que dan la impresión de ser criaturas pequeñas y enojadas—, desarrollaron una forma bastante peculiar de cazar durante la noche. Como si fuera una red de pesca, las arañas ogro se cuelgan casi al nivel del suelo con la red entre sus patas delanteras y esperan pacientemente a que algún insecto descuidado pase por debajo, para así lanzar sobre él “su red de pesca”. La presa queda inmediatamente envuelta y es imposible que escape (**Figura 2c**).

Si bien es cierto que todas las arañas son capaces de producir seda, no todas la utilizan para la construcción de telarañas. Hay especies de arañas no tejedoras que emplean otros mecanismos que implican interesantes comportamientos que les permiten obtener su alimento.

Cazar presas, una tarea con múltiples opciones

 Al existir diversas especies de arañas, es factible pensar que también existen distintas maneras de obtener alimento. Estas distintas estrategias van a depender no sólo de la especie de araña, sino de las condiciones del hábitat y de la disponibilidad de alimento, lo que puede implicar moverse constantemente en busca de presas, como es el caso de las arañas errantes, que no se establecen en un lugar fijo, a diferencia de aquellas que tejen o esperan a que una presa se acerque. Dentro de este grupo podemos encontrar a las arañas lobo (familia *Lycosidae*) y una de las más conocidas, las arañas saltarinas (familia *Salticidae*). Como si se tratara de gatos, estas arañas se encuentran constantemente en búsqueda de artrópodos que están al nivel del suelo o de presas

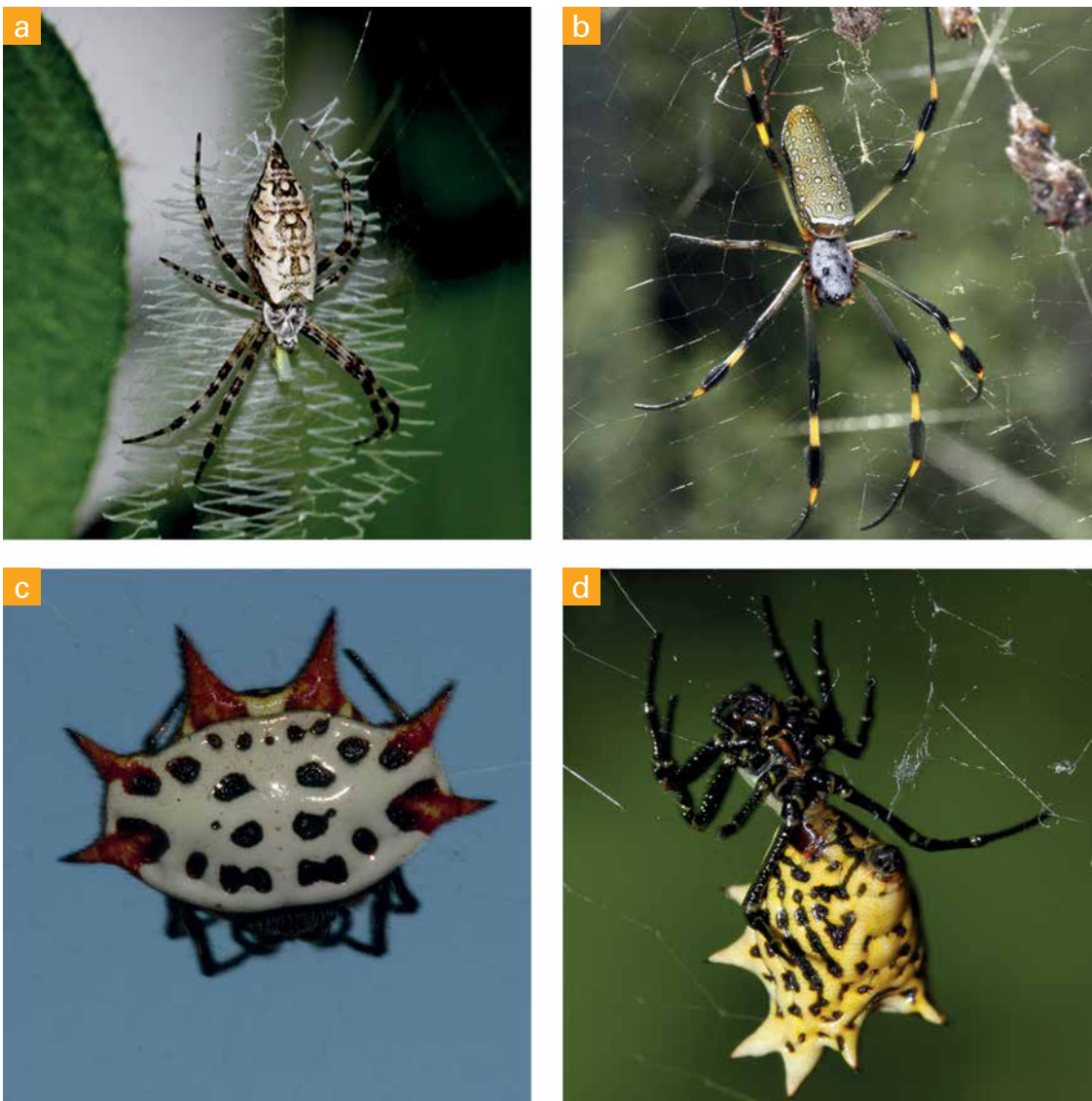


Figura 4. Las arañas tejedoras más comunes que podemos encontrar en áreas verdes: a) *Argiope aurantia*; b) *Trichonephila clavipes*; c) *Gasteracantha cancriformis*; d) *Micrathena gracilis*. Fotos: Dinesh Rao.

voladoras, e incluso pueden ser especialistas en cazar a otras arañas. Una vez que detectan movimiento, acechan a sus presas y se abalanzan sobre ellas (Figura 2d). Pero esta manera activa de caza requiere de ciertas características que deben estar presentes en estas arañas. En el caso de las arañas saltarinas se ha demostrado que su caza depende de la visión, lo que está asociado con el tamaño y el arreglo de sus ojos. Al ser muy activas persiguiendo presas, han desarrollado grandes ojos frontales que les permiten ver los detalles finos; es decir, presentan una agudeza visual de alta resolución y una desarrollada visión a

color. Además, poseen tres pares de ojos secundarios que se encuentran dirigidos hacia los costados y parte trasera, lo que les permite detectar hasta el más mínimo movimiento en 360°; así pues, se encuentran muy bien equipadas para el estilo de vida que llevan (Figura 5).

Las arañas emboscadoras (que se “sientan y esperan”) presentan un comportamiento depredador para atrapar a sus presas que consiste en esconderse de diversas maneras para pasar desapercibidas, ya sea construyendo madrigueras, permaneciendo completamente inmóviles, o bien modificando sus cuerpos



Figura 5. Se considera que la araña saltarina *Portia fimbriata* posee un desarrollado sistema visual en comparación con el resto de las especies de arañas. Foto: Pranav Joshi.

de modo que les permita mimetizarse con el fondo sobre el cual están posadas, engañando al ojo del observador. Algunas especies de tarántulas (familia *Theraphosidae*) suelen vivir en madrigueras bajo tierra, pero tienden una serie de hilos de seda hacia la entrada de la madriguera que funcionan como “hilos de alarma”. En el fondo de su refugio esperan a que una presa pase por la entrada de su escondite activando los hilos para abalanzarse sobre ella y arrastrarla hacia el interior de su madriguera.

Otras arañas, como las lince (familia *Oxyopidae*), o las arañas cangrejo (familia *Thomisidae*), suelen esperar posadas sobre las flores o entre las hojas a que una presa, principalmente voladora, se acerque lo suficiente para capturarla (**Figura 2e**). Algunas especies de arañas que pertenecen a estas familias dependen más del color de sus cuerpos, aunado a que logran permanecer inmóviles por largos periodos, lo que permite que no sean detectadas fácilmente. Lo sorprendente de las arañas cangrejo, por ejemplo,

es que pueden ser capaces de cambiar el color de sus cuerpos para ajustarse al color del fondo sobre el cual se posan, que suele ser principalmente el de flores.

■ Arañas especiales, estrategias de caza únicas

Entre las arañas existen algunas con estrategias de caza poco convencionales, como las boleadoras (género *Mastophora*). Estas arañas capturan a sus presas en pleno vuelo usando una bola de seda muy pegajosa que cuelga de un único hilo de seda. Lo interesante de esta estrategia es que logran impregnar de “feromonas” de polilla a dicha bola de seda, imitando la composición química y atrayendo a polillas desprevenidas, que al guiarse a través de este “aroma falso”, se dirigen hacia una trampa.

Por otra parte, las arañas escupidoras, de la familia *Scytodidae*, tienen unos **quelíceros** pequeños y no tejen telaraña, sino que “escupen” con mucha precisión una sustancia pegajosa que inmoviliza a la presa

■ Quelíceros

Par de estructuras bucales fundamentales para la alimentación, utilizadas para capturar y sujetar a las presas. En las arañas, los quelíceros están conectados a una glándula de veneno a través de la cual inyectan éste en su presa. ▶

para capturarla e ingerirla. También existen arañas pescadoras de las familias *Pisauridae* y *Trechaleidae*, que utilizan los espejos de agua para cazar. Estas arañas se posan sobre el agua sin hundirse, ya que no rompen su tensión superficial. Desde esa posición, perciben mediante sus patas las vibraciones de pequeños peces que se mueven debajo del agua, o incluso de artrópodos que chapotean en la superficie, y rápidamente se abalanzan sobre ellos.

Finalmente, existen especies de arañas que pueden vivir a expensas de otras para alimentarse. Las arañas cleptoparásitas habitan dentro de las telarañas de otras especies y se roban parte del alimento de su araña hospedera. Las arañas del género *Argyrodes* utilizan esta estrategia para obtener alimento. Pero no todo es tan sencillo como parece, ya que corren el riesgo de ser detectadas por su araña hospedera y, por tanto, ser depredadas.

■ Las arañas, grandes depredadoras

■ Con las arañas no todo está dicho, ya que gracias a muchos estudios sobre el comportamiento de algunas especies, ha sido posible conocer las distintas formas de obtener alimento y la composición de su dieta. Por ejemplo, mientras que muchas especies de arañas se consideran generalistas, es decir, comen diversos tipos de presas (por ejemplo, abejas, avispa, grillos, moscas, mariposas, etc.), existen otras, como la saltarina del género *Portia* (Figura 5), que tienen una dieta especializada, es decir, sólo cazan otras arañas; o como la saltarina *Evarcha culicivora*, que se especializa en atacar a las hembras mosquito que llevan sangre. Hoy en día se considera que existen muchas más especies de arañas que las que se tienen reportadas, y desconocemos mucho del comportamiento de la gran mayoría de las especies, por lo que seguramente existen estrategias de caza por descubrir. Lo que sí es un hecho es que las arañas son grandes aliadas en el control de poblaciones de insectos, y más que temerles, debemos reconocer su

importancia en los ecosistemas y conservarlas. Son muy pocas las especies que se consideran de importancia médica-toxicológica para los humanos, por lo que debemos evitar eliminarlas.

Karem Guadalupe Sánchez Solano

Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada, Universidad Veracruzana.
karemsanchez@uv.mx

Dinesh Rao

Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada, Universidad Veracruzana.
vrao@uv.mx

Luis Eduardo Robledo Ospina

School of Natural Sciences, Faculty of Science and Engineering, Macquarie University, Australia.
luis.robledo86@yahoo.es

Lecturas recomendadas

- Cardoso, P., S. Pekár, R. Jocqué y J. A. Coddington (2011), "Global patterns of guild composition and functional diversity of spiders", *Plos One*, 6(6): e21710.
- Michalko, R., y S. Pekár (2016), "Different hunting strategies of generalist predators result in functional differences", *Oecologia*, 181:1187-1197.
- Nyffeler, M., y K. Birkhofer (2017), "An estimated 400-800 million tons of prey are annually killed by the global spider community", *The Science of Nature*, 104: 30.
- Quijano Cuervo, L. G., L. E. Robledo Ospina, L. F. García Hernández y F. Escobar Sarria (2021), "Arañas: tejiendo un eslabón crucial para el equilibrio de los agroecosistemas", *Revista Digital Universitaria*, 22(3).
- Taylor, L. A., F. R. Cross y R. R. Jackson (2022), "Blood-red colour as a prey choice cue for mosquito specialist predators", *Animal Behaviour*, 188:85-97.
- World Spider Catalog (2025), *World Spider Catalog*, versión 26, Natural History Museum Bern. Disponible en: <http://wsc.nmbe.ch>, consultado el 16 de agosto de 2025.

Mónica Yanira Rodríguez-Pérez, María Pamela Bermúdez-González y Laura Sánchez-Velasco

Los dientes, una importante fuente de información morfológica y ecológica

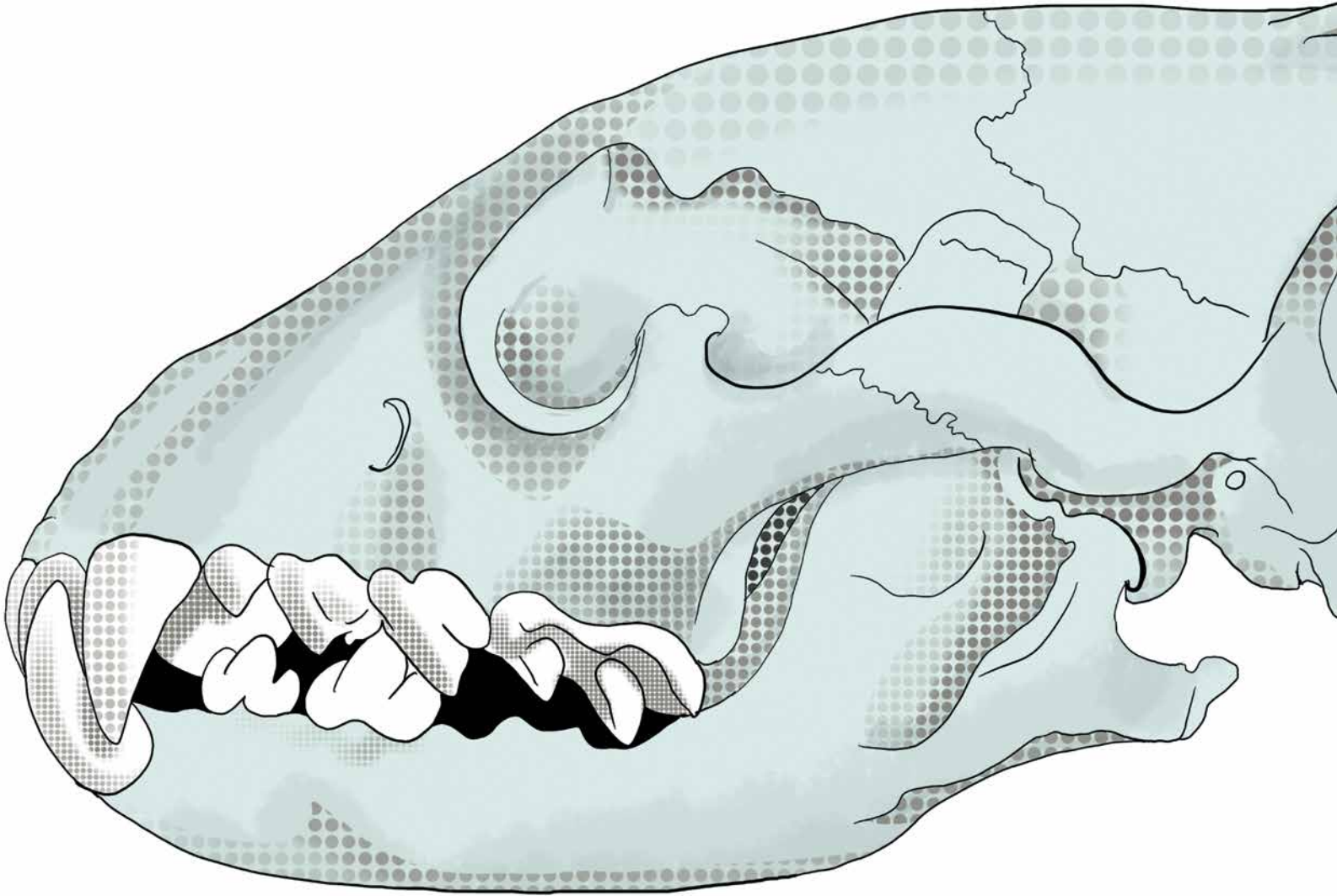
Los dientes son excelentes fuentes de información morfológica y ecológica. Mediante técnicas como los isótopos estables, se han podido conocer aspectos como periodo de lactancia, migraciones, periodos de hambruna, de qué se alimentan los organismos y qué papel tienen dentro de su ecosistema. Así podemos entender mejor cómo se han adaptado a los cambios que enfrentaron en su historia de vida.

Estudio de los dientes en las ciencias

Los seres humanos tenemos curiosidad por conocer cómo era la vida de los seres vivos en el pasado; por ello, se han buscado diferentes técnicas para obtener datos acerca de dónde vivían, cómo se alimentaban o cómo el ambiente afectó su vida. Hemos encontrado que los dientes en los organismos son estructuras únicas que pueden funcionar como un “diario” o un “libro” que nos permite obtener información de la vida de organismos fósiles y actuales.

El primer registro del uso de dientes para obtener información acerca de un organismo fue en humanos, en la Roma del año 49 de nuestra era. Según cuenta la historia, al morir Calígula, su tío Claudio tomó el mando y se casó por cuarta ocasión, eligiendo entre dos candidatas, Lolía Paulina y su sobrina Agripina, y optó por la segunda. Lolía era conocida por ser una mujer muy atractiva, pero ostentosa; gustaba de llevar joyas muy costosas en cada cena e incrustarse oro en los dientes. Esto originó la envidia y celos de Agripina, quien, temiendo ser desplazada, solicitó que mataran a Lolía, pero para asegurarse que fuera asesinada pidió que su cabeza le fuera entregada. Sin embargo, cuando le entregaron la cabeza estaba en tal estado de putrefacción que no pudo identificar su rostro; entonces solicitó ver sus dientes, pues sabía que tenían peculiares restauraciones en oro y fue de esta manera como pudo identificar su cadáver.

A partir de entonces y hasta la fecha los dientes han permitido identificar a grandes personajes en la historia; además, se han consolidado las áreas de odontología y ecología forense, las cuales en conjunto se encargan de obtener información (por ejemplo, edad, dieta, entre otros) de personas y organismos. En la actualidad



se sabe que la probabilidad de que dos individuos tengan una dentadura idéntica es nula, dadas las características morfométricas (forma y tamaño) de cada diente, aunado a los tratamientos dentales a los que nos solemos someter los humanos.

Pasado y presente a través de los dientes

En los mamíferos –todos aquellos individuos que poseen glándulas mamarias que producen leche, con las que pueden alimentar a sus bebés al nacer; desde un roedor hasta una ballena–, es posible valerse de los dientes como estructuras de registro porque son muy duros y en su interior forman líneas de crecimiento que se observan como bandas anchas de material que se va acumulando durante un periodo, que en la mayoría de los casos puede ser anual (Figura 1a). También se pueden observar capas más delgadas de tejido transparente u opacas en el interior de los dientes, que regularmente se forman en invierno o invierno-primavera; estas capas, parecidas a líneas (gruesas o delgadas), se asocian a variaciones en la cantidad de calcio que se va acumulando debido a cambios alimenticios u hormonales que surgen con las estaciones del año, ya que, por ejemplo, cuando

el alimento escasea, la capas en los dientes son más delgadas por la deficiencia de nutrientes.

Aunque la mayoría de los mamíferos forman capas de crecimiento en los dientes de manera anual, existen algunas especies que rompen este patrón: las especies de rápido crecimiento. Por ejemplo, en roedores el diente crece muy rápido y las capas de crecimiento pueden almacenar información diaria (Figura 1a), mientras que en los mamíferos (tanto terrestres como acuáticos) de lento crecimiento las líneas crecen con bastante lentitud y se registra información o cambios fisiológicos de un periodo de un año por la deposición lenta del material mineral que conforma sus dientes (Figura 1b).

Estudio de la composición química de los dientes para resolver misterios

En las últimas décadas una de las técnicas más fructíferas para obtener información ecológica de las especies a través de los dientes es mediante isótopos estables; pero ¿qué es un isótopo estable? Los isótopos son diferentes formas de un mismo elemento químico de la tabla periódica, es decir, todos parecen gemelos; algunos delgados, otros más grandes o

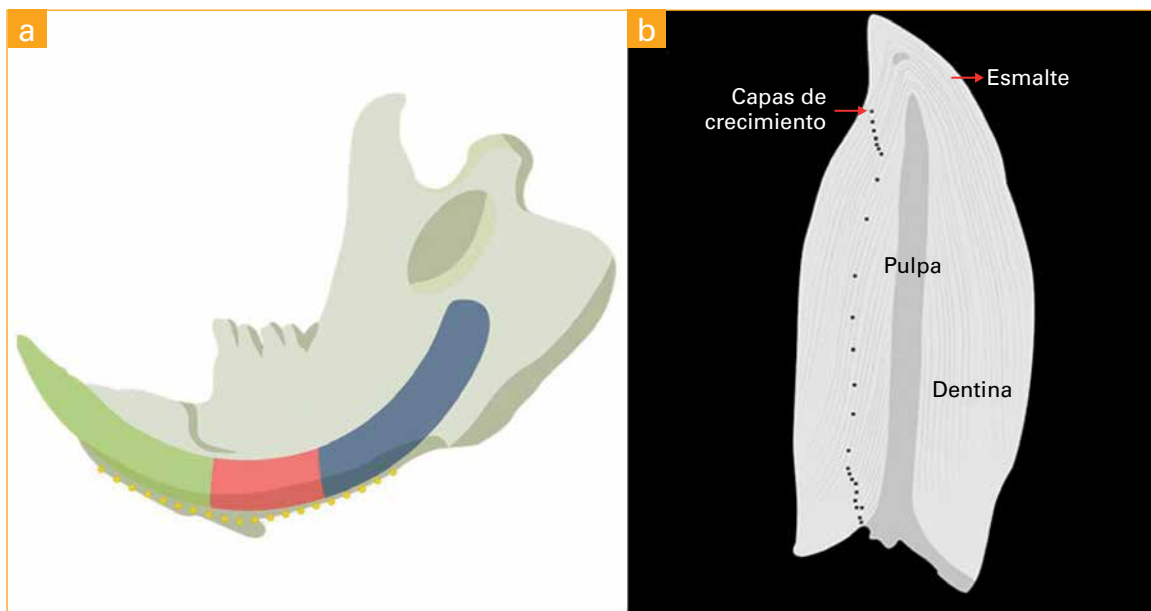


Figura 1. a) Diente de roedor, donde cada color representa el crecimiento de semanas, que sería la ventana temporal de información obtenida a partir del mismo. b) Diente de lobo marino, donde una capa clara y una oscura representan un año de edad, por lo cual, en conjunto, las capas arrojan información sobre toda la vida del organismo.

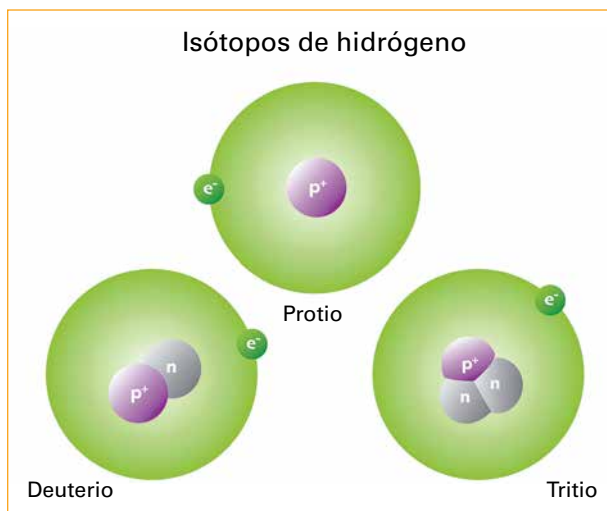


Figura 2. Diferentes formas del isótopo de hidrógeno definidas por el número de neutrones en el núcleo: p⁺ (protón), e⁻ (electrón), n (neutrón).

altos, pero todos parecidos entre sí. Estos elementos tienen en sus átomos el mismo número de protones y electrones, pero diferente número de neutrones, variación que proporciona diferencias en su masa atómica (suma de protones y neutrones), cambiando sus características físicas, pero conservando las químicas. Ahora bien, estas diferencias en su masa atómica les dan una mayor o menor estabilidad en el tiempo; en algunos casos, debido a su inestabilidad, estos elementos pueden emitir radiación, ya que cambian su forma química con el tiempo y reciben el nombre de **isótopos radiactivos**, a diferencia de los **isótopos estables**, los cuales conservan su forma. Por ejemplo, el hidrógeno tiene tres isótopos, como podemos ver en la **Figura 2**. El hidrógeno **sin neutrones en su núcleo** se llama protio, con un neutrón es deuterio y con dos neutrones es tritio. Aunque existen muchos isótopos estables, a continuación hablaremos de los cuatro más utilizados en ecología: carbono (C), nitrógeno (N), oxígeno (O) e hidrógeno (H).

Carbono (C). Los cambios en los valores de isótopos de carbono pueden asociarse con cambios en la dieta, pero reflejan principalmente la variación en fuentes de carbono y producción primaria del lugar donde vive el organismo. Los valores del isótopo de carbono nos pueden dar información; por ejemplo, sobre el tipo de vegetación que domina un hábitat: si

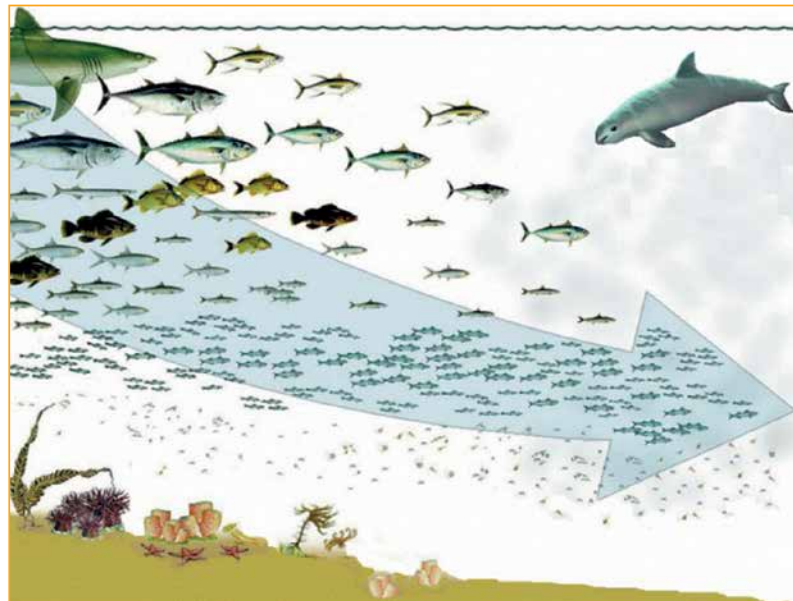


Figura 3. Ruta trófica que representa el flujo de energía entre los diferentes niveles tróficos (flecha azul translúcida), desde el depredador tope y hacia la base, que en la figura estarían representados por la vaquita marina y el tiburón.

predominan las plantas vasculares (árboles, arbustos, plantas con flor, entre otros), fitoplancton, macroalgas, todas conocidas como plantas C3 por producir compuestos de tres carbonos durante su fotosíntesis; o bien si prevalecen las plantas tropicales, subtropicales o pastos marinos que producen compuestos de cuatro carbonos, las cuales se conocen como plantas C4. También están las plantas CAM, donde la fotosíntesis se lleva a cabo en dos fases y las estomas se abren durante la noche y cierran durante el día para evitar pérdida de agua; constituyen casi todas las plantas desérticas.

Nitrógeno (N). Los valores del isótopo del nitrógeno aumentan de forma predecible con cada **nivel trófico**, lo que permite estimar su rol dentro de un ecosistema dado (**Figura 3**). Además de lo anterior, los isótopos estables de nitrógeno son capaces de dejarnos ver cuándo existieron eventos de hambruna asociados a causas metabólicas generadas por enfermedades como la bulimia en los individuos. Al no darle de comer al cuerpo, los organismos empiezan a consumir sus propias reservas; primero las grasas, pero si el periodo de inanición continúa, el metabolismo comienza a hacer uso de tejido muscular,

Isótopos radiactivos

Son átomos inestables en su núcleo que emiten radiación y se descomponen o cambian hasta alcanzar estabilidad con el tiempo, convirtiéndose en isótopos estables o incluso en elementos diferentes al elemento inicial.

Isótopos estables

Son átomos cuyo núcleo no es inestable y no emite radiación a través del tiempo, lo que permite que conserven su forma por largos periodos.

Nivel trófico

Se refiere a la posición que un organismo ocupa dentro de una cadena trófica y depende de cómo obtiene la energía que requiere para vivir.

lo cual aumenta los valores de nitrógeno, ya que es similar a que ese individuo se consumiera a sí mismo.

Actualmente, al usar en conjunto isótopos estables de carbono y nitrógeno podemos obtener información acerca de la vida de los organismos y cómo se relacionan con otros organismos en el ecosistema: si son depredadores o consumidores de niveles tróficos bajos o altos, cuánto tiempo dura la lactancia en crías, o cuándo la cría complementa su alimentación de leche materna con alimento sólido; incluso es posible identificar si presentó enfermedades como anorexia o bulimia a lo largo de su vida, gracias a la formación de capas dentales.

Hidrógeno y oxígeno. El hidrógeno (H) y el oxígeno (O) son isótopos estables que nos permiten definir rutas migratorias o generar información sobre el ambiente en el cual viven o vivieron los organismos. Lo anterior es posible porque, como seguramente sabes, el agua está formada por átomos de hidrógeno y oxígeno (H₂O). En cada lugar esta agua presenta valores isotópicos de oxígeno e hidrógeno diferentes y al beberla los individuos asimilan en su cuerpo

estos valores isotópicos de la región donde estuvieron (**Figura 4**). Por ejemplo, se ha observado que los análisis de isótopos estables de oxígeno e hidrógeno en dientes pueden darnos información de los lugares donde estuvieron los individuos y de cómo se movieron en y entre ecosistemas a lo largo de sus vidas. Además, nos dan información de características ambientales como temperatura, salinidad y precipitación de sus hábitats y de cómo cambiaron a lo largo de su vida (**Figura 5**).

Con los dientes también podemos saber si los organismos migran durante su vida a diferentes lugares o si son especies “endémicas”; es decir, que no se mueven nunca del lugar donde nacen. ¿Cómo sabemos esto? Gracias a que la composición de los isótopos de oxígeno e hidrógeno dentro de los organismos será similar a la composición de los lugares donde vivieron y cada lugar tiene su “huella isotópica” particular, la cual queda grabada en los individuos que viven en un lugar por periodos relativamente largos (meses o años).

Y en conclusión, ¿por qué estudiar los dientes?

 Los dientes son una increíble fuente de información a través de las capas de crecimiento que se forman en su interior y, con ayuda de herramientas tan valiosas como los isótopos estables, nos muestran la historia de vida de las especies, desde el lugar en el cual nacieron, qué comían, hacia dónde migraron, y hasta problemáticas importantes como enfermedades o cambios ambientales a los que pudieron estar expuestas. De esta manera, podemos discernir cómo ha sido la adaptación de los organismos a los diferentes cambios que enfrentaron en su historia de vida.

Todos estos descubrimientos de las maravillosas historias que nos pueden contar los dientes están siendo explorados actualmente con especies tan misteriosas como la vaquita marina. Recordemos la historia de celos de Agripina, que llevó a la muerte de Lolía Paulina: si Agripina supo a partir de los dientes que se trataba de Lolía, imagina lo que se podría saber usando técnicas actuales como los isótopos estables —posiblemente qué tipo de dieta



Figura 4. Animales bebiendo agua, la cual tiene un valor de oxígeno e hidrógeno específico para esa área que queda registrado en los tejidos de los individuos que la consuman.

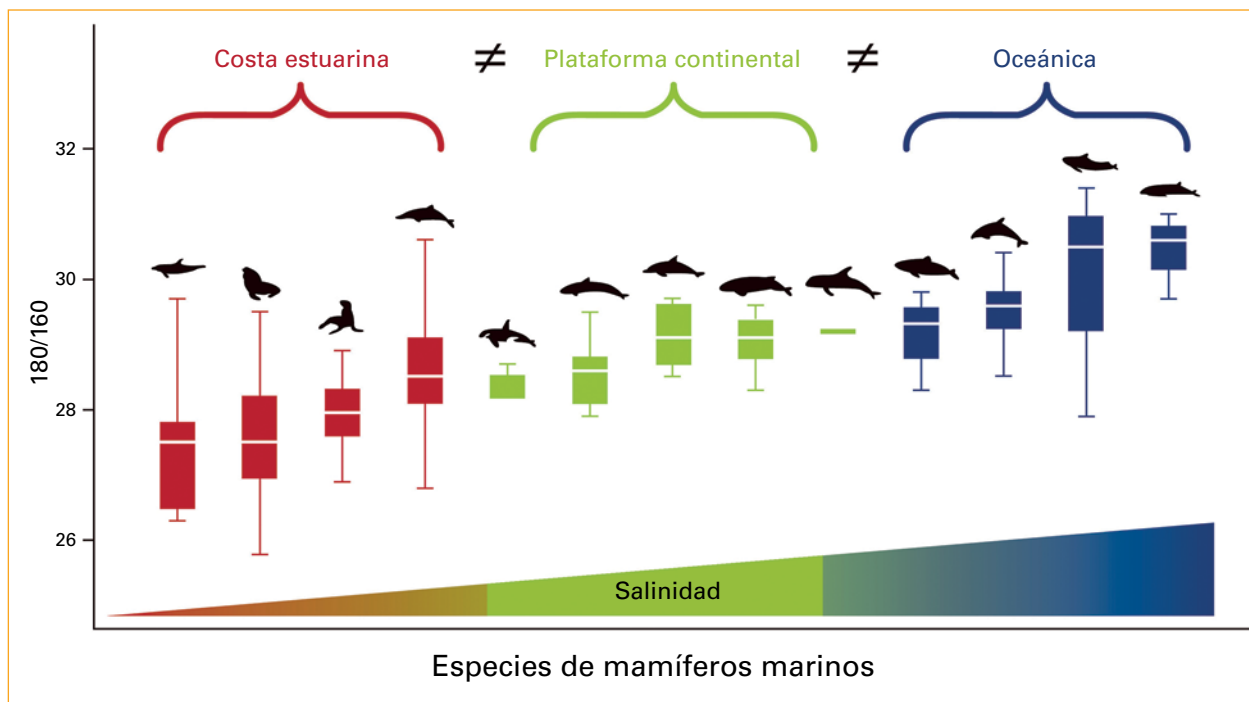


Figura 5. Determinación del hábitat de diferentes especies de mamíferos acuáticos a partir de la relación isotópica de los isótopos ligero y pesado de oxígeno. El color rojo representa a organismos costero-estuarinos, con valores más variables (línea roja) debidos a su movimiento entre agua dulce, salobre y salina. El color verde implica organismos costeros con los valores menos variables, y el color azul representa a organismos oceánicos con los valores más altos en los isótopos del oxígeno. Las diferencias entre las relaciones de los isótopos pesados con respecto a los ligeros se determinan por diferentes factores que influyen en la concentración de isótopos en el medio y, por consecuencia, en el tejido de los organismos.

tenía, si padecía alguna enfermedad o algún trastorno alimenticio—. Cada vez que veas un diente, piensa en la sorprendente biblioteca de información que nos puede contar de la historia de vida de los individuos.

Mónica Yanira Rodríguez-Pérez

Conahcyt-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (Cicimar)-IPN.
stenella_16@yahoo.com

María Pamela Bermúdez-González

Universidad Autónoma de Querétaro.
pamelabg@uaq.mx

Laura Sánchez-Velasco

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (Cicimar)-IPN.
lsvelasc@ipn.mx

Lecturas recomendadas

- Clementz, M. T. y P. L. Koch (2001), "Differentiating aquatic mammal habitat and foraging ecology with stable isotopes in tooth enamel", *Oecologia*, 129(3):461-472.
- Hobson, K. A. y J. Sease (1998), "Stable isotope analysis of tooth annuli reveal temporal dietary records: An example using Steller Sea lions", *Marine Mammal Science*, 14(1):116-129.
- Hobson, K. A., R. T. Alisauskas y R. G. Clark (1993), "Stable-nitrogen isotope enrichment in avian tissue due to fasting and nutritional stress: Implications for isotopic analyses of diet", *The Condor*, 95:388-394.
- Klevezal, G. A. (1996), *Recording structures of mammals: Determination of age and reconstruction of life history*, EUA, A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- Koch, P. L., D. C. Fisher y D. Dettman (1989), "Oxygen isotope variation in the tusks of extinct proboscideans: a measure of season of death and seasonality", *Geology*, 17(6):515-519.
- Newsome, S. D., M. T. Clementz y P. L. Koch (2010), "Using stable isotope biogeochemistry to study marine mammal ecology", *Marine Mammal Science*, 26:509-572.

Aline Graciela Ruiz-Cazares y María del Rosario Gregorio-Cipriano

La unión hace la fuerza: historia de los líquenes

Los líquenes son organismos poco conocidos para la sociedad fuera del área biológica. Son una asociación simbiótica entre un hongo y un alga, los cuales se unen para formar un solo organismo. La complejidad de esta simbiosis es el reflejo de una historia evolutiva de millones de años. Así pues, nuestro objetivo es dar a conocer qué son los líquenes y la historia de su simbiosis.

Introducción

Se dice que la unión hace la fuerza y un claro ejemplo son los individuos que se asocian en la simbiosis líquénica. Se denomina simbiosis a la unión de dos individuos de diferentes especies que muestran una relación estrecha entre sí. La simbiosis líquénica está representada principalmente por la unión de un hongo y un alga, o un hongo y una cianobacteria (bacterias que producen su alimento mediante fotosíntesis) (**Figura 1**). La simbiosis se puede establecer entre animales, plantas, microorganismos y hongos. Se puede dar de diferentes maneras, por ejemplo: a la relación en la que uno de los individuos se beneficia y el otro se ve afectado se le conoce como *parasitismo*; en el *comensalismo*, en cambio, sólo uno se beneficia, pero el otro no se ve afectado; y, finalmente, a la relación donde ambos individuos se ven beneficiados por la simbiosis se le llama *mutualismo*. Un ejemplo de simbiosis mutualista son los líquenes. En esta relación, casi como en una “amistad”, ambos individuos se benefician al formar una nueva estructura, ya que obtienen mayor resistencia para colonizar territorios en los que no podrían crecer de manera individual.

Esta simbiosis ha sido tan exitosa que algunos hongos pueden relacionarse al mismo tiempo con un alga y con una cianobacteria. Incluso, algunos líquenes pueden convivir con dos especies de hongos junto con el alga o cianobacteria. Al unirse estos organismos en simbiosis, forman una estructura que conocemos como *talo líquénico* (**Figura 2**).

Todas las simbiosis líquénicas son únicas, el talo del liquen puede variar mucho en forma y tamaño de acuerdo con las diferentes combinaciones entre hongos,



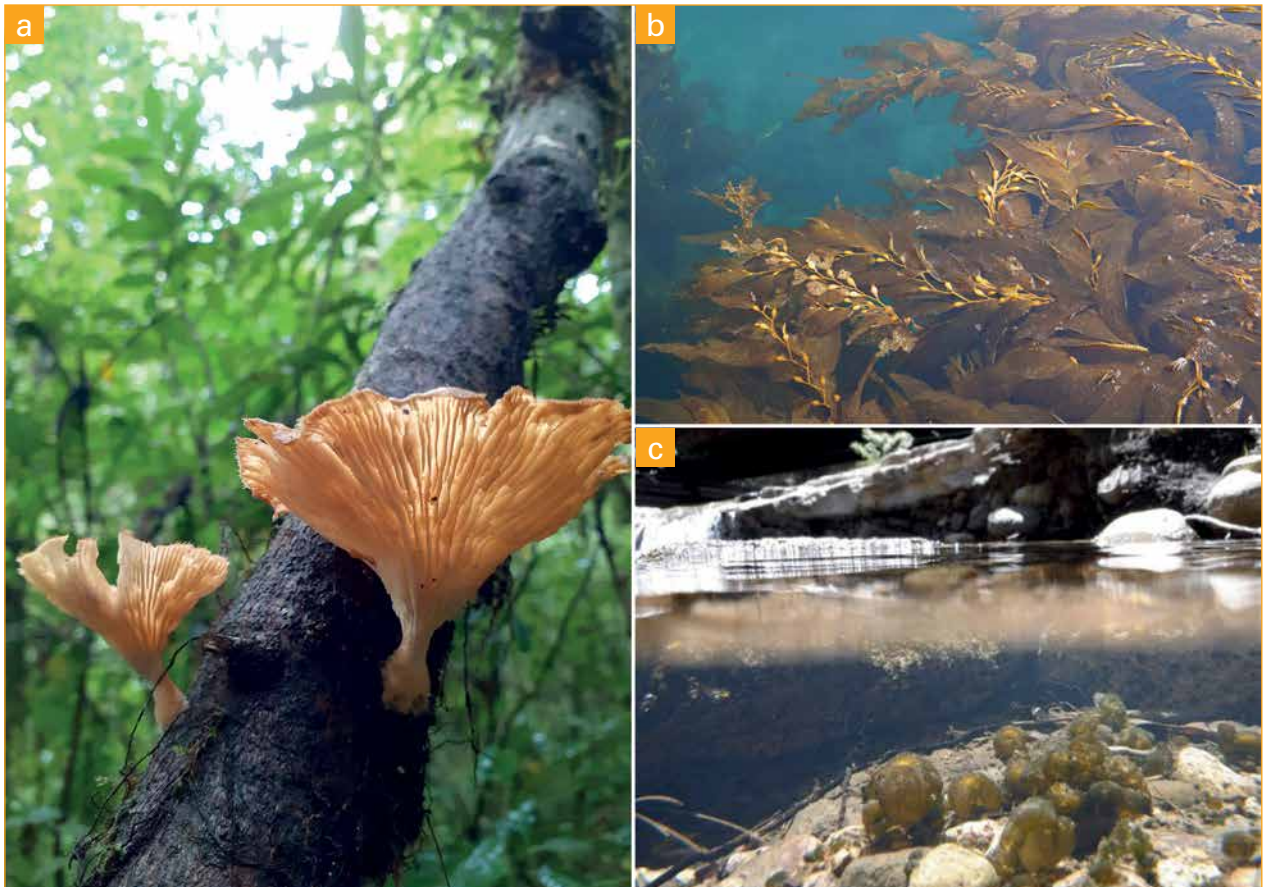


Figura 1. Ejemplos de organismos que pueden conformar un líquen. a) Hongos terrestres (basidiomicetos); b) algas marinas (*Macrocystis pyrifera*), y c) cianobacterias acuáticas (*Nostoc verrucosum Vaucher*). Estas fotografías son de carácter ilustrativo ya que las especies de hongos, algas y cianobacterias que forman los líquenes son muy diferentes y microscópicas.

algas y cianobacterias (**Figura 3**). Debido a estas combinaciones particulares entre los tres organismos, conocemos alrededor de 19 387 especies de líquenes en todo el mundo. En México se conocen 2 722 especies, pero se estima que su número podría alcanzar las 5 000, tomando en cuenta la diversidad de ecosistemas del país. La mayoría de los líquenes conocidos en México son de los bosques templados: 947, seguidos por el **matorral xerófilo**, con 544, y el bosque tropical húmedo, con 391 especies.

Por supuesto que esta asociación tan exitosa no se dio de la noche a la mañana. Para tratar de entender el proceso de esta gran “amistad”, debemos echar un vistazo a la historia evolutiva de estos organismos. Primero hablemos de la importancia de los líquenes, posteriormente de la antigüedad de su simbiosis, de su tolerancia a la desecación y, finalmente, ofreceremos una breve conclusión so-

bre la historia evolutiva de la simbiosis líquénica. Nos preguntamos ¿quién fue primero, el alga o la cianobacteria?

■ ■ ■ Importancia de los líquenes

■ El ser humano ha usado los líquenes de diferentes maneras para su beneficio, principalmente en la alimentación. Registros antiguos mencionan el uso de algunas especies en la elaboración de pan; incluso, se tiene reporte de que el ejército de Alejandro Magno, durante su paso por Persia, se alimentó con pan elaborado con especies de líquenes. En China se usa la especie *Thamnolia vermicularis* para la fabricación del té “Snow tea”. En Japón y Corea se consume *Umbilicaria esculenta* como ensalada y en sopa con soya o frita. Incluso, existe el registro de que en México se usan dos especies del género *Usnea* para la

Matorral xerófilo ▶ Ecosistema característico de zonas áridas y semiáridas con baja precipitación, donde predomina la vegetación adaptada a la escasez de agua.

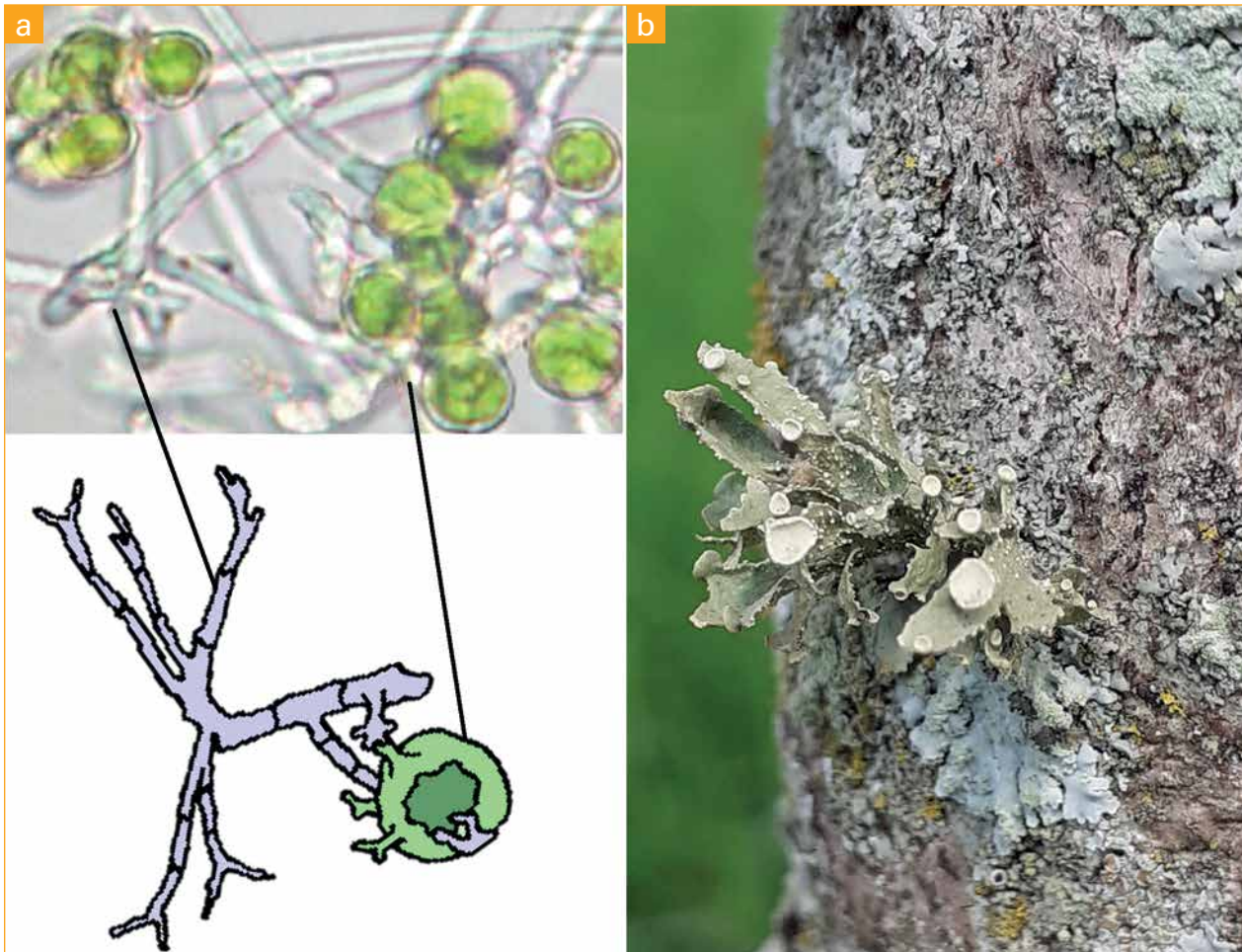


Figura 2. Talo liquénico. a) Estructura interna de un líquen conformado por hifas (hebras del hongo) y células de algas (en color verde) (ilustración modificada: Spielmann, 2006); b) diferentes líquenes en un tronco (fotografía: Ruiz-Cazares). Algunos líquenes pueden tener gran tamaño, pero la mayoría son pequeños e incluso microscópicos.

fabricación de la cerveza tradicional a base de maíz llamada “tesgüino”.

Otra aplicación relevante de los líquenes es su uso como colorantes naturales. La tinción de objetos, accesorios, o fibras con tintes obtenidos a partir de líquenes ha sido documentada en diversas culturas del mundo. Por ejemplo, los rarámuris en Chi-huahua, los nahuas en Veracruz y algunos pueblos originarios de Chiapas y Oaxaca utilizan algunas especies del género *Usnea* para obtener tintes de tonalidades cafés, doradas, amarillas a naranjas para teñir mantas, fibras de origen vegetal o de lana.

El uso de los líquenes en la medicina tradicional es aún más amplio, ya que se han utilizado diferentes especies para el tratamiento de problemas urinarios, como antihemorrágico en heridas pequeñas,

e incluso en el tratamiento de la tuberculosis. En México existe un registro amplio de especies que se usan en la medicina tradicional, principalmente para el tratamiento de enfermedades respiratorias y quemaduras.

Uno de los aspectos más importantes de los líquenes es que son sensibles a la contaminación del ambiente; algunas especies pueden desaparecer por completo en lugares con altos niveles de contaminación, por lo que se han usado como indicadores de contaminación y para la evaluación del deterioro y calidad del medio ambiente. Debemos agregar que los líquenes sirven como nido y resguardo de otros organismos, como insectos y arañas, además de servir de alimento para vertebrados e invertebrados. Se considera que los líquenes tienen gran importancia



Figura 3. Diferentes formas que puede tener un líquen. a) Líquen folioso del género *Punctelia* en color verde y líquen fruticoso (en forma de arbusto pequeño) del género *Teloschistes* en color amarillo. b) Líquen gelatinoso del género *Leptogium*, el cual tiene una estructura interna muy particular que lo hace parecer como de gelatina. Fotos: Ruiz-Cazares.

tanto para el ser humano como para el ambiente en general.

■ El origen de la simbiosis líquénica

■ Ya que hemos visto la importancia de los líquenes, adentrémonos en conocer el posible origen de la simbiosis. Muchos investigadores se han preguntado dónde y cuándo surgió la primera simbiosis líquénica. Algunos se han dado a la tarea de buscar líquenes en el registro fósil para determinar su antigüedad; sin embargo, son muy pocos los registros que se han descubierto. Los primeros registros de líquenes fosilizados se encontraron en 1965 en Tennessee, EUA. Se estima que tienen una antigüedad de 55 millones de años, aproximadamente. Tres décadas más tarde, en 1995, se encontró el registro de lo que parece una simbiosis de cianobacterias y hongos de 400 millo-

nes de años. Sin embargo, los registros más antiguos se encontraron en Weng'An, China, con 600 millones de años de antigüedad; este registro consiste en filamentos de hongos estrechamente relacionados con algas o cianobacterias.

Es extremadamente complicado reconocer hongos y algas en simbiosis fosilizados, ya que el proceso de fosilización requiere de condiciones específicas para lograr un registro óptimo de un organismo que vivió hace millones de años. Lo anterior ha hecho aún más raro que se puedan observar registros claros de los participantes de la simbiosis o en estructuras características de líquenes.

Algunos registros fósiles más convincentes, donde se puede distinguir con mayor claridad la simbiosis, provienen de yacimientos en Escocia, con una antigüedad de 400 millones de años. En éstos se observa la simbiosis entre un hongo y una ciano-

bacteria que, en conjunto, forman una estructura de un talo gelatinoso (véase la [Figura 3b](#) y [Figura 5b](#)). Otros registros con la misma antigüedad encontrados en Brasil, Bolivia y Canadá presentan características morfológicas que coinciden con un talo gelatinoso, como es el caso de algunos líquenes acuáticos encontrados actualmente del género *Verrucaria* ([Figura 4](#)). No obstante, hay una gran brecha entre los fósiles de hace 400 millones de años y los de hace 55 millones de años. Estos últimos tienen estructuras más similares a los líquenes actuales, los cuales se estima que surgieron hace unos 200 millones de años; por ello, la información al respecto aún se considera incompleta.

■ Líquenes y su tolerancia a la deshidratación

■ Si pensamos que la simbiosis líquénica requiere que el hongo deje su vida debajo del suelo y el alga o cianobacteria salga de su vida oculta dentro del agua, ambos quedarían expuestos a altos niveles de radiación solar y desecación. Sin embargo, los lí-

quenes son capaces de crecer en ambientes donde la humedad es extremadamente escasa. Esta alta resistencia a la desecación es resultado de la simbiosis. Así, estos organismos tienen la capacidad de colonizar diferentes sustratos y crecer en hábitats en los que cada parte, individualmente, no podría sobrevivir. Ejemplo de ello son las especies que crecen en los desiertos e incluso en los polos.

Los líquenes tienen una gran capacidad para tolerar la deshidratación y pueden absorber el doble de su peso seco en agua. Aquellos líquenes que están en simbiosis con cianobacterias pueden absorber hasta 20 veces su peso en agua. No obstante, este proceso está sujeto a lo que llamamos *estrés oxidativo* (proceso químico que favorece el envejecimiento y muerte celular). Los líquenes tienen mecanismos que regulan dicho estrés facilitando la sobrevivencia y un restablecimiento rápido de los estados de deshidratación y rehidratación. El costo de la regulación de temperatura es muy alto y se refleja en un crecimiento extremadamente lento, aproximadamente 1 mm al año, aunque implica un gran beneficio

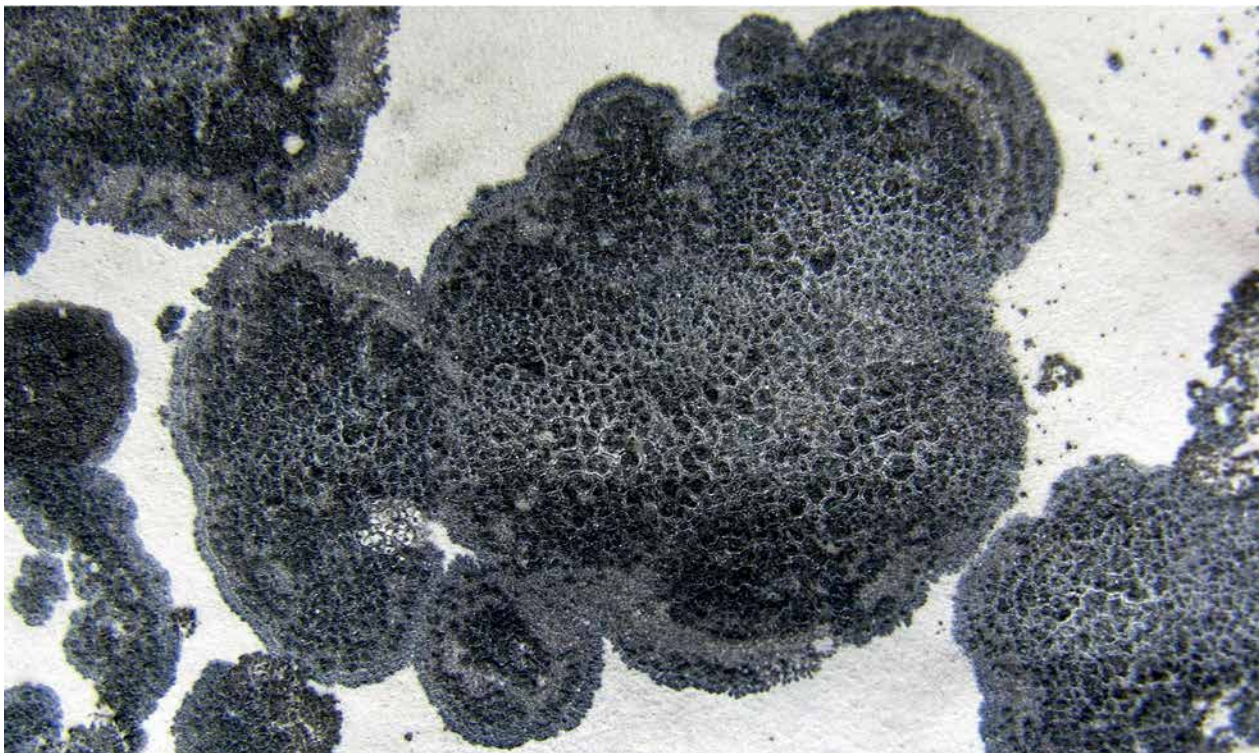


Figura 4. Fotografía del líquen *Verrucaria nigrescens*. Este género tiene sólo una capa morfológica y carece de capa inferior. Se considera de menor complejidad que los que tienen más capas morfológicas. Fotografía: Andrew Khitsun, en Nash y cols. (2007), imagen de acceso libre.

evolutivo. Para ambos, hongo y alga, el aumento en su capacidad de tolerancia al estrés hídrico es esencial para su sobrevivencia fuera del suelo, lo que incrementa su posibilidad de reproducirse y dispersarse.

Todo lo anterior parece confirmar que la asociación de hongos, algas y cianobacterias en los líquenes tiene muchos beneficios para todos los participantes. En la simbiosis el hongo potencializa la tolerancia del alga a la desecación y, además, la protege de la radiación solar. El alga se ve más beneficiada por el hongo ya que, además de ser protegida, obtiene los nutrientes necesarios para su sobrevivencia.

En otras investigaciones se ha demostrado que el hongo puede desarrollar una forma de talo específico de acuerdo con el alga o cianobacteria con el que está en simbiosis. A esto se le llama *fotomorfismo*, característica que se considera podría ser la clave para entender los procesos evolutivos que han permitido la distribución y abundancia de las especies de líquenes.

■ ¿Quién fue primero, el alga o la cianobacteria?

■ Ahora bien, la siguiente pregunta es: ¿con quién fue la primera simbiosis de los hongos?, ¿con un alga o con una cianobacteria? Como ya hemos comentado, los fósiles más antiguos de líquenes son de organismos que están en simbiosis con cianobacterias, cuyos talos se asemejan a los líquenes acuáticos actuales. Lo anterior podría sugerir que las primeras simbiosis de líquenes fueron hongos en asociación con cianobacterias en un hábitat donde estaban sumergidos en agua y que, posteriormente, hicieron asociación con algas y evolucionaron hasta los líquenes que conocemos hoy en día.

Estudios de biología molecular han demostrado que los genes involucrados en la tolerancia a la desecación en las algas en simbiosis con líquenes probablemente fueron transferidos desde cianobacterias en



simbiosis líquénica. Esto sugiere una ventaja evolutiva para las cianobacterias en simbiosis con los hongos y refuerza la teoría de que los primeros líquenes fueron asociaciones de hongos con cianobacterias.

Otros trabajos que refuerzan esta teoría son aquellos de análisis morfológicos, ya que la mayoría de los líquenes en asociación con cianobacterias tienen una estructura interna a la que se le conoce como *homómera*. Esto no es más que la poca estructuración de la parte interna; es decir, no hay una diferenciación en capas de la cianobacteria y el hongo, lo cual hace que el talo del liquen se vea de forma gelatinosa (**Figura 5a**). En el caso contrario, los líquenes que tienen una estructura interna *heterómera* tienen una división de diferentes capas donde se pueden distinguir estratos bien definidos del hongo y el alga (**Figura 5b**). Asumiendo que la estructura más simple es la más primitiva, entonces en este sentido, se refuerza la teoría de que las cianobacterias fueron las primeras en estar en simbiosis con los hongos.

■ Conclusiones

■ El eslabón de la historia evolutiva de la simbiosis líquénica aún se encuentra perdido, pero se sigue buscando y hoy en día existen diferentes grupos de investigación dedicados al entendimiento de los procesos evolutivos que han tenido los líquenes para tener esa simbiosis tan exitosa. La carencia de registros fósiles completos de estos organismos impide realizar estudios más profundos sobre algunos aspectos de su evolución. Sin embargo, existe una amplia ventana de posibilidades de análisis genéticos tanto de hongos en simbiosis como de algas y cianobacterias que nos permitirán tener un mejor entendimiento de la historia evolutiva.

Aline Graciela Ruiz-Cazares

Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada (Inbioteca),
Universidad Veracruzana.
alinegrcazares@hotmail.es

María del Rosario Gregorio-Cipriano

Instituto de Ecología A. C. (Inecol).
rosriogc@gmail.com

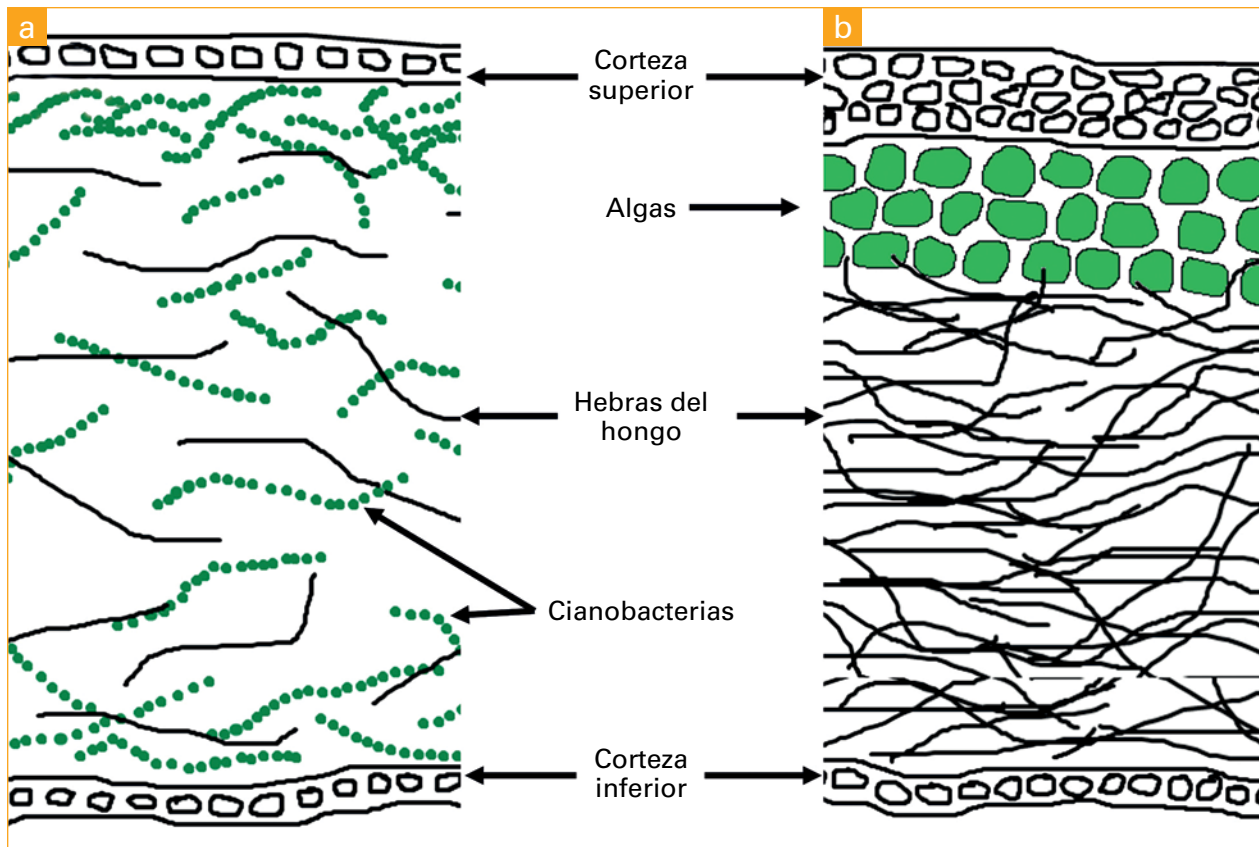


Figura 5. Diferencias entre los talos morfológicos de los líquenes. a) Esquema de la estructura interna de un talo homómero, b) esquema de la estructura interna de un talo heterómero. Ilustración: Ruiz-Cazares.

Lecturas recomendadas

- Bautista-González, J. A. (2017), *Uso, conocimiento local y cosmovisión de líquenes en la región de Tehuacán-Cuicatlán*, tesis de maestría, Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM, México.
- Candotto, F. C., M. Gerdol, A. Montagner, E. Banchi, G. de Moro, C. Manfrin, L. Muggia, A. Pallavicini y M. Tretiach (2016), "New features of desiccation tolerance in the lichen photobiont *Trebouxia gelatinosa* are revealed by a transcriptomic approach", *Plant Molecular Biology*, 91:319-339.
- Herrera, M., R. Lücking, R. E. Pérez, R. Miranda, N. Sánchez *et al.* (2014), "Biodiversidad de líquenes en México", *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: S82-S99.
- Hill, D. J. (2009), "Asymmetric co-evolution in the lichen symbiosis caused by a limited capacity for adaptation in the photobiont", *Botanical Review*, 75:326-338.
- Nash, T. H., B. D. Ryan, C. Gries y F. Bungartz (eds.) (2007), *Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region*, vol. III, Arizona, Lichens Unlimited, Arizona State University.
- Rikkinen, J. (2003), "Ecological and evolutionary role of photobiont-mediated guilds in lichens", *Symbiosis*, 34:99-110.
- Saini, K. C., S. Nayaka y F. Bast (2019), "Diversity of lichen photobionts: their coevolution and bioprospecting potential", en T. Styandarayana, S. K. Das y B. N. Johri (comps.), *Microbial diversity in ecosystem sustainability and biotechnological applications*, Singapur, Springer, pp. 307-332.
- Spielmann, A. A. (2006), "Checklist of lichens and lichenicolous fungi of Rio Grande Do Sul (Brazil)", *Caderno de Pesquisa, Série Biologia* 18:7-125.
- Spridille, T., P. Resl, D. E. Stanton y G. Tagirdzhanova (2022), "Evolutionary biology of lichens symbioses", *New Phytologist*, 234:1566-1582.
- Yuan, X., S. Xiao y T. N. Taylor (2005), "Lichen-like symbiosis 600 million years ago", *Science*, 308:1017-1020.

Perla María del Carmen Acevedo Ramírez, Aarón Rodríguez Caballero y Elia Torres Gutiérrez

La Sierra de Guadalupe, una fuente de biodiversidad en la Cuenca de México

¿Conoces la Sierra de Guadalupe o has escuchado algo sobre ella? Es una cadena montañosa al norte de la Ciudad de México. Probablemente has visto uno de los cerros que la conforman, ya que tiene muchas antenas, es ahí; pero su importancia va más allá de las telecomunicaciones, pues es un refugio de la naturaleza que proporciona múltiples beneficios ambientales y recreativos a toda la ciudad.

Antecedentes

La Sierra de Guadalupe es un conjunto de montañas que se ubica justo donde se unen algunos municipios del Estado de México –Ecatepec, Tultitlán, Tlalnepantla y Coacalco– y la Alcaldía Gustavo A. Madero de la Ciudad de México. Si buscas la Sierra de Guadalupe en un mapa, la encontrarás entre las latitudes 19°37' y 19°29' norte, y las longitudes 99°12' y 99°02' oeste (**Mapa 1**). La Sierra de Guadalupe abarca 6531.4 hectáreas, lo que equivale a más de 10000 canchas de fútbol. Algunas de sus montañas son elevadas y alcanzan hasta los 3050 metros sobre el nivel del mar; es decir, ¡tres kilómetros de altura desde el mar!

El Estado de México declaró a la Sierra de Guadalupe como Zona de Protección Forestal en 1923 y en 1976 la decretó como Parque Estatal. Mientras, en la Ciudad de México, en 1937 se creó el parque nacional El Tepeyac en la zona Oriente, y más tarde en la parte Norte y la zona interior fue creada la zona de preservación ecológica: Reserva Natural Sierra de Guadalupe. Por lo anterior, la Sierra de Guadalupe es considerada un Área Natural Protegida en la Ciudad y en el Estado de México, lo que quiere decir que los gobiernos de ambas entidades son responsables de que en esta zona no se realicen acciones que pongan en riesgo dicha área y a los seres vivos que la habitan de manera natural, así como de que se procure que exista la menor cantidad de cambios posibles en ella.

Entre sus terrenos escarpados y coloridos se encuentra un ecosistema que ha sido de gran importancia para los habitantes de esta cuenca: nuestros ancestros, nosotros mismos, así como las plantas, hongos, animales y muchos otros seres vivos que junto con nosotros tienen su hogar en esta región. Este complejo ecosistema



nos aporta beneficios directos e indirectos, conocidos como servicios ecosistémicos o ambientales. ¿Sabes cuáles son?

■ **Servicios ecosistémicos o ambientales**

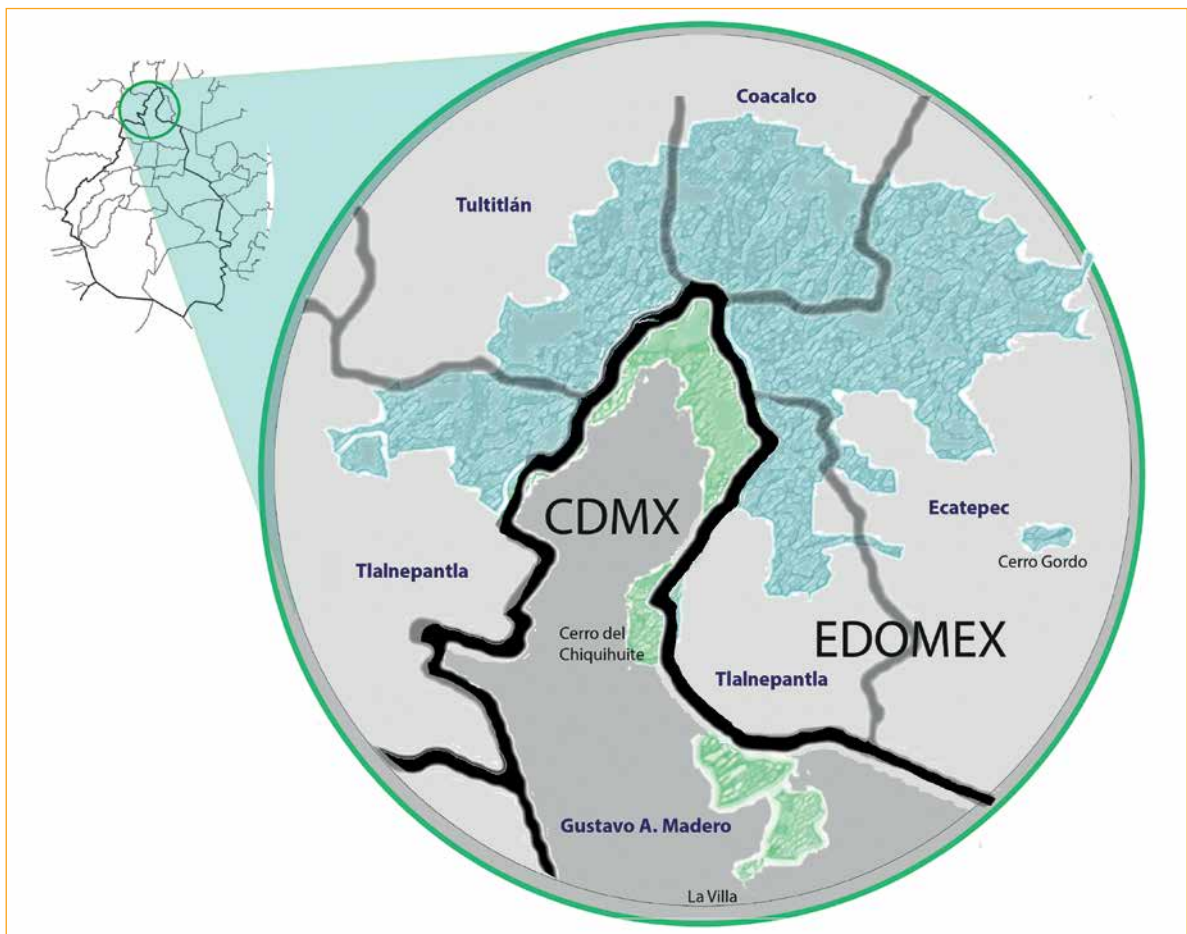
■ La Sierra de Guadalupe proporciona beneficios para los seres humanos. ¿Por qué? Es sabido que en esta zona el aire está muy contaminado por un exceso de CO_2 (dióxido de carbono), gas que atrapa el calor y provoca el efecto invernadero. Esto ocurre principalmente debido a la combustión, como sucede cuando se quema leña, carbón o la gasolina en las grandes fábricas y vehículos automotores. La Sierra de Guadalupe, al ser un área grande con vegetación —la única al norte de la Ciudad de México y al sureste del Estado de México— favorece la captura de CO_2 y ayuda a purificar el aire.

■ **¿Cómo lo hace?**

■ Las plantas ocupan CO_2 y agua para producir los azúcares que les dan energía, en este proceso generan el O_2 (oxígeno) que nosotros necesitamos para respirar. Por todo esto, la Sierra de Guadalupe es también una barrera natural que mitiga los efectos del cambio climático que la humanidad lleva generando en los últimos 200 años. La vegetación no actúa sola, pues junto con el suelo y el agua forma un equipo muy poderoso que sostiene la vida animal en tierra firme y en algunos ambientes acuáticos.

■ **La Sierra y el agua**

■ El suelo que tiene la capacidad de captar agua usualmente es rico en materia orgánica que proviene de los animales y plantas en descomposición. En lugares como la Sierra de Guadalupe, el agua captada por la



Mapa 1. Ubicación de la Sierra de Guadalupe.

tierra sigue su camino hacia el subsuelo, donde es filtrada; esta agua subterránea es una de las fuentes principales del vital líquido que consumimos día a día. De esta forma, el agua que consumimos puede reponerse y evitar así que los mantos acuíferos se sequen.

Por otro lado, la vegetación de la Sierra de Guadalupe le proporciona estructura al suelo; las raíces de las plantas anclan, sostienen y retienen porciones de este suelo, lo cual impide desastres naturales, como inundaciones y deslaves de sus cerros.

Esta Sierra es un espacio de refugio para animales y plantas que originalmente habitaban la Cuenca de México, pero que han desaparecido debido al crecimiento de la población y la expansión de las zonas urbanas. Entre las diferentes especies de plantas y animales que habitan la Sierra de Guadalupe se pueden encontrar algunas endémicas; es decir, que sólo habitan en nuestro país o en la Cuenca de México, o sólo en la Sierra de Guadalupe, y también especies que presentan alguna amenaza que las hace propensas a la extinción.

Con todo lo ya mencionado, es claro que la Sierra de Guadalupe no sólo les proporciona bienestar a los animales y plantas que la habitan, sino también a toda la población humana de la Ciudad y del Estado de México. Actualmente, la extracción de materiales no tutelada por las instituciones encargadas de la Sierra está prohibida; sin embargo, antiguamente de ella se extrajeron materiales de construcción y combustible como madera, algunas especies de animales y plantas para consumo y medicina tradicional.

Hoy día la Sierra de Guadalupe proporciona importantes servicios de recreación en sus paisajes naturales que permiten contemplar la naturaleza y reposar de la ajetreada vida urbana. Se ha demostrado que las áreas verdes urbanas aminoran padecimientos cardíacos y respiratorios de sus habitantes cercanos, además de que reducen la ansiedad, la depresión y el consumo de sustancias que pueden generar dependencia química. Por otra parte, los índices más bajos de contaminación del aire en la CDMX se presentan en las zonas más cercanas a la Sierra de Guadalupe. Esto demuestra que es un área que nos proporciona directamente bienestar y salud.

¿Cómo es la Sierra de Guadalupe?

Vegetación

La vegetación que se encuentra en la Sierra de Guadalupe es principalmente de matorral xerófilo, ecosistema conformado por arbustos que se encuentran en zonas áridas, es decir, donde no hay agua la mayor parte del año, y es muy común encontrar vegetación con espinas y suculentas (plantas gorditas que almacenan agua), cactus y otras plantas como arbustos, árboles y pastos, los cuales sobreviven y están adaptados a vivir en ellas (**Figura 1**). Cuando visitas la Sierra también puedes encontrar árboles grandes con muchas hojas, como pinos, eucaliptos, encinos o casuarinas. El problema es que no pertenecen a esta zona y afectan el crecimiento y expansión de la vegetación original. Han sido plantados en la Sierra por personas con buenas intenciones que desconocían que estos árboles podían causar problemas. Es por ello que la reforestación siempre debe realizarse con la asesoría de expertos que conozcan bien la zona.

Fauna, los animales que habitan la Sierra

¿Sabías que en la Sierra de Guadalupe hay una gran diversidad de animales que van desde pequeños escarabajos hasta bonitas zorras grises que ahí habitan? Así es: en la Sierra de Guadalupe hay un alto grado



Figura 1. Paisaje de la Sierra de Guadalupe durante la temporada seca, donde se observa vegetación característica del matorral xerófilo y elementos de selva baja caducifolia. La imagen muestra el relieve accidentado y la diversidad de especies adaptadas a condiciones áridas. Fotografía: Biociencia Talleres y Divulgación Científica, A. C.

de biodiversidad. Se conocen 135 especies de vertebrados: 80 especies de aves, 20 de reptiles, 8 de anfibios y 27 de mamíferos. Cabe señalar que 18 de estas especies se encuentran bajo alguna categoría de protección de acuerdo con la norma (NOM-059-SEMAR-NAT-2010) que explica que se debe poner énfasis en su cuidado; 11 están sujetas a protección especial, hay seis amenazadas y una en peligro de extinción.

La Sierra de Guadalupe es un lugar muy importante para todos los animales que la habitan. En ella nacen, crecen, se alimentan, se refugian y se reproducen, por lo que cualquier daño que la afecte repercute directamente en las especies que la habitan. En las [tablas 1, 2 y 3](#) te presentamos algunas de las especies de anfibios, reptiles y mamíferos que habitan en ella.¹

Como puedes ver, la Sierra es muy bella e importante para todos; sin embargo, hay ciertos problemas que pueden poner en riesgo este importante ecosistema. Veamos algunos de ellos.

¹ Aquí, algunos enlaces a videos que hemos tomado para que conozcas a los animales de la Sierra: <https://www.tiktok.com/@biocienciadivulgacion/video/6991594337398295814?is_from_webapp=1&sender_device=pc&web_id=7528604903267304966>, <https://www.tiktok.com/@biocienciadivulgacion/video/6988693925808590086?is_from_webapp=1&sender_device=pc&web_id=7528604903267304966>, <https://www.tiktok.com/@biocienciadivulgacion/video/6987601352016923909?is_from_webapp=1&sender_device=pc&web_id=7528604903267304966>.

Tabla 1. Especies de anfibios.

Nombre común	Nombre científico
Rana verde	<i>Hyla eximia</i>
Rana gris	<i>Hyla arenicolor</i>
Rana silbadora	<i>Tomodactylus grandis</i>
Sapo excavador	<i>Spea hammondi</i>

Tabla 2. Especies de reptiles.

Nombre común	Nombre científico
Lagarto alicante o escorpión	<i>Barisia imbricata</i>
Lagartija de collar	<i>Sceloporus torquatus</i>
Culebra rayada	<i>Salvadora bairdi</i>
Cascabel de cola negra	<i>Crotalus molossus</i>

Tabla 3. Especies de mamíferos.

Nombre común	Nombre científico
Zorra gris (Figura 2)	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>
Tlacuache	<i>Didelphis virginiana</i>
Cacomixtle (Figura 3)	<i>Bassariscus astutus</i>
Conejo serrano	<i>Sylvilagus floridanus</i>
Ardilla de pecho rojo	<i>Sciurus aureogaster</i>
Ardillón	<i>Spermophilus variegatus</i>



Figura 2. Capturas nocturnas, mediante cámara trampa, de imágenes de un zorro gris (*Urocyon cinereoargenteus*) en la Sierra de Guadalupe. En la primera imagen se observa un acercamiento del individuo entre la vegetación del sotobosque; en la segunda, el zorro recorre una zona alta con vista hacia la ciudad. Estas imágenes permiten documentar la presencia de fauna silvestre en áreas naturales periurbanas. Fotografías: Biociencia Talleres y Divulgación Científica, A. C.



Figura 3. Captura nocturna, mediante cámara trampa, de la imagen de un cacomixtle (*Bassariscus astutus*). El cacomixtle es un mamífero nocturno característico de la Sierra de Guadalupe y tiene un papel crucial en el equilibrio ecológico de la región. Al fondo se observa la ciudad. Fotografía: Biociencia Talleres y Divulgación Científica, A. C.

Invasión del terreno

Aunque en la CDMX, la Sierra de Guadalupe está denominada como Área Natural Protegida, se ve muy afectada por diversas actividades, causadas principalmente por la comunidad aledaña: hay contaminación del suelo por un uso inadecuado en actividades agrícolas, pastoreo y explotación de recursos, así como por invasión de terrenos debida a asentamientos irregulares. Esta invasión es un problema que contribuye a la pérdida de los servicios ambientales, ya que hay un cambio de uso de suelo producto de la actividad humana.

Esta preocupante pérdida de los servicios ambientales generada por la actividad humana tiene su origen en acciones como:

- **Contaminación**, debida al ingreso de elementos o sustancias que normalmente no deberían estar ahí y que afectan el equilibrio del ecosistema. Tal es el caso de desechos como bolsas de plástico, envolturas o latas, llantas, y hasta sustancias que no podemos ver a simple vista, como las utilizadas en la industria, la contaminación del aire y los microplásticos.
- **Deforestación**, la cual implica la reducción de la vegetación y la eliminación de plantas de la zona, lo cual causa un daño en el suelo y provoca

erosión o pérdida del suelo y desertificación. Ésta puede ocurrir por varias causas:

- a) Quema y tala de árboles para actividades agrícolas o ganaderas.
 - b) Industrial, ocasionada por las industrias madereras y las fábricas de derivados de ésta.
 - c) Minería, la cual afecta mayoritariamente a la degradación de los suelos y las poblaciones, que se ven afectadas por la contaminación de los recursos.
- **Incendios provocados y accidentales.** Los incendios pueden ser provocados, como sucede cuando se intenta efectuar un cambio de uso de suelo; o pueden ser accidentales, cuando vamos a estos lugares y de manera accidental dejamos brasas, colillas de cigarro o incluso fogatas no apagadas. Tales incendios se pueden salir de control y producir daños en gran parte del área, afectando a las especies que viven ahí.
 - **Introducción de especies invasoras.** Es causada cuando se transfieren especies a una nueva región, fuera de su área de distribución natural. Esto afecta a la biodiversidad del lugar ya que las especies introducidas no tienen competencia



■ Rana verde (*Hyla eximia*). Fotografía: Juan Rafael Rodríguez Razgado, <https://mexico.inaturalist.org/photos/2329111>.



Ardillón (*Spermophilus variegatus*). Fotografía: Jerry Oldenettel, <https://mexico.inaturalist.org/photos/151645>.

y pueden incluso causar la extinción de especies endémicas del lugar. Éste es el caso de los animales ferales, que son animales que eran domésticos y que, al perderse o ser abandonados por sus dueños, retoman características de sus ancestros salvajes. Los perros ferales suelen agruparse y retomar características de los lobos; sin embargo, cuando las condiciones son extremas, pueden regresar para buscar alimento cerca o entre la población humana, donde constituyen un riesgo para la salud, debido a su agresividad y a que pueden transmitir enfermedades. Los gatos ferales rara vez salen de su área de aislamiento y no se dejan tocar por los humanos, pero al ser cazadores, amenazan a las poblaciones de animales silvestres, principalmente de aves y algunos reptiles.

¿Qué podemos hacer para cuidarla?

No olvides que la Sierra de Guadalupe es un Área Natural Protegida, de modo que en el terreno que abarca se prohíbe la construcción de viviendas, la ca-

cería y la extracción de cualquier material derivado de plantas y animales; únicamente pueden extraerse algunas muestras que hayan sido autorizadas por las instituciones gubernamentales correspondientes con fines de investigación científica.

Existen diversas acciones que ayudan a la conservación de la Sierra de Guadalupe, muchas de las cuales son realizadas por organizaciones, colectivos y voluntarios, pero lo más importante es que tú también puedes participar en ciertas actividades. A continuación, te mostramos algunas de ellas.

Acciones de protección y vigilancia:

- Combate de incendios.
- Construcción de muros, casetas de vigilancia, torres de observación y arcos de acceso controlado.
- Retiro y control de asentamientos irregulares por parte de la ciudadanía.

Manejo de recursos naturales:

- Operación de una Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA).

- Reforestación con especies locales que no sean invasoras.
- Clausura y saneamiento de tiraderos a cielo abierto.

Servicios a visitantes y educación ambiental:

- Construcción de centros de educación ambiental.
- Impartición de talleres, conferencias, exposiciones y visitas guiadas con la finalidad de que la población conozca la importancia tanto de la Sierra como de todo lo que en ella habita.

¿Y yo cómo puedo ayudar?

- Todas las acciones que hagas para evitar generar basura, ahorrar agua, usar menos el auto, ayudar a cuidar las áreas verdes de la ciudad y evitar que haya mascotas abandonadas contribuye a mejorar el ambiente para todos y a que la Sierra pueda seguir funcionando, de modo que podamos seguir disfrutando de sus muchos beneficios.
- Tú también puedes empezar por contarle a tu familia y a tus amigos sobre la importancia de la maravillosa Sierra de Guadalupe, para que entre todos aprendamos a cuidarla. ¡La Sierra de Guadalupe cuenta contigo!

Agradecemos al profesor Ygnacio Jiménez Tinajero y Guadalupe Beberly Hernández Salinas y a su colectivo Los Amigos del Árbol por su apoyo. A la Secretaría del Medio Ambiente de la CDMX, a la Dirección de Áreas Naturales Protegidas y Áreas de Valor Ambiental. A Juan Aguirre y su equipo y a la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México por las atenciones.

Perla María del Carmen Acevedo Ramírez

Biociencia Talleres y Divulgación Científica, A. C., Ciudad de México.

perla.acra.biocienciatyd@gmail.com

Aarón Rodríguez Caballero

Instituto Nacional de Pediatría, Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México y Biociencia Talleres y Divulgación Científica, A. C.

arodriguezc@pediatria.gob.mx

Elia Torres Gutiérrez

Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México y Biociencia Talleres y Divulgación Científica, A. C.

eliazoria@comunidad.unam.mx

Referencias específicas

Gaceta Oficial de la Ciudad de México (2016), núm. 196, décima época. Disponible en: <https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/0239ee9e006a15977b93fa2e2546a5dd.pdf>, consultado el 21 de julio de 2025.

Peña, A. (2018), *Análisis del cambio espacio-temporal de la cobertura vegetal dentro de la Sierra de Guadalupe, México, mediante teledetección*, México, Instituto Politécnico Nacional.

Rodríguez Troncoso, S. (2001), "Pulmón ecológico de la tierra de en medio: deterioro ambiental de la Sierra

de Guadalupe" (reportaje), Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México.

Villavicencio, A. (2007), *Evaluación de funciones y servicios ambientales. Parque Estatal Sierra de Guadalupe - Proyecto de conservación ecológica de la Zona Metropolitana del Valle de México*, tesis doctoral, Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Universidad de Granada.

¿Cómo reducir los gases de efecto invernadero de los rumiantes?

Emisiones entéricas de metano

Gases de metano (CH_4) liberados por los rumiantes durante el proceso de fermentación microbiana del alimento en el rumen. Representan una de las principales fuentes de gases de efecto invernadero del sector pecuario.

En México se pueden reducir las **emisiones entéricas de metano** con la participación de la industria de alimentos para ganado, mediante la inclusión de compuestos anti-metanogénicos científicamente validados para alimentos de rumiantes. El impacto de esta acción podría llegar a representar el 19% de las emisiones de automotores. Esta propuesta se puede lograr por medio de estímulos fiscales para empresas de alimentos que incluyan esos compuestos, o mediante normas oficiales.

Introducción

El planeta debe mantener una cierta temperatura para preservar la vida. El equilibrio se está rompiendo por el calentamiento global debido al cambio climático que es consecuencia de la acumulación de gases como el metano, el bióxido de carbono (CO_2) y el óxido nitroso, pues estos gases actúan como una barrera que impide que la radiación escape de la atmósfera y propicie lo que conocemos como *efecto invernadero*, proceso que ha hecho cambiar el clima.

Hoy es claro que el cambio climático demanda atención urgente e implementación de medidas inmediatas, antes de que las consecuencias negativas sean irreversibles. De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2023), los impactos proyectados podrían causar más estragos que la pandemia del covid-19.

La ganadería —particularmente los rumiantes domésticos: bovinos, ovinos y caprinos— contribuye a la acumulación de gases de efecto invernadero en una proporción de entre el 6% y el 16% (Zhao y Zhao, 2022), producto de su proceso digestivo y de las excretas. Durante la digestión, los microorganismos presentes en el **rumen**, también conocido como panza, degradan alimentos, y en este proceso se producen metano y bióxido de carbono, dos relevantes gases de efecto invernadero. Se debe tener presente que los rumiantes aportan carne y leche de gran valor nutricional para los humanos. La buena noticia es que se pueden reducir sustancialmente los gases emitidos por los rumiantes.

Rumen

Primer compartimento del estómago de los rumiantes, donde ocurre la fermentación microbiana del alimento.



Antimetanogénicos
Compuestos que inhiben la producción de metano en el rumen durante la fermentación entérica.

Los científicos han estudiado la forma de reducir la intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero, así como las emisiones globales, haciendo cambios en la formulación de las dietas de los rumiantes, con la inclusión de algunos aditivos al alimento. Se han estudiado compuestos **antimetanogénicos** (aditivos), algunos de los cuales ya están disponibles para su uso, mientras que otros aún se encuentran en etapas de desarrollo. En México podemos reducir el metano producido por el ganado mediante la implementación de mecanismos antimetanogénicos a corto plazo.

El objetivo de este artículo es analizar el potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en la ganadería mexicana mediante la incorporación de aditivos antimetanogénicos en alimentos balanceados, evaluando su disponibilidad, eficacia, viabilidad de implementación dentro de la industria nacional, para señalar la necesidad de políticas públicas que incentiven su adopción como una estrategia de aplicación científica viable para una transición hacia una ganadería sostenible.

■ **Compuestos antimetanogénicos**

■ Se han identificado algunos metabolitos secundarios vegetales (taninos, aceites esenciales, saponinas) que tienen efecto sobre los microorganismos del rumen, compuestos halogenados con algas rojas (Ma y cols., 2020), e incluso se ha diseñado una molécula que es inhibidora de la síntesis del metano que está en el mercado. En el **Cuadro 1** se presenta un resumen de los aditivos para mitigar el metano, con el porcentaje de reducción de metano esperado con su inclusión y su disponibilidad en México.

Destaca el uso del alga roja *Asparagosis taxiformis* para reducir en mayor proporción el metano ruminal, pero como aditivo no esta disponible. Tenemos aceites insaturados (aceites de oliva, girasol, linaza, pescado) que al ser metabolizados por las bacterias en el rumen capturan el hidrógeno reduciendo su disponibilidad para formación de metano, con lo que se logra reducir hasta en un 21 % el metano (Arndt y cols., 2022). México cuenta con una producción significativa de aceites, lo que convierte su incorpo-

Cuadro 1. Potencial esperado de reducción de metano entérico con aditivos.

	%	Disponible en México
Alga roja	64	No
Aceites	52	Sí
3-Nitrooxypropanol (3-NOP)	41	Sí
Aceite esencial de orégano	30	No
Taninos	28	Sí
Mezcla de extractos vegetales para ganado	17	Sí
Monensina sódica	10	Sí
Carbón vegetal	6	No
Aceite esencial de canela	6	No
Extractos de ajo y cítricos	2	No
Saponinas	2	Sí

Fuente: modificado a partir de Carrazco (2021).

ración en alimentos balanceados para rumiantes en una opción viable a corto plazo. Para su implementación se requeriría alrededor del 2.28 % del total de la producción nacional de aceites, lo cual lo convertiría en una alternativa viable desde el punto de vista de disponibilidad.

Existen en México 43 compuestos con diferentes capacidades antimetanogénicas y 1 310 productos (alimentos concentrados, suplementos, bloques, núcleos, etc.) que podrían utilizarse como vehículo para incorporar aditivos antimetanogénicos. Por otra parte, existen 26 aditivos naturales fitobióticos, compuestos derivados de plantas utilizados en la alimentación animal por sus efectos positivos en la salud, la productividad y la reducción del metano entérico de los rumiantes, aunque su eficacia aún debe validarse científicamente. Hay sólo un inhibidor de metano sintético de importación.

■ **¿Cuántos rumiantes domésticos tenemos en México y cuánto metano entérico producen?**

■ En México los rumiantes se manejan en unidades especializadas o en ganadería familiar, también llama-

Cuadro 2. Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero anuales (Gg equivalentes de CO₂) en México.

	Ganadería especializada	Ganadería familiar	Total
Bovino para carne	37 606	9 331	46 937
Bovino para leche	6 170	194	6 364
Ovinos	754	453	1 207
Caprinos	139	788	927
Total de Gg de CO ₂			55 435

Gg: Gigagramo (mil millones de gramos).
Fuente: Galicia (2021).

da de traspasio. Las unidades especializadas cuentan con asesoría nutricional que les diseña premezclas y aditivos, a diferencia de los sistemas familiares, que no tienen asesoría y muchos simplemente compran los alimentos balanceados que elaboran los fabricantes. Las emisiones varían en función de la especie y tipo de producción (**Cuadro 2**).

Según el Censo Agropecuario 2022 del INEGI, México cuenta con 33.3 millones de rumiantes. Al segmentar por número de cabezas, se estiman 22 millones de cabezas en unidades de tipo familiar y aproximadamente 4 millones en grandes hatos especializados. Considerando este contexto, se propone incorporar compuestos antimetánogénicos en alimentos balanceados para atender ambos sistemas productivos. Ahora bien, para examinar la viabilidad de esta propuesta es necesario conocer la industria de alimentos balanceados mexicana.

La industria de alimentos balanceados para animales en México

México es el quinto país productor de alimentos balanceados a nivel mundial (**Cuadro 3**). La mayoría de las empresas de este sector están agrupadas en el Consejo Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados y de la Nutrición Animal (Conafab). Las cantidades de alimento producidas anualmente nos permiten estimar que con esta propuesta se puede abarcar alrededor del 68 % de los concentrados para ganado bovino y 73 % para pequeños rumiantes.

Cuadro 3. Producción de alimentos balanceados para rumiantes (millones de toneladas).

	Mundial	Ganado lechero	Ganado de carne	Pequeños rumiantes*
China	239.97	3.10	4.61	1.1
EUA	215.86	24.10	62.96	3.0
Brasil	77.61	6.50	5.30	0.5
India	42.01	10.93	0	0.4
México	37.58	5.94	4.18	0.4
Total	1 188.47	130.02	117.01	19.4

Fuente: elaborado con información de Conafab (2023).

* La cifra de pequeños rumiantes corresponde a una estimación derivada del 20 % de los alimentos clasificados como "otras especies", ante la ausencia de datos específicos.

La incorporación de aditivos podría aumentar el costo de los alimentos para los ganaderos; sin embargo, para evitar este impacto, se pueden otorgar estímulos fiscales a los fabricantes, lo que haría viable la implementación de esta propuesta. Para esos cambios en los alimentos balanceados, se requiere información sobre los tipos de aditivos que se pueden incorporar, así como una estimación de la demanda, la disponibilidad y su eficiencia. Las cantidades anuales que se requieren en México para incorporar los compuestos antimetánogénicos se presentan en el **Cuadro 4**. Con esta información el gobierno puede implementar instrumentos, medidas regulatorias y económicas para que la mitigación de gases de efecto invernadero de la ganadería se alcance en el corto plazo, con un impacto rápido y sostenible.

La demanda de aditivos representa una oportunidad para el desarrollo y comercialización de los compuestos antimetánogénicos y un reto para que algunas universidades desarrollen productos con empresas nacionales.

Los estímulos fiscales para reducir metano entérico

Una política ambiental sería la respuesta jurídica para la solución a problemas ambientales que de hecho están contemplados en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental, con instrumentos económicos y mecanismos normativos

Cuadro 4. Toneladas anuales estimadas de compuestos antimetanológicos para la industria de alimentos balanceados en México.

	Ganado lechero	Ganado de carne	Pequeños rumiantes	Total
Aceites	89 100	62 700	6 000	157 800
Inhibidor 3 NOP	59.4	89.6	28.6	177.5
Fitobióticos	29 700	20 900	2 000	52 600

Fuente: elaborado con base en productos registrados en Senasica (2025) y con estimaciones basadas en la población de ganado (Galicia, 2021).

y administrativos de carácter fiscal para incentivar acciones que favorezcan el ambiente, sin fines recaudatorios y en forma de subsidios, no de ingresos gravables. Esto permitiría poner en marcha los primeros pasos hacia la reducción de gases de efecto invernadero producidos por rumiantes, mediante el uso y desarrollo de compuestos antimetanológicos.

El estímulo que se otorgue por la incorporación de compuestos antimetanológicos tendrá que ser

calificado con base en la evidencia científica y revisarse anualmente. Se debe diseñar un estímulo fiscal para empresas o personas físicas del sector productor de alimentos balanceados con procedimientos verificables. Se requiere de un grupo consultor científico que diseñe un modelo de calificación que considere el volumen de productos antimetanológicos incorporados, la eficiencia del producto para reducir gases de efecto invernadero, para otorgar mayores estímulos a quienes incorporen mayores volúmenes con mayor eficacia. El modelo estimaría el monto del beneficio para aplicarse en el impuesto ISR (impuesto sobre la renta) (Cámara de Diputados, 2024), lo que permitiría hacer una deducción del ISR de las empresas que participen en este programa para calcular el monto invertido.

Se pueden implementar estímulos fiscales para la importación de productos y para las empresas que inviertan en desarrollos tecnológicos de productos antimetanológicos derivados del alga roja, plantas nativas mexicanas, diseño de moléculas, etc., con el propósito de promover una cultura que permita estimular la conservación del ambiente. En México



hay 283 empresas dedicadas a fabricar productos alimenticios para rumiantes que podrían ver esto como un reto y una oportunidad para producir compuestos antimetanogénicos o para desarrollar nuevos aditivos con la participación de posgrados de instituciones de educación superior; pero para que esto ocurra es indispensable que tengamos una política de estímulos fiscales dirigida a este sector.

El papel de la investigación en el desarrollo de nuevos aditivos

La pandemia del covid-19 mostró la necesidad de invertir en ciencia y tecnología, y es indispensable definir una política de apoyo para reducir las emisiones de metano de la ganadería. Para desarrollar nuevos aditivos (por ejemplo, derivados del alga roja), es imperante que la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) promueva proyectos de investigación con la participación de posgrados nacionales e institutos de investigación, apoyados con becas. Se requiere un mayor estudio de las algas rojas; en México sólo

hay una empresa dedicada al aprovechamiento sustentable de los recursos marinos –que cosecha y procesa algas marinas para alimentación humana y para otros usos industriales– que podría desarrollar el cultivo del alga roja para la alimentación de rumiantes.

La SECIHTI debería fomentar la colaboración entre ficólogos y expertos en nutrición animal. El Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores tiene la información para convocar a esta tarea que debería ser considerada de seguridad nacional. Se sugiere organizar reuniones entre la Sociedad Mexicana de Ficología, la Red de Ficólogos Mexicanos y la Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal, junto con las academias relacionadas. En México existen 80 posgrados en ciencias agropecuarias y 16 de ficología, así como otros posgrados que podrían involucrarse en grupos multidisciplinarios y transdisciplinarios para desarrollar aditivos antimetanogénicos basados en algas y microalgas, incluidas las algas del sargazo (*Sargassum natans* y *Sargassum fluitans*), que representan un problema para el turismo del Caribe mexicano.



Cuadro 5. Escenarios de estimación de reducción de gases de efecto invernadero producidos por rumiantes en México (Gg equivalentes de CO₂) con compuestos antimetanológicos en alimentos balanceados.

	Ganado bovino	Pequeños rumiantes	Total
Emisión nacional	53 302	2 134	55 436
Emisión de GEI* de cabezas con alimento balanceado	36 245	1 558	37 803
Escenarios con reducción de CO ₂			
10 %	32 621	1 402	34 033
40 %	21 747	935	22 722
90 %	3 625	156	3 870

* GEI: gases de efecto invernadero.

■ **Impacto esperado de incorporar compuestos antimetanológicos**

■ En el Cuadro 5 se presentan tres escenarios de reducción de los gases de efecto invernadero producidos por rumiantes (10-90 %), basados en las diferencias en cuanto a eficacia de los compuestos antimetanológicos. La magnitud de esta reducción equivaldría aproximadamente al 19 % de las emisiones reportadas por el Gobierno de México en sectores como el de vehículos no carreteros y autotransporte.

■ **Tareas pendientes**

■ Se pueden implementar en México programas similares a los de California (EUA) y Canadá con metas de cero emisiones en la agricultura para 2050 (Dairy Farmers of Canada, 2023). Estos programas contemplan el manejo de excretas y mayor eficiencia ganadera, para lo cual ya existen propuestas de científicos (World Bank Group, 2019). Se debe alentar a las empresas y a los diferentes niveles de gobierno para establecer voluntariamente objetivos de cero emisiones netas (IPPC, 2023).

La implementación de aditivos antimetanológicos puede tener efectos económicos diferenciados. En sistemas ganaderos especializados, su adopción es más viable por el acceso de éstos a tecnología y

asesoría técnica, especialmente si existen estímulos fiscales. En contraste, para los pequeños productores el costo podría representar una barrera, a menos que se integren a través de alimentos comerciales sin incrementar significativamente el precio. Con el diseño adecuado de políticas, esta estrategia puede ser económicamente accesible y ambientalmente efectiva para todos los estratos productivos.

■ **Conclusiones**

■ Es posible reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a corto, mediano y largo plazo, con compuestos antimetanológicos en alimentos para rumiantes, con el apoyo de estímulos fiscales y respaldo científico. Esto abre una oportunidad para las empresas de desarrollar productos que incorporen los lineamientos de Buenas Prácticas Pecuarias y las políticas de la SECIHTI, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Social (SADER), y de que las instituciones de educación superior contribuyan a la investigación, desarrollo e implementación de estrategias contra el cambio climático.

Se agradece el apoyo de la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación del Gobierno de la Ciudad de México, de conformidad con los convenios SECTEI/010/2024, "Soberanía alimentaria: Sistema agroalimentario sostenible para la Ciudad de México" y CASA-UAM: Centro Articulador para la Sostenibilidad Alimentaria.

Germán David Mendoza Martínez
Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.
gmendoza@correo.xoc.uam.mx

Nallely Sánchez López
Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco.
nsanchezl@correo.xoc.uam.mx

María Eugenia de la Torre Hernández
Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco.
mdelatorre@correo.xoc.uam.mx

Referencias específicas

- Arndt, C., A. N. Hristov, W. J. Price, S. C. McClelland, A. M. Pelaez *et al.* (2022), "Full adoption of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5 C target by 2030 but not 2050", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(20):e2111294119. Disponible en: <<https://doi.org/10.1073/pnas.2111294119>>, consultado el 25 de julio de 2025.
- Cámara de Diputados (2024), *Ley del Impuesto sobre la Renta*, última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de abril de 2024, Secretaría General, Secretaría de Servicios Parlamentarios. Disponible en: <<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LISR.pdf>>, consultado el 25 de julio de 2025.
- Carrasco, A. (2021), "How can cattle feed additives reduce greenhouse gas emissions?", *CLEAR Center* [en línea]. Disponible en: <<https://clear.ucdavis.edu/explainers/how-can-cattle-feed-additives-reduce-greenhouse-gas-emissions>>, consultado el 25 de julio de 2025.
- Dairy Farmers of Canada (2023), "Net zero by 2050. Best Management Practices Guide to Mitigate Emissions on Dairy Farms", *Dairy Farmers of Canada* [en línea]. Disponible en: <https://dairyfarmersofcanada.ca/sites/default/files/2023-07/DFC_BMP%20Guide_2023-07-05.pdf>, consultado el 25 de julio de 2025.
- Galicia, N. A., D. J. A. B. Ordóñez, B. A. Munguía, M. N. J. Venegas, T. L. E. Ortega y D. M. D. J. Ordóñez (2021), "Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del ganado en México, 1990-2018", *Realidad, Datos y Espacio*, 12(3):114-123.
- ipcc (2023), "AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023", *Intergovernmental Panel on Climate Change* [en línea]. Disponible en: <<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>>, consultado el 25 de julio de 2025.
- Ma, T., W. Wu, Y. Tu, N. Zhang y Q. Diao (2020), "Resveratrol affects *in vitro* rumen fermentation, methane production and prokaryotic community composition in a time-and diet-specific manner", *Microbial Biotechnology*, 13(4):1118-1131.
- Senasica (2025), "Listado de productos alimenticios vigentes 2025", Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Disponible en: <<https://www.gob.mx/senasica/documentos/productos-registrados-autorizados-regulacion-de-productos-veterinarios>>, consultado el 25 de julio de 2025.
- World Bank Group (2019), *The power of dung; lessons learned from on-farm biodigester programs in Africa*, Washington, International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. Disponible en: <<https://documents1.worldbank.org/curated/en/468451557843529960/pdf/The-Power-of-Dung-Lessons-Learned-from-On-Farm-Biodigester-Programs-in-Africa.pdf>>, consultado el 25 de julio de 2025.
- Zhao, Y., y G. Zhao (2022), "Decreasing ruminal methane production through enhancing the sulfate reduction pathway", *Animal Nutrition*, 9:320-326.



María Pino Castañón y Pablo Padilla Longoria

Alfred Wallace: científico y militante social

En este trabajo presentamos, a manera de resumen pero de forma integral, la vida, aportaciones y múltiples facetas de Alfred Wallace, personaje clave en la historia de la ciencia que ha sido relegado y reducido a sólo un colaborador en la teoría de la evolución. Sin embargo, Wallace es un personaje muy interesante, con múltiples facetas y un sinfín de aportes relevantes a la biología. Este artículo pretende mostrar éstos ante el lector y hacer una breve reflexión de las posibles causas de esta omisión.

Introducción

La creación de la teoría de la evolución se atribuye, con certeza, a Charles Darwin. Sin embargo, si su colega Alfred Wallace no le hubiese dado a conocer sus ideas sobre la evolución, quizás Darwin no se hubiera decidido a publicar su famoso tratado *El origen de las especies*.

La investigación científica unió a Darwin y Wallace, quienes mantuvieron siempre una relación de amistad. Si bien se le dio precedencia al primero, el ensayo de Wallace titulado “Sobre la tendencia de las variedades a apartarse indefinidamente del tipo original”, en el que se presentan las conclusiones centrales de esa teoría, revela a los dos personajes como autores.

En la carrera científica de Darwin tuvo un papel decisivo la posición social en que nació y se crió, así como el haber sido educado en Cambridge y pertenecer a una familia con una larga tradición científica; de hecho, su abuelo, Erasmus Darwin, fue un visionario de la teoría de la evolución, tal como lo reconoce su nieto Charles en *El origen de las especies*.

Alfred Wallace, por el contrario, fue el octavo hijo de nueve, de una familia de clase media, y tuvo que abandonar los estudios formales para trabajar con su hermano como topógrafo cuando tenía 13 años. No obstante, esta diferencia de origen social no obstaculizó la relación cordial que siempre mantuvo con Darwin. Más aún, a instancias de Darwin y Thomas Huxley, Wallace recibió un apoyo económico hasta su muerte, en 1913, que en gran medida le permitió tener una situación económica estable.



Pero Wallace —a la par de su trabajo sobre la evolución en particular y de sus investigaciones científicas en general— fue un hombre polifacético que tuvo actividades como explorador, activista social, feminista y espiritualista, entre otras. Además, fue de los primeros científicos que llamó la atención sobre las consecuencias negativas de la actividad humana en el medio ambiente. Resulta un tanto inexplicable que alguien así no sea más conocido y reconocido en la historia de la ciencia.

Aunque ya existían biografías modernas importantes, como *In Darwin's Shadow: The Life and Science of Alfred Russel Wallace* de Michael Shermer (publicada en 2002), el centenario de la muerte de Wallace en 2013 impulsó un renovado interés. Con ese motivo aparecieron nuevas contribuciones, entre las que destacan la edición de sus cartas bajo el título *Alfred Russel Wallace: Letters from the Malay Archipelago* (2013) y el libro *Wallace, Darwin, and the Origin of Species* de James T. Costa (2014). El propósito de este artículo es sumarse a este esfuerzo, aportando datos biográficos y evidenciando por qué, a pesar de su importancia, no ha recibido el debido crédito ni de la comunidad científica ni de la sociedad en general.

Contexto familiar y educación

 Alfred Russel Wallace nació en Gales, en el Reino Unido, en el año 1823, en plena Revolución Industrial. Provenía de una familia numerosa, de clase económica media baja. Fue el octavo de nueve hijos de Thomas Vere Wallace y Mary Anne Greenell. Su familia tuvo una gran influencia en su amor por la naturaleza, especialmente su hermano mayor, John, un apasionado de la ornitología que solía llevar a Alfred a explorar el campo y a observar aves. Su otro hermano, William, lo ayudó a conseguir un trabajo como topógrafo en la Compañía de las Indias Orientales.

A pesar de las dificultades económicas de su familia, Wallace pudo acceder de niño a una buena educación, debido a que su padre era miembro de la Leicester Literary and Philosophical Society. Allí tuvo acceso a una biblioteca de ciencia y literatura

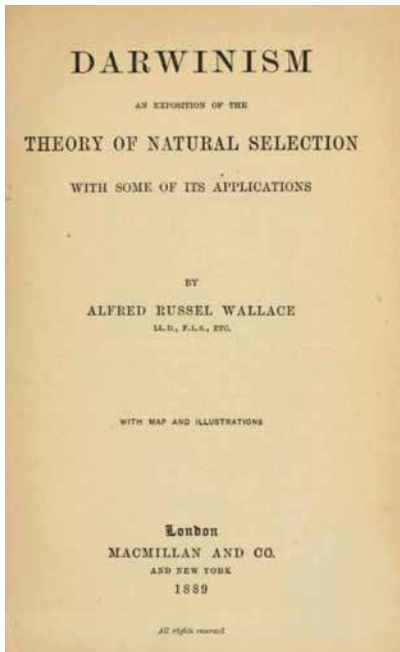
que amplió sus conocimientos sobre los temas que más le interesaban. Sin embargo, no pudo concluir su educación formal debido a que tuvo que abandonar la escuela a los 14 años para comenzar a trabajar. Wallace demostró tener una capacidad de aprendizaje sorprendente, pues, entre otras habilidades, también era ilustrador. Tuvo varios empleos, entre ellos el de topógrafo, ayudando a su hermano en este oficio.

Es notable que, a pesar de no haber tenido una educación universitaria, Wallace haya logrado acceder a los círculos científicos de la época; para ello, llegado el momento, fue decisiva la ayuda de Darwin. Este apoyo tuvo altas y bajas, entre otras causas probablemente por su activismo social y su defensa de una realidad sobrenatural, aunadas a su afición por el espiritualismo. Wallace viajó intensamente, entre otros lugares, por el Amazonas y también por Malasia y, al igual que Darwin, sus teorías y aportaciones científicas estuvieron basadas en un agudo sentido de la observación. Fue un escritor prolífico y su obra incluye, literalmente, cientos de trabajos sobre muy diversos temas, tanto científicos como de carácter social. Entre ellos destacan: *Darwinism: An Exposition of the Theory of Natural Selection with Some of its Applications* (1889); *The Malay Archipelago* (1869); *The Geographical Distribution of Animals* (1876); *Island Life* (1880); *Man's Place in the Universe* (1903); *Is Mars Habitable?* (1907) y *The World of Life* (1910).

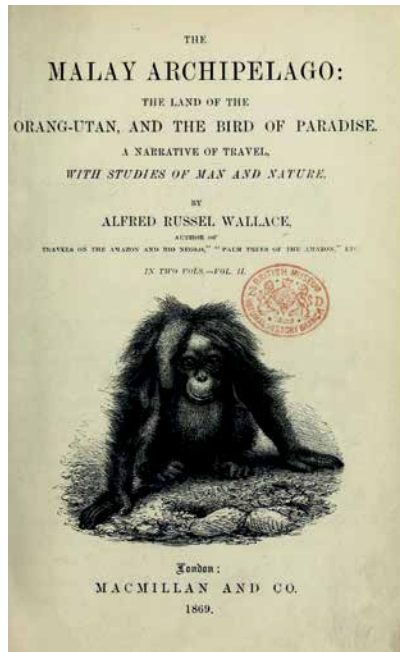
La posición social de Darwin y la influencia familiar en el amor por la naturaleza de Wallace son dos elementos fundamentales para comprender el contexto en el que se desarrollaron sus respectivas carreras científicas. Ambos dejaron un legado duradero en la teoría de la evolución, y su colaboración y amistad son testimonio de la importancia de la cooperación entre académicos e investigadores.

Activismo social

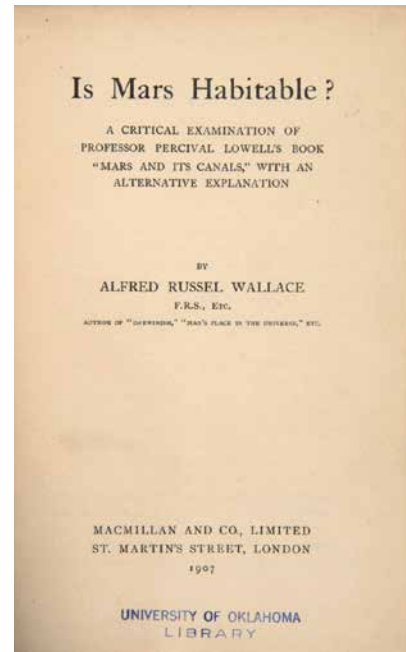
 Wallace fue un activista social apasionado que militó en la defensa de los derechos humanos y dedicó gran parte de su vida a luchar por la justicia social y la igualdad. Una de las principales preocupaciones



Tomado de: en.wikipedia.org.



Tomado de: commons.wikimedia.org.



Tomado de: wallace-online.org.

de Wallace fue la distribución desigual de la riqueza y el poder en la sociedad. Reconoció las injusticias del sistema económico y abogó por medidas para mitigar la pobreza y mejorar las condiciones de vida de las clases trabajadoras. Wallace abogó por la reforma agraria y la redistribución equitativa de la tierra y los recursos naturales, con el objetivo de eliminar la explotación y la desigualdad.

Su activismo sociopolítico lo llevó a involucrarse también en la defensa de los derechos de los pueblos indígenas y la protección del medio ambiente. Reconoció el valor intrínseco de la diversidad cultural y biológica, y trabajó incansablemente para preservar la riqueza cultural de las sociedades indígenas y proteger los ecosistemas.

Alfred Wallace también demostró un compromiso significativo con el activismo feminista en una época en la que los derechos de las mujeres estaban fuertemente limitados. Reconociendo la importancia fundamental de la igualdad de género, Wallace luchó por la participación plena de las mujeres en la sociedad, abogando por su acceso a la educación, derechos reproductivos y oportunidades de empleo. Reconoció la necesidad de derribar las barreras impuestas por el patriarcado y militó por un mundo

en el que las mujeres fueran valoradas y tratadas en igualdad de condiciones. Su defensa del feminismo marcó un hito en su tiempo y sigue siendo un recordatorio poderoso de la necesidad de una lucha continua por la igualdad de género.

El activismo social de Alfred Wallace fue resultado de su profundo compromiso con la justicia y su creencia en la necesidad de construir una sociedad más equitativa y sostenible. Su legado perdura hasta el día de hoy, recordándonos la importancia de la acción colectiva y la lucha por un mundo más justo.

La teoría de la evolución de Darwin y Wallace

La idea de que los seres vivos se transforman es mucho más antigua que la teoría de la evolución de Darwin y Wallace. Cada cultura ha dado su propia explicación sobre el origen de los seres vivos. En la antigua Grecia, Anaximandro sostuvo que los animales podían transformarse en otros y llegó a la conclusión de que el ser humano estaba emparentado con los pollos. Por su parte, Empédocles propuso que los organismos están hechos de partes preexistentes. San Agustín pensaba que no todos los seres vivos del presente son tal cual los había creado Dios,

sino que se habían transformado. La razón por la que argumentaba esto era que en el Arca de Noé ciertamente no hubiera cabido una pareja de cada animal conocido, dada su variedad. Seguramente, los animales que estuvieron en el arca habían tenido que transformarse para dar origen a la diversidad actual. Posteriormente, autores como Buffon y Lamarck retomaron y contribuyeron a la discusión sobre el tema.

Sin embargo, el mecanismo por el cual se da el cambio en los organismos vivos tuvo que esperar a Darwin y Wallace para tener una explicación. El gran mérito de estos autores consistió en proponer un mecanismo concreto responsable de la evolución, que es precisamente la selección natural. Este mecanismo actúa como una fuerza seleccionadora de características ventajosas en un determinado ambiente, cuyo efecto acumulativo da como resultado la prevalencia de dichas características en una población y en la evolución de la misma.

Experiencia en campo y expediciones

 Wallace tuvo una vida apasionante, llena de viajes y descubrimientos en distintas partes del mundo. Sus expediciones lo llevaron a lugares remotos y exóticos donde se sumergió en la riqueza de la biodiversidad y observó de cerca las maravillas de la naturaleza. Durante su viaje por el archipiélago malayo, Alfred Wallace enfrentó numerosos desafíos y peligros, incluyendo un naufragio que puso a prueba su fortaleza y determinación. A pesar de las adversidades, Wallace continuó su exploración, recolectando especímenes y realizando observaciones detalladas que sentarían las bases de su teoría de la evolución por selección natural.

Asia fue un continente clave en la experiencia de campo de Wallace. Sus viajes a través de Indonesia y el archipiélago malayo le permitieron estudiar la diversidad de las especies y las variaciones geográficas en la fauna y flora de la región. Durante sus expediciones recopiló una vasta cantidad de especímenes, que incluía aves, insectos y mamíferos, muchos de los cuales eran desconocidos para la ciencia occidental. Estas colecciones se convirtieron en evi-

dencia tangible de la evolución y la adaptación de las especies a su entorno.

Quizás el descubrimiento más fascinante de Wallace, fruto directo de su experiencia en campo, fue la identificación de una frontera biogeográfica invisible, hoy conocida como la Línea de Wallace. Mientras viajaba entre las islas del archipiélago malayo, notó algo que lo dejó perplejo: las islas de Bali y Lombok estaban separadas por apenas 35 kilómetros de mar, pero sus faunas eran completamente distintas. En Bali encontraba especies asiáticas, como pájaros carpinteros y tigres. Pero al cruzar a Lombok, éstas desaparecían y en su lugar encontraba cacaúas y marsupiales, típicos de Australia. Wallace fue el primero en comprender que esta línea no era arbitraria: marcaba el borde de las placas continentales. Durante las eras de hielo, las islas del lado asiático se conectaron por tierra, pero un profundo canal oceánico siempre mantuvo separadas a las del lado australiano. Esta brillante deducción se convirtió en una prueba contundente de la evolución. Demostraba que las especies no están distribuidas al azar, sino que su ubicación es producto de su historia ancestral y de las barreras geográficas. El profundo canal oceánico forzó a la fauna de origen asiático y australiano a evolucionar por caminos independientes durante millones de años, resultando en dos mundos biológicos distintos a pesar de la cercanía. Con esto, Wallace no sólo aportó una evidencia crucial de la evolución, sino que sentó las bases de una disciplina científica nueva: la biogeografía.

La experiencia de campo de Wallace fue un viaje de descubrimiento científico y una prueba de coraje y resiliencia. Sus expediciones y observaciones en distintos continentes dejaron un legado duradero en la comprensión de la biodiversidad y la evolución de las especies. Su labor pionera sentó las bases de la biogeografía y la ecología modernas.

Wallace y el espiritualismo

 Esta faceta de la vida de Wallace es quizás la más polémica. Su interés en el espiritualismo data del año 1865. En 1874 conturbó al ambiente académico con la publicación de su libro *A Defense of Modern*

Spiritualism. Existen dos puntos de vista relativos a las creencias espiritualistas de Wallace. Para unos, la adopción e interés en dichas creencias representa un punto de ruptura con su perspectiva biológica original. Para otros –apoyados en el hecho de que Wallace mismo nunca expresó nada que confirmara tal ruptura–, la adopción del espiritualismo es el resultado natural de su búsqueda de una explicación de las características del ser humano que no podían entenderse con base en la selección natural y la supervivencia del más apto (como el desarrollo de facultades artísticas e intelectuales, o el lenguaje, entre otras). Este nuevo interés de la vida intelectual de Wallace fue altamente controversial, poniendo incluso en duda su credibilidad entre la comunidad científica. El mismo Darwin expresó su desacuerdo en dos cartas distintas. En la primera, fechada el 27 de marzo de 1869, le escribió la famosa metáfora sobre su teoría conjunta: “Espero que no hayas asesinado completamente a nuestro hijo”. Posteriormente, en una segunda carta, en abril de ese mismo año, expresó su diferencia de opinión de manera más formal: “Yo difiero enfáticamente de ti, no veo la necesidad de invocar una causa próxima adicional [el elemento sobrenatural] en relación al hombre”.

Conclusión

No cabe duda de que Wallace fue un hombre extraordinario en todos los aspectos; sus aportes a la ciencia, sus ideales de justicia social y sus diversos intereses lo hacen un personaje sumamente interesante. Sin embargo, la historia no le ha conferido el lugar que se merece y resulta difícil no preguntarse por las causas de esa injusticia palmaria.

Ante la inevitable comparación con la trayectoria de Darwin, emergen tres puntos importantes que vale la pena mencionar como posibles explicaciones. El primero está relacionado con la clase social a la que cada uno pertenecía. Mientras Darwin creció en una familia privilegiada y con una tradición científica que le permitieron acceder a una educación formal y a desenvolverse en el círculo académico, conociendo a grandes exponentes de la época que

le abrieron la puerta a oportunidades clave en su carrera, Wallace sólo contó con su talento y la buena disposición de algunas personas que lo ayudaron en circunstancias clave de su vida.

Otra razón relevante está relacionada con su clara posición ante las injusticias del sistema británico. Eran pocos los hombres que defendían el feminismo y la igualdad social cuando Wallace lo hizo; su militancia y declaraciones al respecto causaron una gran incomodidad entre la burguesía británica, a la que pertenecían gran parte de los científicos de la época.

Finalmente, su interés por el espiritualismo dañó fuertemente su credibilidad como científico y provocó críticas considerables dentro del círculo académico.

A pesar de esas circunstancias, recibió doctorados honorarios de las universidades de Dublín y Oxford, una distinción como Fellow de la Royal Society y la medalla Copley. Un medallón con su nombre fue colocado en la Abadía de Westminster en 1915. No obstante, estos honores resultan mínimos ante la grandeza de sus aportes. La historia de la ciencia no ha sido justa con Wallace, lo que vuelve urgente su reconocimiento, tanto académico como público, y la construcción de un sistema social y de investigación científica más justos.

Agradecemos al doctor Vladimir Cachón Guillén, profesor en la Facultad de Ciencias de las materias de Filosofía e Historia de la Biología y Evolución, por su atenta lectura de los borradores de este artículo, sus valiosos comentarios y por compartir fuentes importantes para su realización.

María Pino Castañón

Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

mariapino@ciencias.unam.mx

Pablo Padilla Longoria

Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas de la Universidad Nacional Autónoma de México.

pablo@mym.iimas.unam.mx

Janet Siles-Guevara, Myrna Déciga-Campos y María Eva González-Trujano

El romero, una planta para el alivio del dolor

La *Salvia rosmarinus* L. (Lamiaceae), comúnmente conocida como romero, es una planta de uso ancestral, ya que las hojas secas o frescas se utilizan en la cocina como condimento debido a su exquisito aroma y sabor. Además, de forma relevante, el romero se ha utilizado en la medicina tradicional para tratar varios padecimientos, principalmente asociados con el dolor, tanto agudo como crónico, tales como el dolor abdominal, reumático y muscular o inflamatorio, e incluso el dolor disfuncional, como la neuropatía diabética.

Introducción

A lo largo de la historia las plantas han sido utilizadas ampliamente en diversas civilizaciones tanto para fines culinarios, para la fabricación de perfumes e inciensos, así como para fines medicinales en el alivio de diversas enfermedades.

La familia Lamiaceae, a la que pertenece el romero, es de gran relevancia en el contexto medicinal. La mayoría de sus especies son benéficas para la salud por su contenido de diversos compuestos bioactivos. Tal es el caso del género *Salvia*, palabra que proviene del latín *salvare* y que significa “curar” o “salvar”. Este género es uno de los más notables por su aportación de especies de importancia medicinal, tal como el romero, que destaca por ser una de las plantas más utilizadas y reportada en estudios que identifican su actividad biológica benéfica.

Conozcamos al romero

La *Salvia rosmarinus* L., anteriormente referida con el nombre científico de *Rosmarinus officinalis* L., es popularmente conocida como romero. Su nombre deriva de las palabras del latín *ros* y *marinus*, y significa “rocío del mar” o “rocío marino”. Es conocida en Europa y Estados Unidos como *rosemary* y en Brasil como *alecrim*.

En botánica se describe brevemente como un arbusto con ramas repletas de hojas que mide aproximadamente 0.8 a 2 m de altura. Tiene un aroma fuerte y



característico. Sus hojas son estrechas y alargadas, color verde oscuro, con una cara inferior cubierta de terciopelo blanco. Sus flores son color violeta con puntas de color azul violáceo.

■ ¿Dónde se origina el romero?

■ Es originaria de las zonas secas y rocosas del Mediterráneo, especialmente a lo largo de la costa, aunque actualmente se cultiva en todo el mundo. A pesar de lo extendido de su cultivo, así como de su uso medicinal en México, no es una planta endémica o nativa de nuestro país, ya que fue una de las especies medicinales introducida durante la conquista de los españoles. Se le cultiva en los jardines, patios y huertas domésticos como excelente planta aromática, condimento e incluso como planta ornamental.

Metabolitos primarios
Compuestos imprescindibles para mantener las funciones vitales de los seres vivos, tales como su crecimiento, desarrollo y reproducción.

Metabolitos secundarios
Compuestos cuya presencia no es necesaria para las funciones vitales, pero se producen como un mecanismo de defensa, lo que les confiere propiedades biológicas con beneficios en los sectores de la industria farmacéutica, cosmética, agrícola y nutracéutica (alimentos).

■ El romero nos ha acompañado durante mucho tiempo

■ Si bien el romero fue traído a América por los españoles, su existencia y uso se reportan desde la época de los primeros griegos y romanos. Los eruditos griegos solían llevar una corona de romero en la cabeza para ayudar a la memoria durante los exámenes. En Egipto se utilizaba para embalsamar a los faraones. En el siglo IX Carlomagno insistió en que se cultivara en sus jardines reales y era utilizado para condimentar sus alimentos. El agua de colonia que usaba Napoleón Bonaparte se elaboraba con romero. El romero era tan famoso que incluso algunos poemas hablan sobre él y, de hecho, ya se menciona en cinco de las obras de Shakespeare, así como en *Don Quijote de la Mancha*.

■ Un médico en la naturaleza

■ Las aplicaciones del romero se dan principalmente en las industrias alimenticia, de fragancias, cosmética y farmacéutica. Como planta medicinal es muy utilizada para tratar dolor inflamatorio, estomacal y de las articulaciones o nervios. En México se prepara macerándolo en etanol, a fin de usar luego las hojas para frotarlas en las articulaciones y atenuar así

el dolor reumático o inflamatorio. Mientras que si se padece malestar estomacal o nervioso, se toma la infusión caliente y recién preparada o como agua de tiempo. Además, se ha reportado que el romero también puede mejorar la memoria y tiene propiedades como antiepiléptico, para tratar afecciones cardíacas y trastornos respiratorios como expectorante, para tratar el cólico renal, dismenorrea, como antiespasmódico y como diurético, así como para tratar enfermedades metabólicas como la diabetes.

Las plantas están conformadas por diferentes compuestos llamados **metabolitos primarios y secundarios**. Los conocidos como metabolitos secundarios son los que tienen un amplio rango de actividades biológicas benéficas para la salud, por lo que actualmente se han incrementado las investigaciones enfocadas al estudio de estos compuestos.

Entre los compuestos del romero identificados y evaluados en cuanto a su capacidad de producir diferentes efectos en pro de la salud –referidos en parte como los responsables de los beneficios de esta planta medicinal–, se pueden mencionar algunos con naturaleza química de tipo terpénico, fenólico y flavonoide, como se observa en la **Tabla 1**.



Tabla 1. Metabolitos secundarios de diferente naturaleza química que han destacado en las propiedades medicinales del romero.

Metabolito secundario	Naturaleza química	Efectos biológicos
Ácido cafeico	Polifenol del tipo ácido hidroxicinámico	Anticancerígeno, hipoglucemiante, en osteoartritis y Alzheimer, antibacteriano, antiviral, antioxidante, analgésico.
Ácido carnósico	Diterpeno	Antioxidante, antimicrobiano, antitumoral, analgésico.
Ácido clorogénico	Polifenol del tipo ácido hidroxicinámico	Antiinflamatorio, antioxidante, hipoglucemiante, hepatoprotector, analgésico.
Ácido oleanólico	Triterpeno pentacíclico	Antiviral, antibacteriano, antifúngico, anticancerígeno, antiinflamatorio, hepatoprotector, analgésico.
Ácido rosmarínico	Polifenol del tipo ácido hidroxicinámico	Antibacteriano, antiinflamatorio, antioxidante, ansiolítico, analgésico.
Ácido ursólico	Triterpeno pentacíclico	Antiinflamatorio, antioxidante, antimicrobiano, anticancerígeno, analgésico.
Alfa-pineno	Monoterpeno	Antibacteriano, antimicótico, antiinflamatorio, antioxidante, neuroprotector, anticancerígeno.
Carnosol	Diterpeno fenólico	Antioxidante, antiinflamatorio, anticancerígeno, antifúngico, antidiabético, analgésico.
Rosmanol	Diterpénico fenólico	Antiinflamatorio, analgésico, antidepresivo, ansiolítico.
Derivados de eugenol	Fenólico aromático	Antioxidante, analgésico, antimutagénico, antiinflamatorio.

Las dos caras del dolor

El dolor se define como “una experiencia sensorial desagradable asociada, o similar a la asociada, con un daño tisular real o potencial” (Raja y cols., 2020), ya que es un estado de sufrimiento que puede ser físico, pero también psíquico y manifestarse como angustia, tristeza, depresión, ansiedad o soledad.

Aunque a nadie le gusta sentir dolor, éste es un estado de alerta que resulta muy importante para la sobrevivencia. En algunos casos, el dolor nos puede advertir sobre un peligro en nuestro entorno; por ejemplo, al acercar nuestra mano al fuego, éste nos quema y provoca dolor, lo cual nos lleva a retirar la mano y así protegernos y evitar quemaduras graves. El dolor también nos puede advertir cuando algo no está bien en nuestro organismo, como en el caso de infecciones estomacales, que la mayoría de las veces comienzan con dolor de estómago, lo cual permite detectar el problema y tratarlo *en tiempo y forma*. Otro caso donde el dolor contribuye a la sobrevivencia es durante la inflamación de un tejido, ya que si nos lastimamos y el tejido de esa zona

presenta daño, tendremos cuidado en proteger dicha zona y permitir que las sustancias que se liberan y participan en la reparación del tejido puedan hacer su labor sin interrupciones. Este tipo de dolor, que nos ayuda a adaptarnos y sobrevivir en nuestro entorno, dura menos de tres meses y es conocido como dolor agudo. Pero existe otro tipo de dolor que no aporta nada a la sobrevivencia –incluso es considerado como patológico–, y que puede surgir por un daño a los nervios. Su duración es mayor de tres meses, por lo que también es conocido como dolor crónico o nervioso.

Cifras que duelen: prevalencia del dolor crónico

A nivel mundial, la prevalencia general de dolor crónico es del 27.5 %; las mujeres y los adultos mayores son los más afectados. En México, de acuerdo con datos del INEGI, alrededor del 27 % de los mexicanos mayores de 7 años presentaban dolor crónico en 2021. El Instituto Nacional de Salud Pública, en una encuesta que realizó en adultos mayores

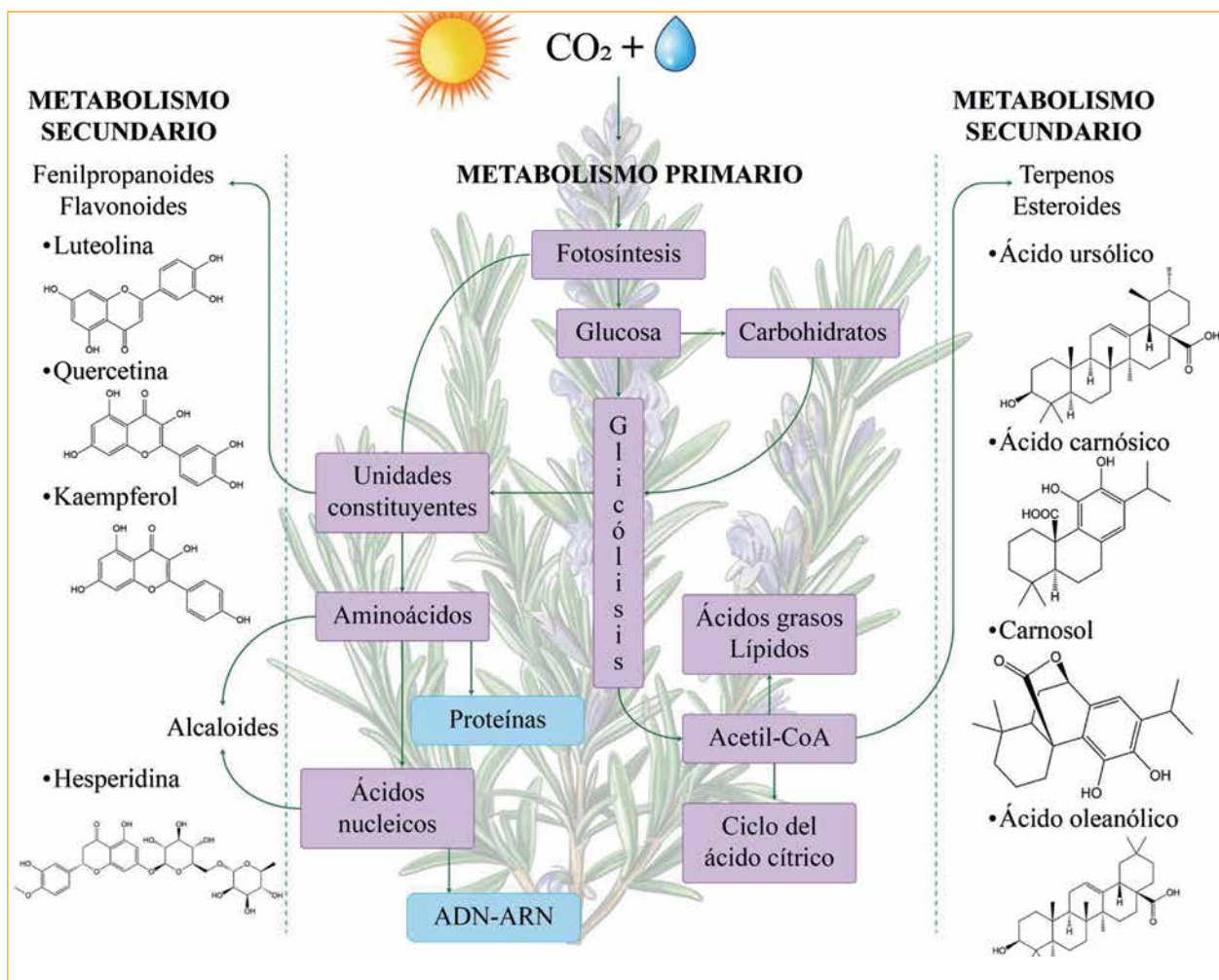


Figura 1. Metabolismo primario y metabolismo secundario del romero.

de 50 a 65 años, encontró que la prevalencia es de 41.5%, con mayor frecuencia en mujeres (48.3%) que en hombres (33.6%), además de que la prevalencia aumenta con la edad.

El dolor crónico genera un gasto anual de más de \$100 billones de dólares a nivel mundial, siendo la principal causa de discapacidad y ausentismo laboral, lo que genera grandes costos para el sector de la salud. En México, se estima que el gasto anual es de \$6388419716 de pesos (MXN). Por otra parte, la terapia con fármacos puede generar efectos adversos en los pacientes, sobre todo porque los tratamientos se utilizan de forma continua, además de que alrededor de 60% de los pacientes reportan que no responden bien a este tipo de terapias. Por ello, en los últimos años se ha incrementado entre

la población el interés en el uso de tratamientos complementarios y las intervenciones de la medicina tradicional.

■ El potencial analgésico del romero

■ Una terapia para el alivio del dolor ha sido y sigue siendo el uso de plantas medicinales. Diversas plantas han constituido un recurso para la obtención y desarrollo de nuevas terapias para el alivio del dolor a partir de sus metabolitos secundarios o productos naturales que generan con eficacia la inhibición de los mediadores del dolor; tal es el caso del precursor del ácido acetilsalicílico y la morfina. El uso de plantas medicinales, por otra parte, presenta ciertas ventajas sobre el uso de un compuesto puro único,

ya que ofrece la misma eficacia, pero con efectos adversos mínimos, como en el caso del romero, cuyos metabolitos secundarios, en conjunto, le confieren actividades analgésicas y antiinflamatorias.

La ciencia habla del romero y su actividad analgésica

 Hoy en día, los científicos se han dado a la tarea de probar la eficacia y la seguridad del uso de esta planta como analgésico, por su amplio espectro de actividad y sus propiedades para el alivio de diferentes tipos de dolor, tanto agudo como crónico, lo que se ha confirmado con estudios preclínicos en modelos experimentales en roedores y también en estudios clínicos con pacientes con alguna afección dolorosa, principalmente de tipo crónico. Tal es el caso de los estudios de su efecto inhibidor en el dolor abdominal utilizando la prueba de estiramiento abdominal en ratones, así como en estudios basados en un modelo de dolor inflamatorio utilizando la prueba de la for-

malina para identificar si sus efectos se producen por acción a nivel periférico o central, tanto en ratones como en ratas de laboratorio. Dichos efectos antiinflamatorios se han reforzado con el uso de pruebas como la inducción de edema con carragenina o adyuvante completo de Freud; así como en modelos de artritis gotosa y reumatoide. Finalmente, para explorar sus efectos en el dolor de tipo nervioso y crónico, se ha determinado su eficacia en el dolor de tipo neuropático solo o en comorbilidad con la diabetes, entre otros.

Los ingredientes de una receta natural para la salud

 Los estudios del efecto biológico del romero realizados en animales se han reforzado con estudios para el alivio del dolor en humanos. Los resultados del efecto analgésico de la planta de romero son interesantes y prometedores al evaluarse en diferentes tipos de dolor entre los pacientes. Tal es el caso de un ensayo clínico en pacientes con **fibromialgia** en

Fibromialgia

Trastorno de dolor crónico musculoesquelético generalizado, frecuentemente asociado con fatiga, disfunción cognitiva, trastornos del sueño y síntomas psiquiátricos como ansiedad y depresión.





el que se investigó el uso de una mezcla de aceites esenciales que incluían el de romero. Los resultados mostraron una reducción significativa del dolor nocturno y una mejora en la fuerza de agarre, lo que sugiere que el romero podría contribuir al alivio del dolor musculoesquelético. El efecto producido por los masajes con aceites esenciales que incluyen romero se evaluó en pacientes diabéticos con dolor crónico denominado neuropatía diabética. En este caso, el tratamiento de cuatro semanas con este aceite produjo que los participantes reportaran una disminución notable del dolor y una mejora en su calidad de vida, destacando el potencial de esta planta como

un complemento terapéutico para el manejo del dolor asociado con daño a los nervios, también conocido como dolor neuropático. Finalmente, una formulación compuesta por extracto de romero, ácidos iso-alfa y ácido oleanólico fue probada en pacientes con artritis y fibromialgia; los pacientes declararon una reducción significativa del dolor y la inflamación. En conjunto, estos estudios dan evidencia del uso medicinal del romero, ya sea en forma de aceite esencial o como extracto, el cual tiene un impacto positivo en el alivio del dolor en diferentes condiciones clínicas, esencialmente en el dolor crónico que muchas veces es difícil de tratar con analgésicos convencionales debido a los efectos adversos que generan.

 ¿Qué podemos concluir respecto al romero en el alivio del dolor?

Como se ha mencionado, el romero es una planta medicinal con un uso ancestral en la medicina tradicional, en tanto que los estudios científicos en animales y seres humanos destacan sus propiedades analgésicas y antiinflamatorias. Su eficacia en el alivio del dolor crónico de difícil tratamiento con fármacos convencionales ha sido validada en múltiples investigaciones, donde se ha demostrado su impacto positivo en padecimientos como la fibromialgia, la artritis gotosa y reumatoide, así como para el dolor neuropático asociado o no con la diabetes. Por lo anterior, se le reconoce como fuente de compuestos bioactivos, entre los que se mencionan al ácido rosmarínico y el carnosol, que reducen la inflamación y el dolor. Ello indica que la planta contiene más de un compuesto cuyo potencial terapéutico, en conjunto, refuerza y aumenta su relevante utilidad para atenuar el dolor. La versatilidad de sus preparaciones permite contar con diferentes formas de aplicación, desde sencillas infusiones hasta complejos aceites esenciales, lo que hace del romero una planta con opciones de accesibilidad. No obstante, y aunque los resultados de los estudios realizados son prometedores, se requieren más estudios, tanto preclínicos (en animales) como clínicos (en seres humanos), que establezcan la mejor forma de aprovechar

este recurso en su forma natural y como fuente de posibles nuevos fármacos para mejorar la calidad de vida de pacientes que sufren dolor agudo y crónico.

Janet Siles-Guevara

Escuela Superior de Medicina del Instituto Politécnico Nacional y Laboratorio de Neurofarmacología de Productos Naturales del Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente Muñiz.
jasigunet_5@hotmail.com

Myrna Déciga-Campos

Escuela Superior de Medicina del Instituto Politécnico Nacional.
myrnadeciga@gmail.com

María Eva González-Trujano

Facultad de Química de la UNAM y Laboratorio de Neurofarmacología de Productos Naturales de la Dirección en Investigaciones en Neurociencias, Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente Muñiz.
evag@inprf.gob.mx



Lecturas recomendadas

- De Oliveira, J. R., S. E. A. Camargo y L. D. de Oliveira (2019), “*Rosmarinus officinalis* L. (rosemary) as therapeutic and prophylactic agent”, *Journal of Biomedical Science*, 26:5. Disponible en: <<https://doi.org/10.1186/s12929-019-0499-8>>, consultado el 24 de julio de 2025.
- Do Nascimento, L. D., A. A. B. de Moraes, K. S. da Costa, J. M. Pereira Galúcio, P. S. Taube *et al.* (2020), “Bioactive natural compounds and antioxidant activity of essential oils from spice plants: new findings and potential applications”, *Biomolecules*, 10(7):988. Disponible en: <<https://doi.org/10.3390/biom10070988>>, consultado el 24 de julio de 2025.
- González-Trujano, M. E., E. I. Peña, A. L. Martínez, J. Moreno, P. Guevara-Fefer *et al.* (2007), “Evaluation of the antinociceptive effect of *Rosmarinus officinalis* L. using three different experimental models in rodents”, *Journal of Ethnopharmacology*, 111(3): 476-482. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.12.011>>, consultado el 24 de julio de 2025.
- Raja, S. N., D. B. Carr, M. Cohen, N. B. Finnerup, H. Flor *et al.* (2020), “The revised International Association for the Study of Pain definition of pain: concepts, challenges, and compromises”, *Pain*, 161(9):1976-1982. Disponible en: <<https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000001939>>, consultado el 24 de julio de 2025.
- Rodrigues, M. R., L. K. Kanazawa, T. L. das Neves, C. F. da Silva, H. Horst *et al.* (2012), “Antinociceptive and anti-inflammatory potential of extract and isolated compounds from the leaves of *Salvia officinalis* in mice”, *Journal of Ethnopharmacology*, 139(2): 519-526. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.11.042>>, consultado el 24 de julio de 2025.
- Romo de Vivar, A. (1985), *Productos naturales de la flora mexicana*, México, Limusa.

Las suculentas y la vista, una relación inesperada

En los últimos años, las suculentas han ganado popularidad debido a sus formas, colores y capacidad de vivir en ambientes áridos, al grado de que se han convertido en plantas coleccionables. ¿Sabías que en México algunas suculentas son utilizadas por la población para tratar padecimientos oculares? En este artículo conocerás sobre la suculenta más utilizada y la importancia de realizar estudios científicos para corroborar sus propiedades medicinales.

Introducción

Las plantas han sido utilizadas desde tiempos ancestrales para el cuidado de la salud, algunas como parte de la alimentación y otras como medicina alternativa. Se usan de diferentes formas y en diversas preparaciones que van desde un té para quitar la tos hasta la preparación de pomadas para curar heridas, golpes y hasta quemaduras. En México podemos encontrar gran variedad de plantas medicinales y su uso es común entre la población. Investigaciones en el país han documentado información transmitida de una generación a otra sobre las propiedades medicinales de muchas plantas, mediante entrevistas y conversaciones con habitantes de diversas comunidades. La finalidad de estas investigaciones es recoger información sobre usos y costumbres, para, por un lado, propiciar que se conserve nuestra identidad cultural y, por otro lado, obtener datos para la realización de estudios farmacológicos que confirmen las propiedades de las plantas medicinales tradicionales. Algunas de estas entrevistas realizadas en localidades de diferentes estados de la República mexicana, como Puebla, Oaxaca y Nuevo León, destacan que las personas aplican en los ojos la savia de varias plantas conocidas como suculentas para tratar enfermedades como la conjuntivitis, “carnosidad” o “nubes”, así como para disminuir síntomas de irritación, dolor, o simplemente para mantenerlos limpios. Este artículo tiene como objetivo divulgar la información sobre el uso tradicional de las suculentas en el tratamiento de padecimientos oculares, destacando la importancia de validar científicamente estas prácticas.



■ **Las suculentas y el cuidado de los ojos
en la medicina tradicional**

■ Los ojos son los órganos sensoriales encargados de captar la luz y transformarla en imágenes que nos permiten tener una percepción individual de nuestro entorno. Existen condiciones, como las enfermedades de la superficie ocular o los problemas visuales, que pueden afectar los componentes y las funciones de los ojos. Las enfermedades de la superficie ocular representan uno de los principales motivos de consulta con profesionales de salud visual, debido a síntomas como enrojecimiento, ardor, dolor, picazón, lagrimeo o visión borrosa. Estas afecciones se deben a factores como la exposición prolongada a pantallas electrónicas, una limpieza inadecuada, uso excesivo de cosméticos, entre otros. En México, más de la mitad de la población padece alguna enfermedad de la superficie ocular que, en muchas ocasiones, no se atiende de forma oportuna.

El tratamiento de estas afecciones puede consistir en el uso de gotas oftálmicas –“gotas para los ojos”– que contienen fármacos para controlar o eliminar los síntomas. A pesar de ello, entre la población mexicana también es común el uso de remedios herbolarios que se aplican directamente en la superficie de los ojos. Si nos tomamos unos segundos para recordar si conocemos alguno de estos remedios, seguramente pensamos en la manzanilla, una planta muy utilizada, que incluso se vende en presentación de gotas oftálmicas. Sin embargo, en México las personas también usan las “famosas” suculentas para tratar enfermedades de los ojos.

Las suculentas son plantas muy conocidas y que muchas personas tienen en su casa. Debido a sus características llamativas, formas y colores, son cultivadas como plantas ornamentales para coleccionarlas (**Figura 1**). México cuenta con cientos de especies de suculentas descritas que se encuentran distribuidas

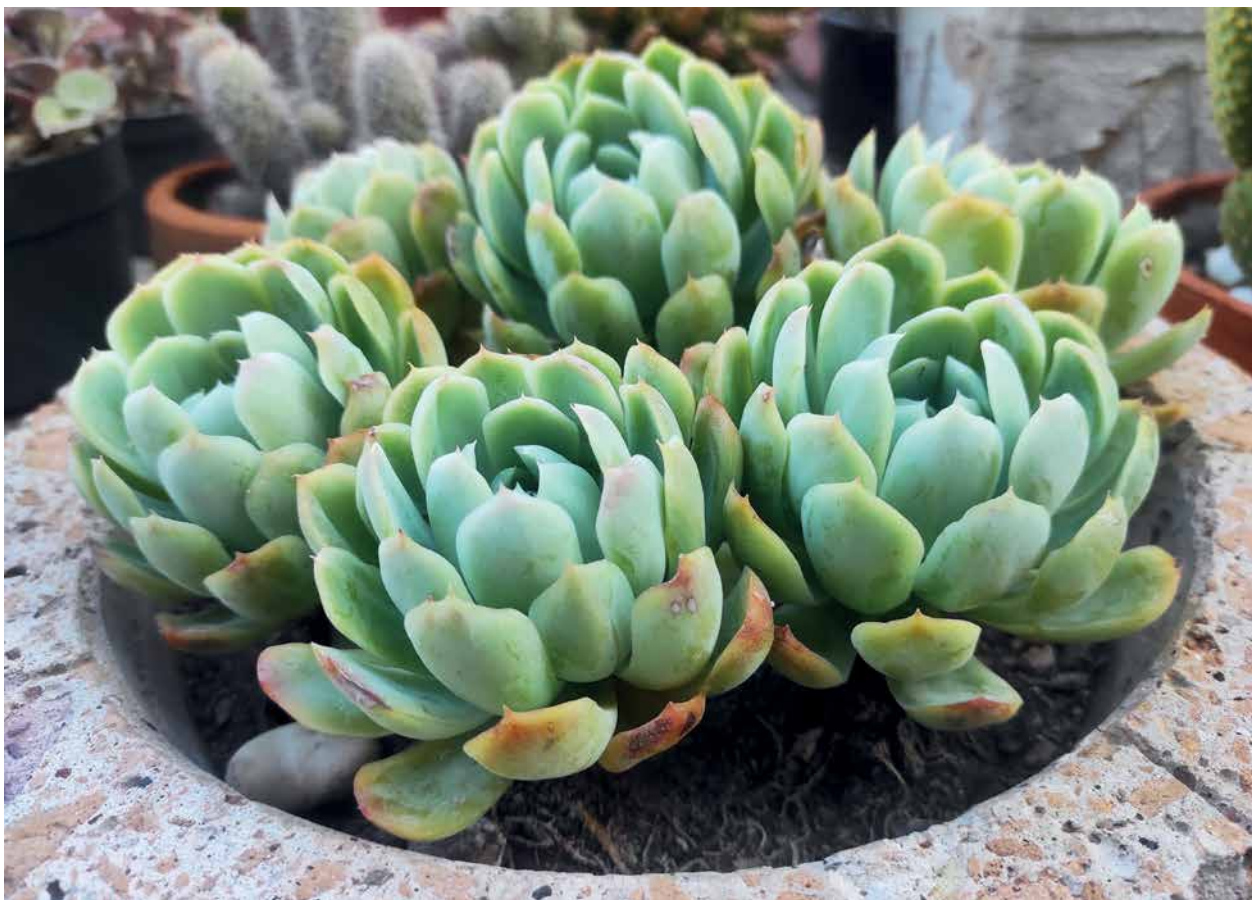


Figura 1. Ejemplo de las formas y características llamativas de las suculentas más comunes. Foto: Anuar Salazar-Gómez.

en todo el país y la mayoría de las que se utilizan en la medicina tradicional pertenecen a la familia de las crasuláceas (Crassulaceae). Estas plantas tienen la capacidad de almacenar agua dentro de sus tejidos para poder crecer en zonas áridas, característica por la cual se les llama suculentas. Debido a esta característica, al exprimir sus hojas se puede obtener su “jugo” o savia, que forma una gota uniforme de fácil aplicación. El género *Sedum* es el más representativo dentro de la familia de las crasuláceas y, de todas las suculentas que pertenecen a este género, aproximadamente el 27 % son endémicas de México, es decir, sólo es posible encontrarlas de forma natural en nuestro país. Por sus características físicas, algunas de estas especies tienen nombres comunes muy peculiares, como “dedito de dios”, “cola de borrego”, “siempre viva”, “chismes” o “dedo de niño” (Figura 2).

De todas las especies descritas del género *Sedum*, la suculenta comúnmente llamada “siempre viva” (nombre científico: *Sedum praealtum*) es la más utilizada para tratar irritación, dolor, infecciones y “carinosidad”. Sin embargo, este nombre común también es usado por las personas para nombrar a otras suculentas; por ejemplo, *Echeveria elegans* var. *simulans*, *Kalanchoe pinnata*, *Sedum dendroideum* y *Sedum oxypetalum*, lo que puede causar confusión y dificultar el reconocimiento exacto de las especies utilizadas. Por lo tanto, es importante documentar adecuadamente la información sobre qué especies realmente se utilizan y realizar estudios farmacológicos que comprueben la efectividad y seguridad de su uso para evitar que ocurran efectos no deseados, principalmente porque las personas mencionan que en algunos casos su aplicación en los ojos genera ardor al contacto.

¿Las suculentas pueden curar enfermedades de los ojos?

Hasta la fecha aún no existe investigación clínica en humanos que respalde la eficacia y seguridad de la aplicación de la savia o extractos de la especie *Sedum praealtum* para tratar los padecimientos oculares para los que se usa. Sin embargo, ensayos de laboratorio han demostrado su efecto antimicrobiano contra microorganismos asociados a infecciones de los ojos,

así como su actividad antiinflamatoria. Debido a que ésta es la suculenta más utilizada, es importante que se realicen investigaciones clínicas que permitan corroborar su funcionamiento y seguridad en las personas que la utilizan.

Otra suculenta con la que se han realizado ensayos de laboratorio es la especie *Sedum dendroideum*, en los que, mediante experimentos con células y ratones, se han demostrado posibles propiedades contra el pterigion, un crecimiento anormal de la conjuntiva conocido coloquialmente como “carinosidad”. Para esto, López-Montemayor y cols. (2021) “recrearon” el desarrollo del pterigion con células humanas, en donde aplicaron extractos de la planta y demostraron que detenía el crecimiento. Por otro lado, Torrescano-De Labra y cols. (2021) demostraron que los extractos de esta suculenta participan en la curación de la córnea de ratones con lesiones oculares similares al pterigion. Esta evidencia sugiere que *Sedum dendroideum* tiene un uso posible como agente terapéutico para el tratamiento del pterigion y otras afecciones oculares, pero aún se necesitan más estudios científicos para conocer su eficacia y seguridad en humanos, así como la dosis y el tiempo de tratamiento. Si estas investigaciones resultaran favorables, podrían identificarse las moléculas relacionadas con las propiedades de esta planta y considerarse como base para el desarrollo de medicamentos contra el pterigion, padecimiento para el cual no se cuenta con un tratamiento farmacológico.

Tanto *Sedum praealtum* como *Sedum dendroideum* son llamadas por la población como “siempre viva”, por lo que también es importante identificar y diferenciar los efectos reales que ambas pueden tener en el tratamiento de enfermedades oculares para informar a la población si en realidad funcionan y son seguras. Además, estos estudios podrían extenderse al resto de las especies que también son denominadas con este nombre común.

Comentarios finales

Este artículo expone la importancia de documentar el potencial de aquellas especies de plantas que parecen tener propiedades terapéuticas para el



Figura 2. Dedo de niño (nombre científico: *Sedum rubrotinctum*). Foto: Anuar Salazar-Gómez.

tratamiento de padecimientos oculares, con la finalidad de poder realizar estudios farmacológicos y demostrar científicamente sus propiedades medicinales. Durante la atención clínica con profesionales de la salud visual, es común escuchar que muchas personas utilizan remedios herbolarios para tratar padecimientos de los ojos; incluso se acercan a preguntar sobre la efectividad de estos tratamientos. Si bien estas personas siguen y seguirán utilizando plantas medicinales para tratar enfermedades, es importante consultar a algún especialista, ya que en muchas ocasiones los síntomas de las afecciones visuales podrían derivar de problemas más graves que no se resolverán con la simple aplicación de las plantas. Asimismo, es importante que se proporcione información sobre el riesgo que podría tener el uso de estos remedios herbolarios cuando la planta no es la correcta.

Así como se han comenzado a investigar las propiedades de la *Sedum dendroideum*, es importante comprobar la efectividad de muchas otras plantas para poder tener seguridad al usarlas. De resultar seguras y efectivas, muchas de ellas representarían una alternativa más para la mejora de la salud vi-

sual con tratamientos sustentados en investigación científica.

Actualmente, nuestro grupo de investigación se encuentra realizando estudios preclínicos con otras especies del género *Sedum* que son utilizadas por la población, pero para las que se carece de evidencia científica; con ello, pretendemos incrementar el número de especies de suculentas que cuentan con sustento científico que respalde su uso en la medicina tradicional enfocada al tratamiento de padecimientos oculares.

Anuar Salazar-Gómez

Laboratorio de Investigación Interdisciplinaria-Área de Optometría, Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad León, Universidad Nacional Autónoma de México.
asalazarg@enes.unam.mx

Luis Fernando Hernández-Zimbrón

Laboratorio de Investigación Interdisciplinaria-Área de Optometría y Clínica de Optometría, Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad León, Universidad Nacional Autónoma de México.
lhernandez@enes.unam.mx

Lecturas recomendadas

- Mendoza-Aldaba, I. I. y T. I. Fortoul (2021), "Síndrome de ojo seco. Una revisión de la literatura", *Revista de la Facultad de Medicina* (México), 64(5):46-54.
- Pulido-Silva, M. T. y C. Cuevas-Cardona (2021), "La etnobiología en México vista a la luz de las instituciones de investigación", *Etnobiología*, 19(1):6-28.
- Salazar-Gómez, A., A. A. Velo-Silvestre, A. J. Alonso-Castro y L. F. Hernández-Zimbrón (2023), "Medicinal Plants Used for Eye Conditions in Mexico-A Review", *Pharmaceuticals*, 16(10):1432.

Referencias específicas

- López-Montemayor, P., J. Zavala, M. D. Montalvo-Parrá, G. I. Guerrero-Ramírez, K. Mayolo-Deloisa *et al.* (2021), "Phytochemical profile and antioxidant and antiproliferative activity of *Sedum dendroideum* on pterygium fibroblasts", *Evidence-Based Complementary Alternative Medicine*, 1-7.
- Torrescano-De Labra, L., E. Jiménez-Ferrer, B. H. Camacho-Díaz, G. Vargas-Villa, M. González-Cortázar *et al.* (2021), "Corneal healing and recovery of ocular crystallinity with a dichloromethane extract of *Sedum dendroideum* D.C. in a novel murine model of ocular pterygium", *Molecules*, 26(15):4502.

Gonzalo Guillermo Lucho Constantino, Fabiola Zaragoza Martínez y Juan Valente Megchún García

El rábano: de lo comestible a lo nanotecnológico

El *Raphanus sativus* es una raíz comestible que forma parte de la dieta de la población humana debido a su gran aporte nutrimental, al que se suma la presencia en él de compuestos bioactivos —principalmente antioxidantes— que ayudan a prevenir enfermedades. Debido a estas propiedades, ha suscitado el interés de los científicos para desarrollar nanopartículas, destinadas a diferentes aplicaciones, mediante el método de síntesis verde que aquí se explica.

El rábano es una raíz comestible de la familia Brassicaceae que fue domesticada en el Mediterráneo oriental (Gamba y cols., 2021; González-Palomares, 2020). Se caracteriza por su rápido crecimiento y por requerir poco espacio para su desarrollo (**Figura 1**); completa su ciclo de crecimiento en un año, aunque algunas variedades pueden tardar hasta dos años en desarrollarse totalmente. Su raíz es axonomorfa; es decir, presenta una raíz principal que crece verticalmente hacia abajo, y a partir de ella salen raíces más pequeñas de forma lateral. Su característico sabor picante lo convierte en un ingrediente popular en la gastronomía de diversas culturas. Los colores de la raíz varían desde el blanco al negro pasando por colores rojo pálido a escarlata brillante.

La coloración rojiza está asociada a la presencia de unos pigmentos llamados antocianinas, los cuales tienen un alto potencial para formar isotiocianatos, que contribuyen al sabor distintivo dulce, picante y un poco amargoso (Gamba y cols., 2021). La parte comestible del rábano es principalmente la raíz. Sin embargo, actualmente está creciendo el consumo de hojas y brotes tiernos —de aproximadamente 10 días de crecimiento—. Los rábanos se clasifican en rabanitos, rábano Daikon y rábano negro; sus diferencias radican en el color, el sabor y la morfología. Estas raíces comúnmente se consumen en ensaladas, pero también pueden cocinarse junto con otros vegetales. En México, los rabanitos son los que se consumen con mayor frecuencia como parte de la dieta diaria (**Figura 2**) y en platillos emblemáticos.



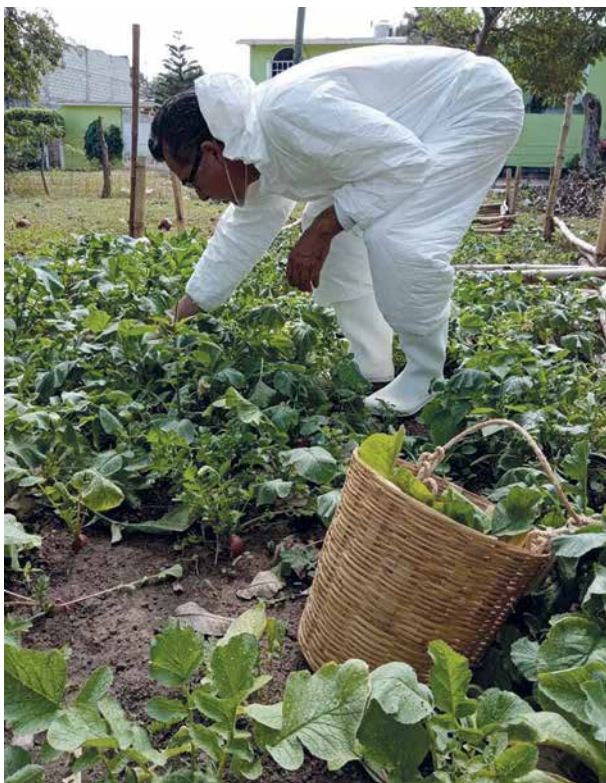


Figura 1. Colecta de rábano en un huerto familiar. Fuente: José Luis Luria Santos.

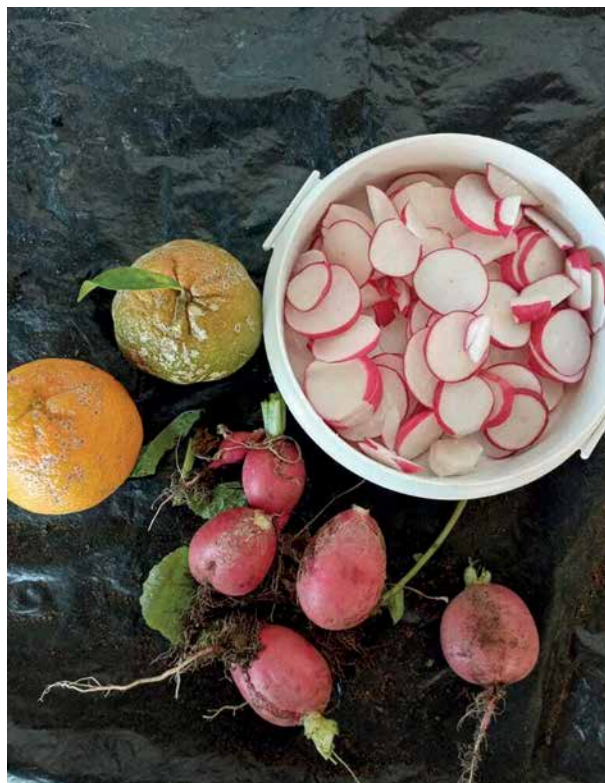


Figura 2. Rábano producido en un huerto orgánico. Fuente: José Luis Luria Santos.

Compuestos bioactivos

Son sustancias presentes en los alimentos que, si bien no son nutrientes esenciales como las vitaminas y los minerales, aportan beneficios a la salud. ▶

Radicales libres

Moléculas inestables y altamente reactivas que se producen durante el metabolismo normal de las células. Cuando se acumulan, pueden reaccionar con proteínas, lípidos y ácidos nucleicos, generando estrés oxidativo, lo cual contribuye al envejecimiento y desarrollo de diversas enfermedades. ▶

■ ¿Cuáles son los beneficios de consumir rábano?

■ Dentro de la familia Brassicaceae, cuyos miembros incluyen el brocoli, la arúgula, la coliflor, el nabo y la col, destaca el rábano, ya que ofrece un gran aporte de agua y contiene una baja cantidad de grasas y carbohidratos. Además, se distingue por su buena cantidad de fibra, un elemento esencial para el sistema digestivo. Por tanto, su consumo puede favorecer el aumento de la flora intestinal, contribuyendo así a una mejor digestión de los alimentos. Diferentes partes de la planta presentan un alto valor nutricional debido a su rico contenido de yodo, calcio, magnesio, cobre, manganeso, potasio, vitamina B6, vitamina C, folato y otros minerales.

Estos nutrientes, junto con los compuestos bioactivos, hacen que los rábanos sean una de esas hortalizas recomendables para consumir periódicamente, con el fin de mantenernos sanos y prevenir enfermedades o ciertas afecciones.

Entre sus propiedades se encuentra su efecto diurético y digestivo, su contribución al cuidado del

hígado, al fortalecimiento del sistema inmunológico y la protección del sistema cardiovascular. Además, presenta actividad antiinflamatoria, anticancerígena y antioxidante, debido a la presencia de **compuestos bioactivos**, como flavonoides, fenoles, terpenos y glucosinolatos; estos últimos son los que le dan el sabor distintivo al rábano (Khan y cols., 2022).

■ ¿Qué componentes antioxidantes hacen atractivo al rábano para su consumo?

■ El rábano contiene una alta concentración de compuestos antioxidantes presentes tanto en los brotes como en las hojas y la raíz (**Figura 3**). Se sabe que estos compuestos ofrecen múltiples beneficios para la salud, ya que ayudan a prevenir o retardar la oxidación causada por los **radicales libres**, protegiendo así las funciones fisiológicas normales del cuerpo humano (González-Palomares, 2020). Además, poseen un alto valor nutricional y tienen un potente efecto fitoquímico, especialmente gracias a las

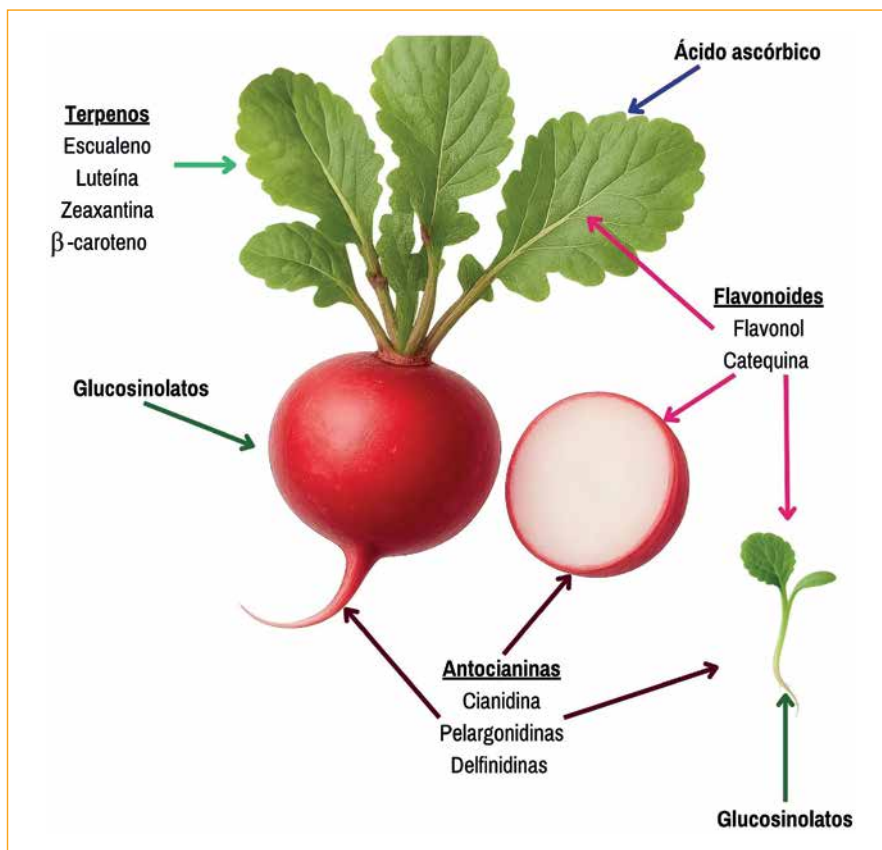


Figura 3. Compuestos antioxidantes presentes en el rábano. Fuente: Fabiola Zaragoza Martínez.

antocianinas, que son un tipo de flavonoides con poder antioxidante.

Las hojas de rábano presentan una alta concentración de ácido ascórbico, terpenos, fenoles y flavonoides, los cuales son nutrientes con un alto valor para la salud. Los antioxidantes ayudan a combatir los signos de la edad, el acné, a mantener el buen tono de la piel previniendo el daño causado por la reducción de estrés oxidativo y la inflamación.

El ácido ascórbico, conocido como vitamina C, es una de las moléculas antioxidantes más importantes en las plantas, ya que cumple la función de eliminar el H_2O_2 (peróxido de hidrógeno) a través del **ciclo del glutatión-ascorbato**. Este compuesto se mantiene activo cuando el rábano es cosechado y almacenado en refrigeración. Otro grupo importante de antioxidantes son los terpenos, un grupo de metabolitos muy extenso, que pueden presentar actividad antioxidante sobre los grupos hidróxidos, peróxidos y radicales superóxidos. En las hojas se pueden

encontrar escualeno, luteína, zeaxantina, así como β -caroteno.

Por otro lado, los flavonoides poseen un importante potencial antioxidante. Entre ellos se encuentran el flavonol y la catequina, los cuales están presentes en las hojas, los brotes y la piel del rábano. También pertenecen a este grupo las antocianinas, como la cianidina, pelargonidina y delfinidina, que se localizan en la raíz, los brotes y la piel del rábano. Finalmente, los glucosinolatos son un grupo de compuestos que están presentes en la mayoría de las plantas crucíferas, familia a la que pertenece el rábano. Estos compuestos orgánicos azufrados son responsables de su sabor característico, el cual puede variar de dulce a picante. Los rábanos de sabor picante se distinguen por su alto contenido de glucosinolatos. Estos compuestos son considerados importantes por su acción anticancerígena potencial; sin embargo, su actividad puede verse reducida por procesos térmicos, por lo que se recomienda su consumo en crudo.

Ciclo del glutatión-ascorbato

Es el principal mecanismo de defensa antioxidante ante el estrés oxidativo en células vegetales y animales. Esta vía implica la interacción entre el ascorbato y el glutatión, junto con varias enzimas clave.

■ **Avances en el uso de nanopartículas de extracto de rábano a partir de síntesis verde**

■ Los extractos de rábano contienen numerosos compuestos orgánicos, como fenoles y ácido ascórbico, que actúan como agentes reductores y estabilizantes, permitiendo la síntesis de nanopartículas metálicas a partir de soluciones iónicas mediante un método más económico y amigable con el medio ambiente, como el método de síntesis verde. Este método consiste, básicamente, en utilizar un agente reductor y estabilizador proveniente de un extracto vegetal, el cual, al combinarse con las sales metálicas, las reduce y estabiliza, para dar origen a las nanopartículas.

En este sentido, actualmente se han desarrollado nanopartículas de interés médico, como las nanopartículas de plata, para estudiar la actividad antibacterial contra *Shigella*, *Listeria* y *Escherichia coli* (Jolhe y cols., 2016). Por otra parte, un grupo de científicos encontró que las nanopartículas de plata mostraron un efecto terapéutico contra las células de cáncer colorrectal, además de presentar una fuerte actividad inhibidora del crecimiento de *Candida albicans* y

Staphylococcus aureus (Hatipoğlu y cols., 2023). Por ello, estas nanopartículas desarrolladas mediante síntesis verde son agentes terapéuticos prometedores.

Las nanopartículas de óxido de zinc también han despertado el interés de diversos investigadores debido a sus notables propiedades ópticas y químicas. En una investigación se encontró que el extracto de hojas de *Raphanus sativus* var. *Longipinnatus* actúa como un agente anticancerígeno efectivo en células de cáncer de pulmón (Umamaheswari y cols., 2021), mientras que en otro estudio se reportó la inhibición del crecimiento de células de cáncer de mama (Al Awadh y cols., 2022). Esto sugiere que las nanopartículas de óxido de zinc podrían constituir una fuente prometedora de compuestos quimiopreventivos. Por otro lado, también se han desarrollado nanopartículas de óxido de níquel, las cuales destacan por su actividad antimicrobiana y antioxidante (Haq y cols., 2021).

La síntesis biológica de nanopartículas de plata mediante el empleo de extracto de rábano también se ha aplicado en la industria textil con el propósito



de degradar catalíticamente colorantes como el azul de metileno; además de utilizarse como agente desinfectante de semillas. En México no se reportan estudios sobre el desarrollo de nanopartículas a partir del extracto de rábano; la información disponible proviene principalmente de investigaciones realizadas en otros países, por lo que esta raíz ofrece una valiosa área de oportunidad en México para diferentes aplicaciones.

Conclusiones

El rábano es una raíz con alto valor nutricional y un notable contenido de antioxidantes que benefician la salud. Más allá de su consumo tradicional, sus extractos se han utilizado en la síntesis verde de nanopartículas con aplicaciones médicas y ambientales. Por esta razón, en México su estudio y aprovechamiento representarían una gran oportunidad para la innovación científica.

Agradecemos al alumno José Luis Luria Santos de la carrera de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico Superior de Jesús Carranza por las fotografías de las figuras 1 y 2. La información presentada forma parte del proyecto TEC-NM con registro 18778.23PD.

Gonzalo Guillermo Lucho Constantino

Instituto Tecnológico Superior de Jesús Carranza.
gonzalolucho02@gmail.com

Fabiola Zaragoza Martínez

Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.
fabiolarazagozamtz@gmail.com

Juan Valente Megchún García

Instituto Tecnológico de Boca del Río.
megch@gmail.com

Referencias específicas

- Al Awadh, A. A., A. R. Shet, L. R. Patil, I. A. Shaikh, M. M. Alshahrani *et al.* (2022), "Sustainable synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using *Raphanus sativus* extract and its biomedical applications", *Crystals*, 12(8):1142. Disponible en: <<https://doi.org/10.3390/cryst12081142>>, consultado el 28 de julio de 2025.
- Gamba, M., E. Asllanaj, P. F. Raguindin, M. Glisic, O. H. Franco *et al.* (2021), "Nutritional and phytochemical characterization of radish (*Raphanus sativus*): A systematic review", *Trends in Food Science & Technology*, 113:205-218.
- González-Palomares, S. (2020), "Rábanos (*Raphanus sativus* L.): propiedades y beneficios", *MasScience* [en línea]. Disponible en: <<https://www.masscience.com/rabanos/>>, consultado el 28 de julio de 2025.
- Haq, S., S. Dildar, M. B. Ali, A. Mezni, A. Hedfi *et al.* (2021), "Antimicrobial and antioxidant properties of biosynthesized of NiO nanoparticles using *Raphanus sativus* (R. sativus) extract", *Materials Research Express*, 8(5):1-11.
- Hatipoğlu, A., A. Baran, C. Keskin, M. F. Baran, A. Eftekhari *et al.* (2023), "Green synthesis of silver nanoparticles based on the *Raphanus sativus* leaf aqueous extract and their toxicological/microbiological activities", *Environmental Science and Pollution Research*. Disponible en: <<https://doi.org/10.1007/s11356-023-26499-z>>, consultado el 28 de julio de 2025.
- Jolhe, P. D., B. A. Bhanvase, V. S. Patil y S. H. Sonawane (2016), "Green route for silver nanoparticles synthesis by *Raphanus sativus* extract in a continuous flow tubular microreactor", *International Journal of Nanoscience*, 16(1):1650019.
- Khan, R. S., S. S. Khan y R. Siddique (2022), "Radish (*Raphanus sativus*): Potential antioxidant role of bioactive compounds extracted from radish leaves-A review", *Pakistan Journal of Medical and Health Sciences*, 16(9):2-4.
- Umamaheswari, A., S. L. Prabu, S. A. John y A. Puratchikody (2021), "Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using leaf extracts of *Raphanus Sativus* var. *Longipinnatus* and evaluation of their anticancer property in A549 cell lines", *Biotechnology Reports*, 29:e00595.

¿Nos predisponen los genes al consumo de drogas?

El interés por la base genética del trastorno por consumo de sustancias (drogas) surge debido a la inminente llegada de la era de la medicina genómica de precisión, que propone el uso de genes de riesgo para un posible diagnóstico y tratamiento. En este artículo describimos los factores genéticos asociados a este trastorno y las investigaciones que se continúan realizando para entender más sobre la complejidad genética de este problema de salud pública.

Introducción

La dependencia a sustancias de abuso (o drogas), también denominado trastorno por consumo de sustancias (TCS), se caracteriza por un deseo compulsivo y una pérdida de control sobre su consumo. Estas sustancias suelen tener efectos psicoestimulantes que afectan el sistema nervioso central (SNC), provocando alteraciones en el estado de ánimo y en la conciencia. Según la hipótesis del neurodesarrollo del TCS, existen mutaciones en diversos genes involucrados con procesos neuronales que afectan la neurotransmisión de **dopamina** en el sistema mesolímbico (o “circuito de recompensa”). Este sistema es responsable de regular la motivación, el deseo y el placer ante el consumo de sustancias de abuso.

Dopamina

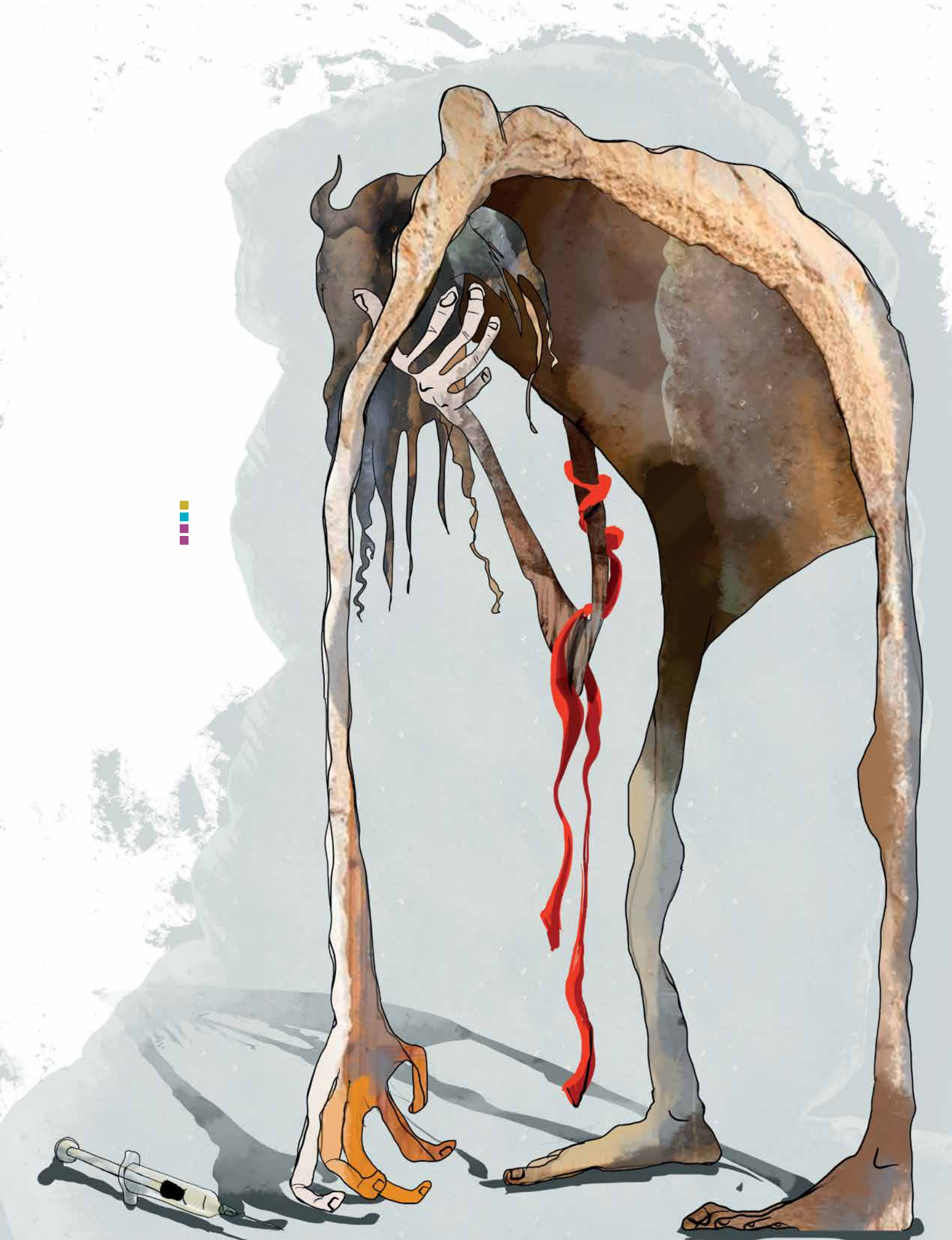
Mensajero químico producido por neuronas dopaminérgicas.

Interacción gen-medio ambiente

El TCS es un trastorno psiquiátrico complejo y multifactorial, ya que es resultado de la interacción de factores genéticos y ambientales (**Figura 1**). Los factores ambientales pueden desencadenar el desarrollo del TCS en personas que tienen predisposición genética para este trastorno. Dichos factores se clasifican en: 1) sociodemográficos (sexo, edad y región geográfica); 2) socioeconómicos (ingresos y nivel educativo), y 3) psicosociales (eventos traumáticos en la infancia y adolescencia). Además, otros elementos como la comorbilidad con otros trastornos psiquiátricos y la **ancestría genética** del individuo también pueden aumentar la susceptibilidad de presentar TCS.

Ancestría genética

Variantes genéticas presentes en un individuo que están determinadas por su origen étnico.



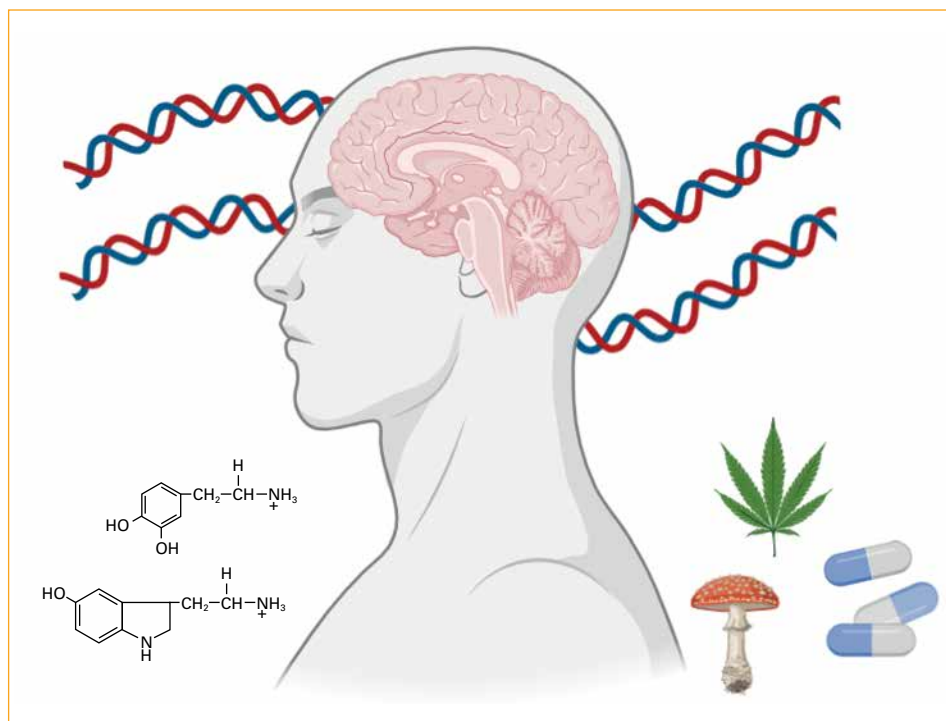


Figura 1. El trastorno por consumo de sustancias (TCS) es un trastorno multifactorial que involucra factores tanto genéticos como ambientales. Los factores genéticos pueden aumentar el riesgo de desarrollar el TCS en presencia de ciertos factores ambientales. Realizada con BioRender.

■ El estudio de los factores genéticos

■ Los genes involucrados en el TCS se identifican a través de secuenciación de todo el genoma o por estudios de asociación de genoma completo (GWAS, por sus siglas en inglés). Estos genes (secuencias de ácido desoxirribonucleico [ADN] de longitud variable) tienen regiones codificantes que se traducen posteriormente a proteínas. Durante la replicación del ADN pueden ocurrir mutaciones en su secuencia que podrían alterar la estructura y función de estas proteínas. Aunque muchas de estas mutaciones no tienen consecuencias negativas en procesos biológicos, algunas llegan a tener repercusiones clínicas funcionales.

Las mutaciones en la secuencia de ADN pueden ser: variantes de tipo estructural en regiones específicas (eliminación, duplicación o adición de segmentos de ADN), o variantes puntuales (cambio de un solo nucleótido de la secuencia de ADN, como los polimorfismos de un solo nucleótido o SNP), las cuales han sido las más estudiadas en la asociación genética con el TCS. Para estos estudios se emplean diferentes

poblaciones: 1) gemelos idénticos (comparten todo su material genético); 2) gemelos mellizos (comparten la mitad del material genético); 3) familiares (perfil genético parcialmente compartido), y 4) población de una región geográfica y ancestría específica (presentan sólo variantes frecuentes en común).

■ Estudios de asociación genética con dependencia a sustancias

■ Los SNP asociados con una mayor susceptibilidad al consumo y dependencia de sustancias participan principalmente en los circuitos de recompensa cerebral, así como en otros procesos fisiológicos (como el metabolismo y la respuesta al estrés). Este circuito de recompensa involucra diversas áreas cerebrales, como la corteza prefrontal, la amígdala, el núcleo accumbens y el área tegmental ventral (**Figura 2**). Además, estos SNP también se han relacionado con otras comorbilidades psiquiátricas, como esquizofrenia y depresión, entre otras. A continuación, revisaremos los principales hallazgos de la relación entre

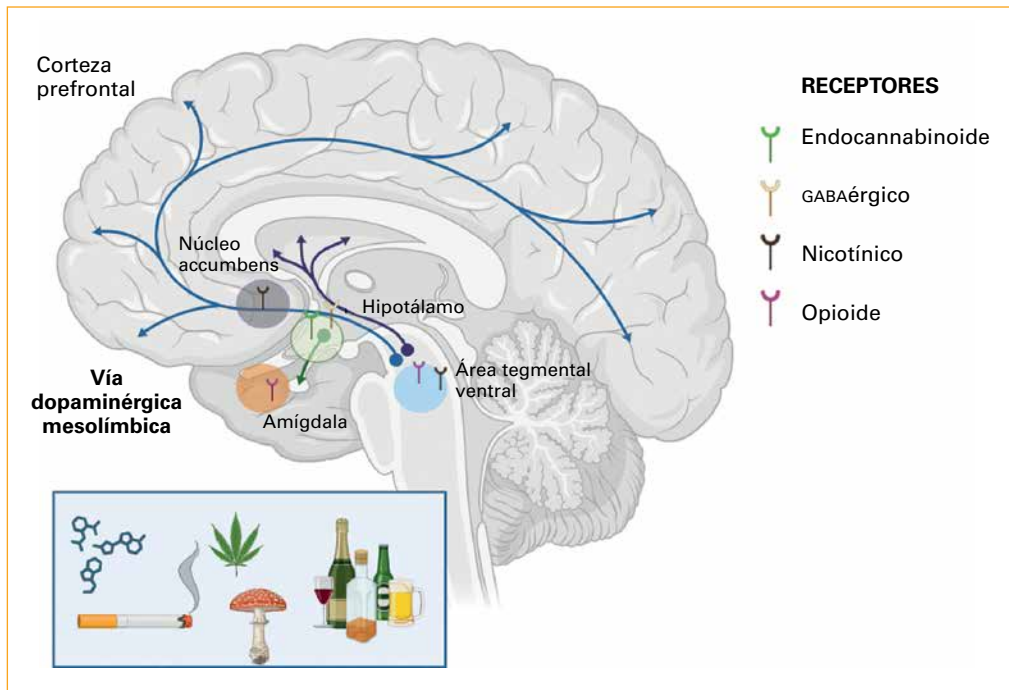


Figura 2. Circuito de recompensa y sustancias de abuso. Las sustancias de abuso estimulan la liberación de dopamina sobre el sistema mesolímbico de recompensa, uniéndose a los receptores endocannabinoides, opioides, nicotínicos, o GABA. Todos los receptores mencionados se encuentran presentes en diversas áreas cerebrales, como la corteza prefrontal, la amígdala, el núcleo accumbens y el área tegmental ventral, además del hipotálamo. Realizada con BioRender.

los SNP de genes de riesgo y la susceptibilidad al abuso de las sustancias más consumidas.

Alcohol

Desde hace varios años se conoce que existen diferencias en la tolerancia al alcohol, determinadas por el metabolismo que realizan principalmente tres enzimas: las enzimas alcohol dehidrogenasas ADH1B y ADH1C –las cuales transforman el alcohol en acetaldehído, un compuesto químico tóxico–, y la enzima aldehído deshidrogenasa ALDH2 –que convierte el acetaldehído en acetato, un compuesto químico no tóxico–. Estas enzimas son codificadas por genes que contienen los SNP: *ADH1B His4Arg*, *ADH1C Ile349Val* y *ALDH2 Lys47Glu*, asociados con la disminución o con el exceso de acetaldehído, y que pueden ocasionar a su vez cambios en la tolerancia al alcohol, irritación, náuseas, dolor de cabeza y taquicardia.

El alcohol se puede difundir rápidamente a través de la barrera hematoencefálica –la cual permite selectivamente el paso de sustancias al cerebro–,

debido a su gran afinidad por los receptores del ácido gamma amino butírico, conocido como GABA y principal neurotransmisor inhibitor del impulso nervioso. Uno de los SNP del gen *GABRA6* –que codifica para un receptor de GABA– se asocia con una menor edad de inicio de consumo y una mayor ingesta alcohólica. Asimismo, diversos SNP del gen *catecol-O-metiltransferasa* (enzima involucrada en la degradación de la dopamina y otros neurotransmisores) han sido asociados con el consumo exacerbado de alcohol debido a la rápida activación del circuito de recompensa.

Nicotina

La nicotina es una sustancia psicoactiva que incrementa los niveles de dopamina en los circuitos de recompensa cerebral. Estudios diversos han asociado el SNP *Taq1A* (del complejo de genes del receptor de dopamina D2 [*DRD2*] y la repetición de anquirina y dominio quinasa que contiene 1 [*ANKK1*]) con una mayor dependencia e inicio temprano del consumo de la nicotina, así como con un mayor número

Gen cadherina
Gen que codifica para una proteína de unión en neuronas dopaminérgicas del circuito de recompensa.

de cigarrillos consumidos por día. También se han encontrado asociados a una mayor dependencia de esta sustancia los SNP de varios genes que codifican para los receptores nicotínicos de acetilcolina (CHRNA), los cuales permiten la transmisión de señales de relajación y depresoras del sistema nervioso. Además, con un efecto contrario, grupos de SNP del **gen cadherina** (CDH13) se asocian con una mayor capacidad para dejar de fumar.

Opioides

Endorfinas
Neurotransmisores que provocan bienestar.

Los opioides son altamente adictivos debido a que provocan un efecto similar a las **endorfinas**. Su consumo prolongado puede generar rápidamente una tolerancia a la sustancia; es decir, se requiere una mayor cantidad en cada ocasión para lograr la misma sensación. Su efecto analgésico los hace de gran utilidad en el tratamiento del dolor severo; no obstante, se suele continuar el consumo de la sustancia incluso después de finalizar el tratamiento, lo que puede dar lugar a la dependencia por automedicación. Curiosamente, nuestro cerebro tiene sus propios receptores a opioides, como el gen receptor opioide mu 1 (OPRM1). Este gen se relaciona con la respuesta a fármacos opiáceos como la morfina, el fentanilo y la metadona. Las variantes del gen OPRM1, entre ellas el polimorfismo A118G (cambio de adenina [A] a guanina [G] en la posición 118), se asocian con dependencia a opioides y susceptibilidad a trastornos como epilepsia y esquizofrenia.

Glía
Células que funcionan como soporte y fuente de nutrientes de las neuronas.

Cannabis

La marihuana (o cannabis) es una de las sustancias de abuso más consumidas en México y el mundo. El cerebro humano produce sus propios endocannabinoides, que son neurotransmisores similares al compuesto activo de la marihuana (tetrahidrocannabinol o THC). Éstos se unen a los receptores endocannabinoides CB1 y CB2, que activan vías biológicas del sistema inmune. El SNP rs12720071 del gen CNR1, que codifica para CB1, ha sido el más estudiado en el abuso de cannabis. Otros SNP de este gen se han relacionado con la dependencia a otras sustancias de abuso, así como con otros trastornos psiquiátricos, como la depresión y psicosis.



Metanfetaminas

Las metanfetaminas son estimulantes que modifican el circuito de recompensa causando hiperactividad física, disminución del apetito, sensación placentera de bienestar y euforia prolongada. La susceptibilidad genética al consumo de metanfetaminas aún no es muy clara. Sin embargo, algunos de los genes asociados con mayor o menor susceptibilidad a su consumo participan en procesos cerebrales importantes, como el gen del factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF por sus siglas en inglés), que participa en el crecimiento de neuronas motoras y del hipocampo. Aquí ocurre un caso curioso, debido a que algunos de los SNP de BDNF, como Val66Met, se han asociado a un menor riesgo de abuso de metanfetaminas, mientras que otros SNP se asocian a un mayor consumo de esta sustancia.

Otro gen relevante en el desarrollo cerebral es el gen GDNF, que codifica para el factor neurotrófico derivado de la **glía**. Los SNP de este gen se asocian con un aumento en el consumo de metanfetaminas y posible disminución en el número de las células de la glía, trayendo consigo consecuencias funcionales en el comportamiento de los consumidores.

Cocaína

El consumo de cocaína modifica el estado de alerta y puede aumentar la agresividad y la presencia de delirios de persecución. El riesgo de dependencia a la cocaína se debe también al efecto sobre los circuitos cerebrales de recompensa. Las variantes de los genes que codifican para los receptores de dopamina DRD2 (SNP Taq1A) y DRD4 (variante de repetición del exón III) se asocian con el aumento del riesgo de



dependencia a la cocaína, así como con una edad de inicio de consumo más temprana. De forma interesante, el consumo crónico de cocaína reduce la expresión de la enzima desacetilasa de histonas 5, que provoca **cambios epigenéticos** relacionados con la “plasticidad cerebral”; es decir, hay una adaptación neuronal a diferentes cambios en el cerebro.

■ ¿Qué nos falta por conocer del papel de los factores genéticos en el tcs?

■ Aunque la genética puede explicar en promedio la mitad del fenotipo (rasgos observables de un individuo) de la dependencia a sustancias de abuso, aún no se conocen todas las variantes genéticas que podrían estar aumentando la susceptibilidad para desarrollar el tcs, debido a su naturaleza poligénica, esto es, que involucra a varios genes. Se necesita realizar más investigaciones que ayuden a encontrar la denominada “heredabilidad perdida”, mediante las variantes de los genes e interacción entre ellos que aún faltan por asociar con las características neurobiológicas o de comportamiento de este trastorno.

■ Conclusiones

■ El trastorno por consumo de sustancias (tcs) es un trastorno complejo que depende de la coocurrencia de diversos factores. La investigación de los factores genéticos facilita el entendimiento de los procesos biológicos alterados, lo que, en conjunto con el conocimiento de los factores ambientales, puede contribuir a la prevención, a un diagnóstico oportuno y

a una mejora en el tratamiento de la dependencia a sustancias de abuso o drogas, con la finalidad de reducir su impacto en la salud pública.

Araceli Gutiérrez-Rodríguez

Dirección de Investigación y Enseñanza, Centros de Integración Juvenil (CIJ).
araceli.gutierrez@cij.gob.mx

Brenda Loaiza

Dirección de Investigación y Enseñanza, Centros de Integración Juvenil (CIJ).
brenda.loaiza@cij.gob.mx

Rodrigo Marín-Navarrete

Dirección de Investigación y Enseñanza, Centros de Integración Juvenil (CIJ).
rodrigo.marin@cij.gob.mx

◀ **Cambios epigenéticos**
Modificación de la expresión de genes sin cambios en el ADN.

Lecturas recomendadas

- Bühler, K. M., E. Giné, V. Echeverry-Alzate, J. Calleja-Conde, F. Rodríguez de Fonseca y J. A. López-Moreno (2015), “Common single nucleotide variants underlying drug addiction: more than a decade of research”, *Addiction Biology*, 20(5):845-871. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/adb.12204>, consultado el 16 de julio de 2025.
- Cruz Martín del Campo, S., B. León Parra y E. A. Angulo Rosas (2018), *Lo que hay que saber sobre drogas*, Centros de Integración Juvenil. Disponible en: <https://shorturl.at/3GchP>, consultado el 16 de julio de 2025.
- Ramírez-Bello, J. (2015), “Papel de la variabilidad genética en las enfermedades mendelianas y multifactoriales”, *Gaceta Médica de México*, 5. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/gaceta/gm-2019/gm195h.pdf>, consultado el 16 de julio de 2025.
- Uhl, G. R., J. Drgonova y F. S. Hall (2014), “Curious cases: Altered dose-response relationships in addiction genetics”, *Pharmacology & Therapeutics*, 141(3):335-346. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2013.10.013>, consultado el 16 de julio de 2025.
- Zhang, H., A. Khan y A. Rzhetsky (2022), “Gene-environment interactions explain a substantial portion of variability of common neuropsychiatric disorders”, *Cell Reports Medicine*, 3(9):100736. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.xcrm.2022.100736>, consultado el 16 de julio de 2025.

Lorena Judith Reynoso Ramírez, Beatriz Adriana Aguilar Galarza y César Campos Ramírez

“Obesos sanos”, un término equivocado

En los últimos años han surgido nuevas corrientes que defienden que hay personas con obesidad que no están enfermas. Se les considera sanas, ya que no manifiestan problemas de salud, lo cual resulta contradictorio pues la obesidad como tal es una enfermedad. En este artículo revisaremos cómo es que surge esta teoría y si en realidad se encuentra bien fundamentada.

Introducción

La Organización Mundial de la Salud define la obesidad como una acumulación anormal o excesiva de grasa que es perjudicial para la salud (OMS, 2025). Sin embargo, algunas investigaciones médicas han descrito a un subgrupo peculiar de individuos que presentan obesidad y que aparentemente están protegidos o son más resistentes al desarrollo de anomalías metabólicas asociadas con la obesidad, como la glucosa o triglicéridos altos. A estos individuos se les conoce como “obesos sanos” u “obesos metabólicamente sanos”, quienes, a pesar de tener un exceso de grasa corporal, parecen presentar mediciones en sangre con valores adecuados; es decir, tienen niveles normales en cuanto a insulina, presión arterial, lípidos, hormonas, glucosa y perfil inmunológico (Primeau y cols., 2011).

La hipótesis y sus fundamentos

El término en cuestión surge de la hipótesis de que la obesidad de este grupo de individuos puede no representar el mismo riesgo de desarrollo de alteraciones metabólicas que las que muestran los individuos obesos con presencia de patologías (Griera y Contreras, 2014). La diferencia entre un obeso patológico y un obeso sano estriba en que este último es capaz de acumular un exceso de grasa a nivel del tejido adiposo subcutáneo que se expande, pero no altera los valores normales en sangre, mientras que en el obeso patológico los depósitos de grasa subcutánea no se expanden al mismo grado, por lo que se acumulan en depósitos a nivel de hígado o corazón, lugares donde no debiera existir grasa en grandes cantidades,



Obesos metabólicamente sanos	Obesos con alteraciones metabólicas
• Índice de Masa Corporal $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ • Altos niveles de sensibilización a la insulina. • Valores normales de presión arterial. • Valores normales de lípidos. • Valores normales de enzimas hepáticas. • Valores normales de hormonas. • Perfil inmunológico sin alteraciones. • Acumulación del exceso de grasa a nivel del tejido adiposo subcutáneo que se expande. 	• Índice de Masa Corporal $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ • Los depósitos de grasa subcutánea no se expanden. • Acumulación de grasa a nivel de hígado y pericardio, entre otros. • Propensión a factores de riesgo cardiovascular. • Puede tener diabetes, hipertensión, hígado graso no alcohólico, hiperlipidemias o resistencia a la insulina. 

Figura 1. Diferencias entre personas clasificadas como obesos sanos y obesos con alteraciones metabólicas. Fuente: elaboración propia.

ya que ésta está relacionada con factores de riesgo cardiovascular (resistencia a la insulina, niveles de glucosa, triglicéridos y colesterol altos o tamaño de cintura grande) y enfermedades crónicas como diabetes, hipertensión, hígado graso, cáncer y resistencia a la insulina (Griera y Contreras, 2014). Véase la **Figura 1**.

Ahora bien, ¿es correcto el término “obeso sano”? Para determinar si una persona tiene obesidad es preciso determinar su índice de masa corporal (IMC), el cual debe ser de $\geq 30 \text{ kg/m}^2$. Los individuos denominados “obesos sanos” no deben presentar ningún factor de riesgo cardiovascular o complicación cardíaca, ni consumir medicamentos para su corrección. Así pues, dada la creencia de que este grupo de personas pueden no presentar riesgo de desarrollar estas complicaciones, se realizó una investigación guiada por especialistas de la Clínica Universidad

de Navarra, en la que se analizó el perfil cardíaco, metabólico e inflamatorio de un grupo de obesos sanos y de un grupo de individuos obesos patológicos, así como la intolerancia a la glucosa y la presencia de diabetes mellitus tipo 2 (DM2) en ambos grupos. También, estudiaron la expresión de genes en tejido adiposo y en hígado. Los resultados demostraron que los perfiles eran similares y se incrementaban de manera parecida en ambos grupos de individuos. Al final del estudio, llegaron a la conclusión de que el término “obeso sano” debe utilizarse con mucha precaución, ya que se deben realizar análisis más profundos y detallados antes de considerar a alguien obeso como una persona sana o sin riesgo de desarrollar una enfermedad cardiovascular.

Otro estudio realizado en Andalucía, España, evaluó el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y DM2. Se llegó a la conclusión de que

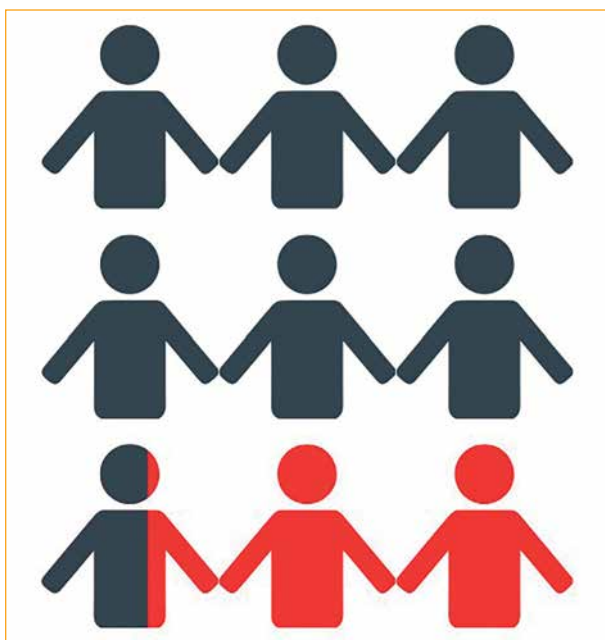


Figura 2. Representación de una proporción baja de personas obesas que no muestran indicadores de riesgo cardiovascular. Fuente: elaboración propia.

dentro de un tiempo aproximado de seis años algunos de los individuos que se encontraban clasificados como “obesos sanos” dejaron de serlo, y que además el riesgo de desarrollar DM2 es igual al que presentan los individuos obesos patológicos. Debido a esto, se concluyó que el concepto “obeso sano” debe considerarse como una condición transitoria, como un estado de riesgo bajo o intermedio, en lugar de como sano o sin riesgo (Soriguer y cols., 2013).

El término “obeso sano” ha ganado interés en los últimos años y es utilizado en todo el mundo. Sin embargo, se manejan definiciones diferentes, ya que algunos optan por la nula existencia de enfermedades cardiovasculares o metabólicas, mientras que otros refieren que el individuo no debe presentar dos o más factores de riesgo cardiovascular. Lo anterior significa que generalmente el autor de la investigación designa a un individuo como “obeso sano” no porque realmente esté sano, sino porque no tiene diabetes o no tiene hipertensión, lo cual resulta verdaderamente peligroso porque pareciera que se está minimizando esta enfermedad.

En México, gracias a los resultados de dos estudios paralelos con más de ocho mil participantes con

sobrepeso u obesidad, se concluyó que sólo 10.8 % no presentaron más de un factor de riesgo cardiovascular (Acebo, 2022). Sin embargo, esto no significa que estén sanos, sino que, de acuerdo con la clasificación de los autores del estudio, son normales. Tampoco significa, por otra parte, que así vayan a permanecer siempre, como se mencionó antes, pues es muy probable que este fenómeno sólo sea temporal. En un estudio con universitarios de 19 años, se encontró que más del 35 % presentaban sobrepeso u obesidad y únicamente 5 % presentaban alguna anormalidad, como glucosa alta, triglicéridos altos o hipertensión. Sin embargo, aunque esto parece contradictorio no es la primera vez que se observa; otros estudios ya lo han encontrado y la explicación es que, al menos en personas jóvenes –donde comúnmente se da el fenómeno de los obesos sanos–, primero se da únicamente el aumento de grasa corporal y después, con el paso del tiempo, terminan presentando valores anormales en sangre (Stefan y cols., 2013).

El diagnóstico de obesidad mediante IMC algunas veces no funciona (principalmente en deportistas profesionales), ya que es la relación entre el peso y la estatura de una persona, pudiendo clasificar a ésta con obesidad cuando no se encuentra en ese rango. Así pues, es importante recalcar que cuando hablamos de obesidad debemos referirnos al componente de grasa presente en el cuerpo y no al peso de una persona. Sin embargo, el diagnóstico con base en el IMC la gran mayoría de las veces funciona para darnos una idea de la cantidad de grasa de las personas.

Debido a esto han surgido diversos puntos de vista y enfoques en cuanto a nutrición, como lo es el enfoque “no pesocentrista”, según el cual el peso no debe ser un marcador de enfermedad. Es clave determinar la composición corporal de una persona para que se le pueda dar un tratamiento objetivo y correcto en pro de su salud y bienestar; sin embargo, es de suma importancia evitar la desinformación. Otro enfoque es el de “Salud en todas las tallas”, el cual promueve la idea de que se puede alcanzar la salud sin importar la talla de la persona (Lobatón, 2020).

Se ha establecido que la obesidad se asocia con un mayor riesgo de múltiples enfermedades, pero



también hay que tomar en cuenta factores como las condiciones de vida y actividad física, consumo de nutrimentos, ciclos de pérdida y aumento de peso, o el nivel socioeconómico del individuo para relacionar el peso y la enfermedad, ya que todos éstos tienen un papel importante para determinar riesgos para la salud.

Es de suma importancia discernir entre la imagen de un individuo y su salud; es decir, los obesos metabólicamente sanos deben recibir un tratamiento para evitar la evolución hacia un mayor riesgo de enfermedad, ya que, como se mencionó, es un estado transitorio en donde existe el riesgo de que se presente un estado de obesidad con alteraciones

metabólicas. Se acepta que el tratamiento debe estar enfocado en la salud y no en un peso o en la imagen corporal; si bien es importante entender que están estrechamente relacionados.

Conclusiones

Para concluir, se debe aclarar que la obesidad no sólo es una enfermedad, sino que es la de mayor prevalencia en México y está asociada a gran cantidad de enfermedades y muertes en el país; por lo tanto, es necesario establecer que es imposible que una persona con obesidad sea sana e incluso resulta peligroso clasificar a una persona con obesidad como sana,

pues el riesgo de que desarrolle patologías es elevado. Así pues, el uso del término “obeso sano” puede resultar peligroso, pues puede provocar que las personas minimicen los peligros, o incluso consideren que no tienen ningún problema si presentan esta condición, lo cual puede llevar a una normalización de la enfermedad, incluso más allá de los indicadores existentes de riesgo cardiovascular. Se ha comprobado que la obesidad está estrechamente relacionada con el desarrollo de enfermedades mentales (Alzheimer, demencia, depresión, estrés y ansiedad) e inmunitarias, así como con la disminución en la capacidad de aprendizaje en la escuela, desempeño en el trabajo y la vida personal, por lo que es de suma importancia prevenir que personas catalogadas con “obesidad sana” evolucionen a un estado patológico.

Lorena Judith Reynoso Ramírez

Departamento de Nutrición Humana, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro.
lorena.reynoso@uaq.mx

Beatriz Adriana Aguilar Galarza

Departamento de Nutrición Humana, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro.
beatriz.aguilar@uaq.mx

César Campos Ramírez

Centro de Investigación Biomédica Avanzada,
Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Querétaro,
Campus Aeropuerto.
cesar.campos@uaq.mx

Lecturas recomendadas

- Acebo, M. (2022), “Obesidad y salud. ¿En realidad existe el paciente obeso metabólicamente sano?”, *Revista Salud Pública y Nutrición*. Disponible en: <<https://www.medigraphic.com/pdfs/revsalpubnut/spn-2017/spn172f.pdf>>, consultado el 20 de julio de 2025.
- Clínica Universidad de Navarra (2018), “Los obesos ‘metabólicamente sanos’ presentan un riesgo elevado de alteraciones, similar al del resto de obesos” [en línea]. Disponible en: <<https://www.cun.es/actualidad/noticias/estudio-obesos-metabolicamente-sanos>>, consultado el 20 de julio de 2025.
- Griera-Borrás, J. L. y J. Contreras-Gilbert (2014), “¿Existe el obeso sano?”, *Endocrinología y nutrición*, 61(1):47-51. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.endonu.2013.03.010>>, consultado el 20 de julio de 2025.
- Lobatón, R. (2020), “Mitos populares sobre salud en todas las tallas (HAES) y la realidad detrás de ellos”, *Raquel Lobatón. Nutrición Incluyente* [en línea]. Disponible en: <<https://raquel-lobaton.com/mitos-populares-sobre-salud-en-todas-las-tallas-y-la-realidad-detras-de-ellos/>>, consultado el 20 de julio de 2025.
- Organización Mundial de la Salud (2025), “Obesidad y sobrepeso” [en línea]. Disponible en: <<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>>, consultado el 20 de julio de 2025.

Referencias específicas

- Primeau, V., L. Coderre, A. D. Karelis, M. Brochu, M.-E. Lavoie, V. Messier, R. Sladek y R. Rabasa-Lhoret (2011), “Characterizing the profile of obese patients who are metabolically healthy”, *International Journal of Obesity*, 35(7):971-981.
- Soriguer, F., C. Gutiérrez-Repiso, E. Rubio-Martín, E. García-Fuentes, M. C. Almaraz *et al.* (2013), “Metabolically healthy but obese, a matter of time? Findings from the prospective Pizarra study”, *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 98(6):2318-2325.
- Stefan, N., H. U. Häring, F. B. Hu y M. B. Schulze (2013), “Metabolically healthy obesity: epidemiology, mechanisms, and clinical implications”, *The Lancet. Diabetes & Endocrinology*, 1(2):152-162.

Entendiendo el tormento de la cefalea en racimos

Racimos de dolor

Término utilizado para describir episodios de dolor intensos y recurrentes que se presentan en un solo lado de la cabeza. Cada episodio puede presentarse hasta ocho veces consecutivas en un solo día, por lo que se les conoce como racimos.

La cefalea en racimos es una condición dolorosa y debilitante que afecta principalmente a los hombres. Se caracteriza por **racimos de dolor** periorbital intenso, que puede presentarse varias veces al día. No existe cura, pero algunos medicamentos pueden ayudar a controlar los síntomas. Concientizar sobre esta afección podría ayudar a que reciban la atención médica adecuada quienes la padecen.

Imagínate en tu casa después de un largo día de trabajo, disfrutando un paseo por el parque con tus amigos o en la comodidad de tu cama mientras duermes. De repente, sientes un dolor punzante alrededor de un ojo, tan intenso que te deja sin aliento. En cuestión de minutos el dolor se convierte en algo insoportable, avanza hacia tu sien (región temporal) y tu mandíbula, como una aguja caliente que te perfora el cráneo. Cada segundo parece eterno y por más que desees que el dolor desaparezca, no encuentras alivio.

¿Te imaginas vivir esta experiencia varias veces al día, durante semanas, meses o incluso años? ¿Vivir con el temor constante de que pueda ocurrir en cualquier momento, mientras conduces, trabajas, haces compras, o incluso cuando duermes? Así es la vida de quienes sufren cefalea en racimos, una de las condiciones más dolorosas, debilitantes e incomprensibles que existen (**Figura 1**).

Más que un simple dolor de cabeza

La cefalea en racimos, también conocida como neuralgia de Horton y coloquialmente como “cefalea suicida”, es un tipo de dolor de cabeza extremadamente grave que muy poca gente conoce. El término “cefalea en racimos” hace referencia a sus síntomas más destacados: el dolor de cabeza que afecta un solo lado (unilateral) y la frecuencia de los ataques de dolor (racimos). El dolor casi siempre inicia alrededor de la órbita de un solo ojo (dolor periorbital) y los pacientes lo describen como intenso, penetrante, opresivo, agudo y punzante. Lo comparan con la sensación de un cuchillo al rojo vivo clavado en el centro del ojo y de intensidad similar



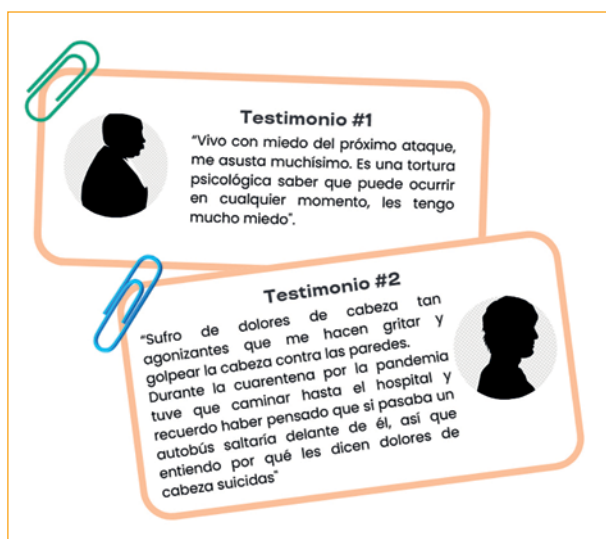


Figura 1. Testimonios de pacientes. Tomados de Brown (2024).

al dolor de una herida de bala o el dolor del parto. Súbitamente, los afectados pasan de no sentir dolor a experimentar el dolor más insoportable en tan sólo unos cuantos minutos. Por si fuera poco, tienen que lidiar con hasta ocho episodios consecutivos en un solo día, cada uno de ellos con una duración de entre 15 y 180 minutos (May y cols., 2018). Durante un episodio, los afectados son incapaces de permanecer quietos, aunque estén sentados; presionan instintivamente la zona dolorida, y en casos extremos se arrastran por el suelo.

En su desesperación por encontrar alivio y calmar la agonía, algunos llegan a golpear la cabeza fuertemente contra la pared. Lo anterior destaca la necesidad de crear conciencia y empatizar con quienes sufren cefaleas en racimos; su experiencia no es nada menos que una pesadilla personal que impacta negativamente su calidad de vida, su salud mental y su productividad.

Epidemiología

Existen pocos estudios epidemiológicos de esta rara enfermedad, pero afecta a unas 124 personas de cada 100 000, lo que representa menos del 0.1 % de la población (Wei y Goadsby, 2021). La cefalea en racimos es más común en los hombres en comparación con las mujeres. De cada diez personas diagnosticada-

das, al menos siete son varones (Malu y cols., 2022). Puede aparecer por primera vez a cualquier edad. Sin embargo, es más frecuente entre los 20 y los 40 años (Figura 2). Los individuos que tienen familiares directos, como padres o hermanos, que padecen cefalea en racimos tienen 18 veces más riesgo de desarrollarla en comparación con el resto de la gente.

Otro aspecto clave por tener en cuenta es que los episodios tienden a desaparecer a medida que las personas envejecen. Si bien se desconoce la razón exacta de por qué ocurre esto, y no hay una edad específica para todos, es esperanzador para los pacientes saber que llegarán a una etapa de su vida en la que ya no tendrán que lidiar con el dolor.

Existen dos tipos de cefalea en racimos: episódica y crónica. La cefalea en racimos episódica alterna los periodos de racimos (que pueden durar hasta un año) seguidos de periodos sin dolor, conocidos como periodos de remisión, que pueden durar meses o incluso años. En contraste, la cefalea en racimos crónica se caracteriza por episodios de dolor continuo que duran más de un año, sin periodos de remisión o con periodos de remisión muy cortos (menores de un mes). Alrededor del 90 % de los pacientes con



Figura 2. Epidemiología de la cefalea en racimos.

cefalea en racimos sufren la forma episódica, mientras que el 10% restante sufre de la forma crónica. Las personas con cefalea en racimos crónica suelen ser las que más sufren, ya que en algunos casos los episodios de dolor nunca se detienen.

Síntomas

Los síntomas de esta enfermedad son muy diversos. Los más característicos son dolor ocular intenso acompañado de enrojecimiento, hinchazón del párpado, ojos llorosos, párpado caído, pupilas pequeñas, goteo o congestión nasal y sudoración excesiva en un solo lado de la cara. Estos síntomas se conocen como síntomas autonómicos porque están relacionados con la activación del sistema nervioso autónomo, el cual controla las funciones involuntarias del cuerpo. Identificar los síntomas es crítico para ayudar a quienes sufren de esta enfermedad implacable.

Factores detonantes

Imagina lo siguiente. Todo parece estar en calma, estás en una fiesta con tu familia y amigos, bebiendo tu trago favorito y divirtiéndote con todo el mundo. De pronto, cuando terminas tu bebida, empiezas a sudar, lagrimea tu ojo, tu nariz gotea y va creciendo un dolor punzante en la mitad de la cabeza; es entonces cuando te das cuenta de que la tortura está a punto de comenzar. Resulta que el alcohol es un factor que puede desencadenar estos episodios o hacer que se produzcan con más frecuencia, pero no es el único. Hasta ahora, no hay evidencia de que un tipo de bebida alcohólica sea peor que otro y sabemos que no existe una cantidad “segura” que no desencadene un ataque.

La hora del día y la estación del año también influyen. Estos ataques tienden a seguir un patrón circadiano (Wei y Goadsby, 2021), por lo que es esperado que el dolor aparezca poco después de irse a la cama, normalmente entre las 9 p. m. y las 2 a. m. También, parecen ocurrir con más frecuencia en primavera y otoño. Otros desencadenantes importantes son el humo de tabaco y los altos niveles de estrés. Además, existen otros factores desencadenantes



Figura 3. Características principales de la cefalea en racimos.

menos comunes que en algunos pacientes pueden propiciar las crisis. Por ejemplo, el consumo de alimentos ricos en grasas, olores fuertes, el ejercicio de alta intensidad, cambios de altitud o incluso cambios en el clima (Figura 3). Es fundamental para la prevención conocer e identificar los factores desencadenantes y encontrar formas de evitarlos.

Vamos a calmar ese dolor

Si tienes síntomas que te hagan sospechar de esta condición, se recomienda acudir al médico, idealmente a un neurólogo. Un diagnóstico correcto es clave para recibir un tratamiento adecuado, pero ¡cuidado!, el diagnóstico de este padecimiento puede llevar mucho tiempo, en parte porque es una patología relativamente desconocida y porque rara vez el paciente es atendido durante el ataque. Además, no existe una prueba específica para identificarla; en consecuencia, es necesario descartar primero otras enfermedades más comunes, como la migraña,

Pruebas de diagnóstico por imagen

Conjunto de técnicas médicas que utilizan diferentes formas de energía para producir imágenes del interior del organismo y que permiten detectar, diagnosticar, descartar, monitorear o tratar diversas enfermedades. Las más comunes son los rayos X, tomografías computarizadas, ecografía y resonancia magnética nuclear.

con la que frecuentemente suele confundirse. Para realizar el diagnóstico, el médico considera principalmente los síntomas y puede ayudarse de **pruebas de diagnóstico por imagen**, análisis de sangre y de interrogatorios extensos. Por lo anterior, es de gran ayuda que el paciente registre información como la duración, la intensidad y la frecuencia del dolor, los síntomas y factores que desencadenan los ataques y la hora del día en que aparecen, entre otros.

Una vez diagnosticada, el siguiente paso es indicar el tratamiento adecuado. Existen muchas opciones de tratamiento que les permiten a los pacientes disfrutar de sus actividades diarias sin el dolor, miedo o el aislamiento que genera esta enfermedad. Actualmente, los tratamientos disponibles para controlar los racimos se dividen en tres grupos: agudo, preventivo e intermedio o de puente (**Figura 4**). El tratamiento agudo o abortivo se usa durante las crisis para disminuir la duración o evitar que alcancen su intensidad máxima. El tratamiento más utilizado es el oxígeno al 100 %, administrado a través de una mascarilla no recirculante (Peng y Burish, 2023). También se pueden utilizar medicamentos conocidos como triptanes; entre ellos se encuentran el sumatriptán y el zolatriptán. Éstos se inyectan por vía subcutánea o se aplican por vía intranasal.

El tratamiento preventivo tiene como objetivo disminuir la frecuencia de los racimos y controlar la enfermedad a largo plazo. Los dos medicamentos más utilizados para este fin son el verapamilo y el litio. Sin embargo, son fármacos con un gran número de efectos adversos. Para minimizar el riesgo de efectos adversos, se sugiere iniciar con la dosis efectiva más baja de estos medicamentos y aumentarla gradualmente. Una desventaja de estos medicamentos es que su efecto terapéutico se observa varias semanas o, en algunos casos, incluso meses después de iniciar el tratamiento. La respuesta a estos medicamentos varía significativamente entre pacientes; algunos responden más fácilmente al tratamiento y no requieren dosis máximas de estos medicamentos. Generalmente, esto se observa en quienes presentan cefalea en racimos episódica.

Por lo anterior, se requiere el apoyo de tratamientos intermedios o de puente, en donde se utiliza la familia de fármacos de los corticoides, como la prednisona y la metilprednisolona. Los corticoides se pueden administrar por vía oral o, en caso de que no se observe respuesta, se pueden inyectar directamente a los nervios occipitales. ¡Pero ojo!, este procedimiento se lleva a cabo mediante una técnica en la cual se aplica un anestésico en la médula a nivel del cuello, para posteriormente aplicar el corticoide –responsable de producir el efecto deseado– en el mismo lugar. Dependiendo del caso, los corticoides se utilizan por periodos cortos, es decir, unos días o un par de semanas. Estos medicamentos ayudan a controlar los episodios con mayor facilidad, al mismo tiempo que el tratamiento preventivo empieza a hacer efecto y se alcanzan las dosis necesarias en las que el paciente tolera los efectos adversos de los medicamentos del tratamiento preventivo.

Los pacientes deben comprender que, aunque esta enfermedad no tiene cura, es fundamental no abandonar el tratamiento, incluso cuando se sientan mejor o noten una disminución de sus síntomas. También es importante que sepan que puede haber momentos en los que experimenten más episodios de dolor de lo habitual. Esto no significa que el tratamiento no esté funcionando. En esos momentos, es recomendable hablar con su médico, ya que puede



Figura 4. Tratamientos disponibles para la cefalea en racimos.

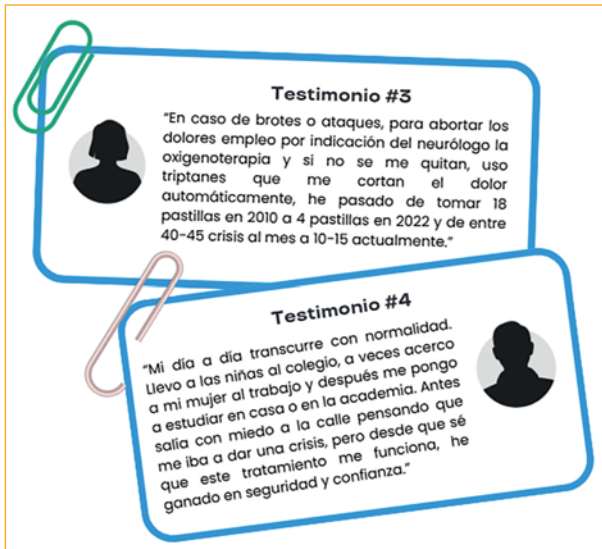


Figura 5. Testimonios de pacientes. Tomados de Hospital Cruz Roja de Córdoba (2024).

ser necesario ajustar la dosis de sus medicamentos hasta que la enfermedad se estabilice.

Además, es importante recordar que no todos los pacientes responden al tratamiento de la misma manera. Por lo tanto, encontrar el plan de tratamiento adecuado puede marcar una gran diferencia para el paciente. Pero, sin duda alguna, iniciar un plan de tratamiento realmente puede ayudar a vivir con más libertad y disfrutar de la vida (**Figura 5**).

Conclusión

La cefalea en racimos es mucho más que un simple dolor de cabeza intenso; es una enfermedad profundamente incapacitante que afecta la salud física y mental de quienes la padecen. Los pacientes con este trastorno poco común enfrentan un recorrido de incertidumbre y desesperación antes de encontrar alivio. Sin embargo, a pesar de los desafíos y la falta de información, las opciones terapéuticas disponibles pueden transformar la vida de quienes viven con esta condición, cuando se combinan con un diagnóstico temprano. Aún se desconocen las causas de esta enfermedad, por lo que es crucial continuar investigando para desarrollar tratamientos más efectivos. Mientras tanto, es imprescindible fomentar la concientización y ofrecer apoyo a quienes enfrentan esta

“tortura silenciosa”. De esta manera, podemos ayudar a mejorar su calidad de vida, combatir los sentimientos de aislamiento que suelen acompañar su lucha y contribuir a que su camino sea menos abrumador.

Magdalena Avilés-Flores

Facultad de Medicina, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

magda.aviles0711@gmail.com

Vera L. Petricevich

Facultad de Medicina, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

vera.petricevich@uaem.mx

Gabriela Castañeda-Corral

Facultad de Medicina, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

gabriela.castaneda@uaem.mx

Referencias específicas

- Brown, A. (2024), “Tengo dolores de cabeza tan fuertes que me hacen golpearla contra las paredes”, *BBC News Mundo* [en línea]. Disponible en: <<https://www.bbc.com/mundo/articles/ceq4d40pgy2o>>, consultado el 24 de julio de 2025.
- Hospital Cruz Roja de Córdoba (2024), “Testimonio de paciente con cefalea”, *Hospital Cruz Roja de Córdoba* [en línea]. Disponible en: <<https://hospitalcruzrojacordoba.es/consejos-de-salud/tratamiento-cefalea-en-racimos-tensional-y-migrana-testimonio/>>, consultado el 24 de julio de 2025.
- Hinojosa, E., y A. M. González (2021), *Migraña en racimos*, México, Almadía Ediciones.
- Malu, O. O., J. Bailey y M. K. Hawks (2022), “Cluster headache: rapid evidence review”, *American Family Physician*, 105(1):24-32.
- May, A., T. J. Schwedt, D. Magis, P. Pozo-Rosich, S. Evers y S. J. Wang (2018), “Cluster headache”, *Nature Reviews. Disease Primers*, 4:18006.
- Peng, K. P., y M. J. Burish (2023), “Management of cluster headache: Treatments and their mechanisms”, *Cephalalgia. An International Journal of Headache*, 43(8):03331024231196808.
- Wei, D. Y., y P. J. Goadsby (2021), “Cluster headache pathophysiology — insights from current and emerging treatments”, *Nature Reviews Neurology*, 17:308-324.

Félix González-Alvarado, Valeria Reynoso-Ramírez y José Alfredo González-Ortiz

Paracetamol, un analgésico popular que no es tan inocuo

El paracetamol es un medicamento que desde su introducción ha ganado la confianza de los médicos y el público en general por ser eficaz y seguro. Sin embargo, la falta de regulación y el acceso libre favorecen su uso desmedido y, con ello, la aparición de sus efectos adversos. El presente artículo ofrece información accesible para el público en general sobre el paracetamol.

Introducción

El dolor es una respuesta innata del cuerpo humano ante alguna amenaza; sin embargo, es una sensación desagradable y molesta, por lo cual, ante su más mínima aparición, se busca un alivio inmediato. Desde tiempos inmemorables el ser humano ha ideado distintas formas para aliviar el dolor. En épocas prehispánicas se buscaban plantas medicinales y en la actualidad se pide un frasco de paracetamol en la farmacia. Gracias a los avances científicos y tecnológicos que ha habido a lo largo de la historia, actualmente se conocen cientos de medicamentos para aliviar distintos tipos de dolor. Hay uno, sin embargo, al que la mayoría de las personas recurre: el paracetamol (o acetaminofén).

Precisamente por su uso extendido y eficacia, el paracetamol, desde su descubrimiento e introducción en el mercado, se ha ganado la confianza no sólo de los médicos que lo prescriben, sino también del público en general, dado que es un medicamento relativamente seguro y eficaz. Aunque este medicamento lleva casi 70 años en el mercado, el público desconoce su mecanismo de acción, efectos adversos, indicaciones y contraindicaciones. Es importante que la gente conozca los riesgos de la automedicación, ya que, debido a su venta libre en México, el desconocimiento de las dosis puede llevar a intoxicación, insuficiencia hepática o incluso a la muerte en casos graves. Debido a esto, resulta conveniente proporcionar información clara, concisa y digerible, para comprender el metabolismo del paracetamol, así como la importancia de no automedicarse y así prevenir daños o ingresos hospitalarios por complicaciones.



Fisiología del dolor

Se refiere al conjunto de procesos neurobiológicos en los que el organismo detecta y transmite estímulos nocivos, iniciando con el estímulo doloroso mediante señales eléctricas a través de nociceptores, las cuales son transmitidas por fibras nerviosas aferentes hacia la médula espinal y posteriormente al cerebro.

Partiendo de esta necesidad de informar a la población, en general, este artículo tiene como objetivo brindar información clara y entendible sobre el paracetamol, abordando temas como su origen, su mecanismo de acción, sus indicaciones y contraindicaciones, su dosis y sus efectos adversos. Con el objetivo de una mayor comprensión del tema, se alude brevemente a la **fisiología del dolor** y las escalas analgésicas.

Historia

El acetaminofén –conocido comercialmente como paracetamol– fue sintetizado por primera vez por Harmon Northrop Morse en 1873. Su origen se remonta, pues, al siglo XIX y el descubrimiento de sus propiedades fue resultado de un afortunado accidente.

Con el fin de tratar a un paciente que padecía parasitosis intestinal, el profesor Adolf Kussmaul les indicó a sus ayudantes, Arnold Cahn y Paul Hepp, que administraran un medicamento llamado naftaleno. No obtuvieron la respuesta esperada de este tratamiento, pero llamó la atención de los ayudantes una disminución de la fiebre que presentaban los pacientes. Más tarde descubrieron que la farmacia que suministró el naftaleno, por error, les había dado una sustancia llamada acetanilida, lo que contribuyó a que se descubriera que esta última tenía la propiedad de disminuir la temperatura corporal. Tiempo después fue sintetizada la fenacetina, compuesto con la misma propiedad antipirética de la acetanilida, pero sin tanta toxicidad.

Tuvo que pasar poco más de medio siglo para que, en 1948-1949, Brodie y Axelrod –dos científicos estadounidenses–, al investigar un poco más acerca del metabolismo de la fenacetina, descubrieran que el paracetamol era el principal metabolito de la acetanilida y la fenacetina, y que no poseía tantos efectos adversos. Rápidamente, el paracetamol alcanzó popularidad como una prescripción segura para todo tipo de personas, incluso mujeres embarazadas, niños y adultos mayores. Así fue como, para 1955, se comercializó para su uso clínico en Estados Unidos bajo el nombre de Tylenol, y en 1956 en Reino Unido ya era famoso el Panadol, prescritos únicamente

para el control del dolor y la fiebre, en tabletas de 500 mg. Después de poco más de 65 años, éstas siguen siendo su indicación y presentación principales. Se han desarrollado distintas presentaciones, entre las que se incluyen tabletas de mayor o menor gramaje, masticables, en forma de jarabe, para gotero, vía intravenosa o como supositorios.

Usos

No existen patologías para las que el paracetamol esté indicado como tratamiento específico, sino que es más bien utilizado para el alivio sintomático de enfermedades en las cuales existe dolor leve a moderado, de origen no visceral, asociado con daño tisular real o potencial. El dolor es una señal de alarma que busca proteger al organismo, en la cual contribuyen el sistema nervioso, el sistema endocrino y el sistema inmunológico. El paracetamol es eficaz principalmente en afecciones articulares como osteoartritis o artritis reumatoide, dolor de oído producto de infecciones o algún procedimiento traumático, así como para el dolor dental menor, procedimientos quirúrgicos menores y también alivia el dolor de cabeza. Al asociarse con otros antiinflamatorios no esteroideos (AINE) o con un opiode menor (analgésico de baja a moderada potencia utilizado para aliviar dolores moderados o persistentes, como la codeína o el tramadol), el paracetamol suele actuar de manera sinérgica, incrementando su efecto analgésico. El paracetamol es eficaz para la disminución de la fiebre, que puede estar originada como respuesta a una infección viral, bacteriana,



fúngica o parasitaria. También es útil en la fiebre que ocurre luego de la vacunación. Ahora bien, existen, sin embargo, diferentes tipos de dolor, cada uno con un origen particular, en función del cual se clasifican como dolor nociceptivo, neuropático o psicogénico; por lo que siempre hay que tener en cuenta que se debe tratar la causa por la cual se presenta la fiebre y no sólo este síntoma (Przybyła y cols., 2020).

Tipos de dolor

En el dolor nociceptivo se estimulan receptores denominados nociceptores, los cuales son terminaciones nerviosas que se activan cuando existe lesión tisular, de tal manera que éstos informan al cuerpo sobre un daño inminente o la presencia de la lesión en un tejido. La nocicepción es, pues, el proceso fisiológico mediante el cual el sistema nervioso detecta, transmite y procesa estímulos potencialmente dañinos o nocivos que pueden resultar en daño tisular. También existe el dolor neuropático, en el que en vez de activarse los nociceptores debido a un estímulo nocivo externo, los nervios dañados envían señales anormales o erróneas de dolor, que se perciben como dolor intenso, ardiente, punzante o sensación de descargas eléctricas. Otro tipo de dolor es el psicogénico, en el cual el cerebro procesa señales de dolor a través de factores emocionales, psicológicos o cognitivos, lo que amplifica la percepción del dolor, sin que necesariamente se activen nociceptores de forma convencional. Para valorar el dolor, la escala más utilizada en la práctica médica es la escala analógica visual, la cual consiste en medir la intensidad con ayuda de una línea horizontal que representa en un extremo la ausencia o mínima intensidad y en el otro, la máxima. El paciente tiene que indicar con un punto en dónde se localiza su dolor. Esto –junto con un buen interrogatorio– ayuda a detectar el origen de éste y a determinar cuál es el tratamiento más adecuado.

Una herramienta que aún tiene utilidad clínica, a pesar de su antigüedad, es la escala analgésica propuesta ya hace tiempo por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el tratamiento del dolor. De menor a mayor, en ella se indica el tratamiento farmacológico con base en la intensidad y tipo de dolor que

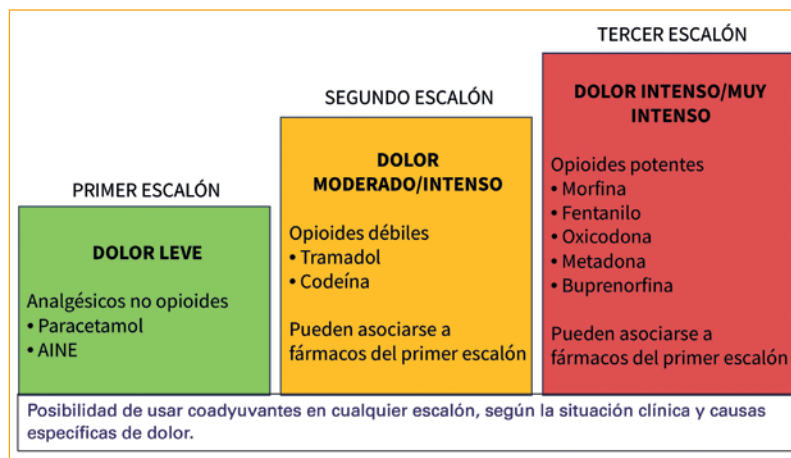


Figura 1. Escala analgésica de la oms. Gráfica elaborada por los autores.

se padece. En el primer escalón se encuentra el paracetamol y fármacos antiinflamatorios no esteroideos (AINE), le siguen los opioides “débiles”, y en el último escalón se añaden las técnicas invasivas y los opioides “potentes”. La meta principal consiste en aliviar el dolor en función del tiempo, origen e intensidad.

Papel del paracetamol en la escala analgésica

El paracetamol es muy efectivo para el dolor de leve a moderado, lo que da la posibilidad de aumentar la dosis y conseguir una respuesta favorable antes de tener que escalar analgésicamente, evitando así el uso indiscriminado de fármacos analgésicos del segundo o tercer escalón. Con el fin de evitar avances innecesarios en el uso de analgésicos, es necesario analizar la vida media, la biodisponibilidad y la duración del efecto de los fármacos prescritos, así como identificar adecuadamente la causa y el origen del dolor (Romero y cols., 2008).

¿Cómo actúa el paracetamol?

El paracetamol pertenece al grupo de medicamentos llamados AINE y, a diferencia de la gran mayoría de ellos, carece de actividad antiinflamatoria significativa. Cuando el cuerpo humano experimenta dolor o fiebre causados por inflamación, a nivel celular y tisular, se activan enzimas dentro de la célula que modulan dicha respuesta exacerbándola o atenuándola. Una de las más relevantes es la ciclooxigenasa (cox), que a su vez promueve la síntesis acelerada

de prostaglandinas y tromboxanos, mediadores celulares cuya concentración tisular tiene relación con la presencia de dolor, fiebre e inflamación. El paracetamol actúa inhibiendo la cox, principalmente la cox-2, en el cerebro y en la médula espinal, y así disminuye la síntesis de prostaglandinas y tromboxanos, dando como resultado propiedades analgésicas y antipiréticas. Las sustancias oxidantes, como los hidroperóxidos lipídicos, tienen un papel clave en la activación de estas enzimas. El paracetamol actúa como agente reductor, pero en un ambiente inflamatorio con niveles altos de estas sustancias oxidantes, su acción antiinflamatoria se ve limitada.

Se ha propuesto que el paracetamol también actúa sobre vías serotoninérgicas descendentes, el sistema cannabinoide endógeno o la modulación de los canales TRP –*transient receptor potential*, los cuales son proteínas que detectan señales y desencadenan respuestas como el dolor–, y de esta forma contribuye a potenciar su efecto analgésico. El paracetamol actúa también inactivando nociceptores periféricos, reduciendo así la sensación de dolor.

Por otro lado, la propiedad antipirética de este medicamento se logra por la inhibición de la síntesis de prostaglandinas, interleucinas y factor de necrosis tumoral a nivel del hipotálamo –el centro termorregulador del cerebro–, por medio de vasodilatación periférica, principalmente en las extremidades, por lo que ocurre una disipación del calor, aumento de la sudoración y por ende un control de la fiebre (Tornero y cols., 2021).

Duración del efecto del paracetamol

El paracetamol puede ser administrado por vía oral, intravenosa o rectal. Dependiendo de la vía que se utilice, variará el inicio del efecto terapéutico y su duración. Cuando es administrado de manera oral, se alcanza el efecto deseado en 30 minutos, en tanto

que se llega al efecto máximo en 1 hora y tiene una duración de 4 a 6 horas. En su administración rectal, se aplica con mayor frecuencia en pacientes pediátricos o en pacientes que no se encuentran conscientes y no existe una vía venosa permeable disponible. Cuando es administrado de esta manera, se alcanza el efecto máximo en 40 a 60 minutos y la duración es de 2 a 4 horas. Y es cuando se administra por vía intravenosa que el inicio del efecto analgésico se observa a los 5 a 10 minutos y alcanza su efecto máximo en 1 hora, con una duración de 4 a 6 horas.

¿En qué población no se recomienda su uso?

Como con toda sustancia ajena al organismo, los pacientes que toman paracetamol corren el riesgo de presentar hipersensibilidad al fármaco. Además, se debe administrar con precaución en pacientes con daño hepático preexistente producido por alguna infección, cirrosis, alcoholismo crónico, malnutrición crónica o deshidratación, ya que puede exacerbar el daño.

De igual forma, se recomienda precaución en pacientes con afección renal, debido a que el riñón es el segundo órgano donde ocurre su metabolismo y excreción. En el caso de anemia, uno de sus principales efectos adversos es la alteración de líneas celulares, como la disminución de plaquetas y leucocitos, por lo que se debe tener precaución y evitar su uso prolongado (Hernández-Pacheco, 2025).

Uso en el embarazo y con otros fármacos

Aunque su uso no está contraindicado durante el embarazo, no se recomienda la administración rutinaria. Si bien se han realizado múltiples estudios y no han reportado efectos negativos para el feto o la madre, no se ha garantizado su seguridad, por lo que su uso dependerá del criterio médico, puntualizando riesgos y beneficios.

De igual forma, se debe tener en cuenta que la asociación del paracetamol con algunos fármacos puede aumentar el riesgo de que se presenten efectos adversos; por ejemplo, su combinación con carbamazepina, que es un medicamento anticonvulsivo, puede aumentar su riesgo hepatotóxico. Combinado con el cloranfenicol, tiende a modificar sus niveles



en sangre. En pacientes que se encuentren en terapia con anticoagulantes no se recomienda ingerir más de 2 g de paracetamol al día, ya que aumenta el riesgo de sangrado y hemorragias.

Riesgos

¿Cuáles son sus efectos adversos más frecuentes?

En caso de hipersensibilidad al fármaco se ha reportado la presencia de alteraciones dermatológicas como ronchas, erupciones e hinchazón y, en casos graves, reacción anafiláctica, que es una reacción alérgica grave y rápida que puede causar dificultad para respirar. También se han reportado alteraciones a nivel celular: trombocitopenia (número bajo de plaquetas en la sangre) y leucopenia (número bajo de leucocitos en la sangre). Algunos efectos adversos más raros son la **hipotensión** y la **hipoglicemia**. Las alteraciones cuando hay intoxicación incluyen mareo, vómito, pérdida de apetito, ictericia y dolor abdominal. En caso de que se presente esta sintomatología se debe buscar atención médica inmediata (Hernández-Pacheco, 2025).

Conclusiones

El paracetamol es un medicamento de venta libre en México y uno de los más utilizados en este país, en Latinoamérica y en el mundo, debido a que

es el medicamento de primera línea utilizado para el tratamiento del dolor, el cual es una de las principales causas de consulta médica. Existen pocos medicamentos para el tratamiento del dolor que posean cualidades similares al paracetamol, por lo que seguirá dominando este segmento en la escala analgésica.

A pesar de que el paracetamol es un medicamento seguro y eficaz para el tratamiento del dolor en casi cualquier paciente, su uso desmedido e irracional puede conllevar intoxicaciones o efectos adversos. Fomentar la educación sobre el uso adecuado del paracetamol contribuye a un uso más informado y responsable del medicamento, lo que puede favorecer el bienestar general de la población. Ante todo, se recomienda acudir con algún profesional de la salud antes de la ingesta de algún medicamento sin prescripción.

Félix González-Alvarado

Facultad de Medicina, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
felix.glezalv@gmail.com

Valeria Reynoso-Ramírez

Facultad de Medicina, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
valerr@outlook.es

José Alfredo González-Ortiz

Facultad de Medicina, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
jose.gonzalezo@uaem.edu.mx

Hipotensión

Condición en la que la tensión arterial se encuentra por debajo de los valores normales. Se acompaña de síntomas como mareo, desmayos y alteraciones de la visión.

Hipoglicemia

Se define como la disminución anormal de los niveles de glucosa y se manifiesta con síntomas neurogénicos como temblor, sudoración, confusión y alteración del estado de conciencia.

Lecturas recomendadas

- Díaz-Herrera, J. M., L. P. Castellanos-Avendaño y J. R. Rodríguez-Buitrago (2021), "Intoxicación aguda por acetaminofén en atención primaria", *Revista Med*, 29(2):79-92.
- Plaghki, L., A. Mouraux y D. Le-Bars (2018), "Fisiología del dolor", *EMC - Kinesiterapia - Medicina Física*, 39(1):1-22.
- Tarazona Moya, E. M. (2022), *Caracterización de la automedicación del paracetamol en usuarios que asisten a la botica Roman del distrito de San Antonio—provincia de Huarochiri 2022*, Perú, Universidad Privada Norbert Wiener.

Referencias específicas

- Hernández Pacheco, A. G. (2025), *Intoxicación por paracetamol. Efectividad de la administración de N-Acetilcisteína en pacientes con intoxicación. Una revisión sistemática*, tesis de grado en Enfermería, Universidad de La Laguna.

- Przybyła, G. W., K. A. Szychowski y J. Gmiński (2020), "Paracetamol - An old drug with new mechanisms of action", *Clinical and Experimental Pharmacology Physiology*, 48(1):3-19.
- Romero, J., R. Gálvez y S. Ruiz (2008), "¿Se sostiene la Escalera Analgésica de la oms?", *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 15(1):1-4.
- Tornero Crespo, M. M., y A. Montero Matamala (2021), "Revisión del tratamiento farmacológico del dolor secundario a artrosis con paracetamol, antiinflamatorios no esteroideos clásicos (AINE) y los inhibidores selectivos de la ciclooxigenasa tipo 2 (COXIB)", *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 28:43-48.

David Andón García, Karla Aimee Patiño Santiago y Genaro Patiño López

Linfocitos T:

desarrollo, activación y funciones

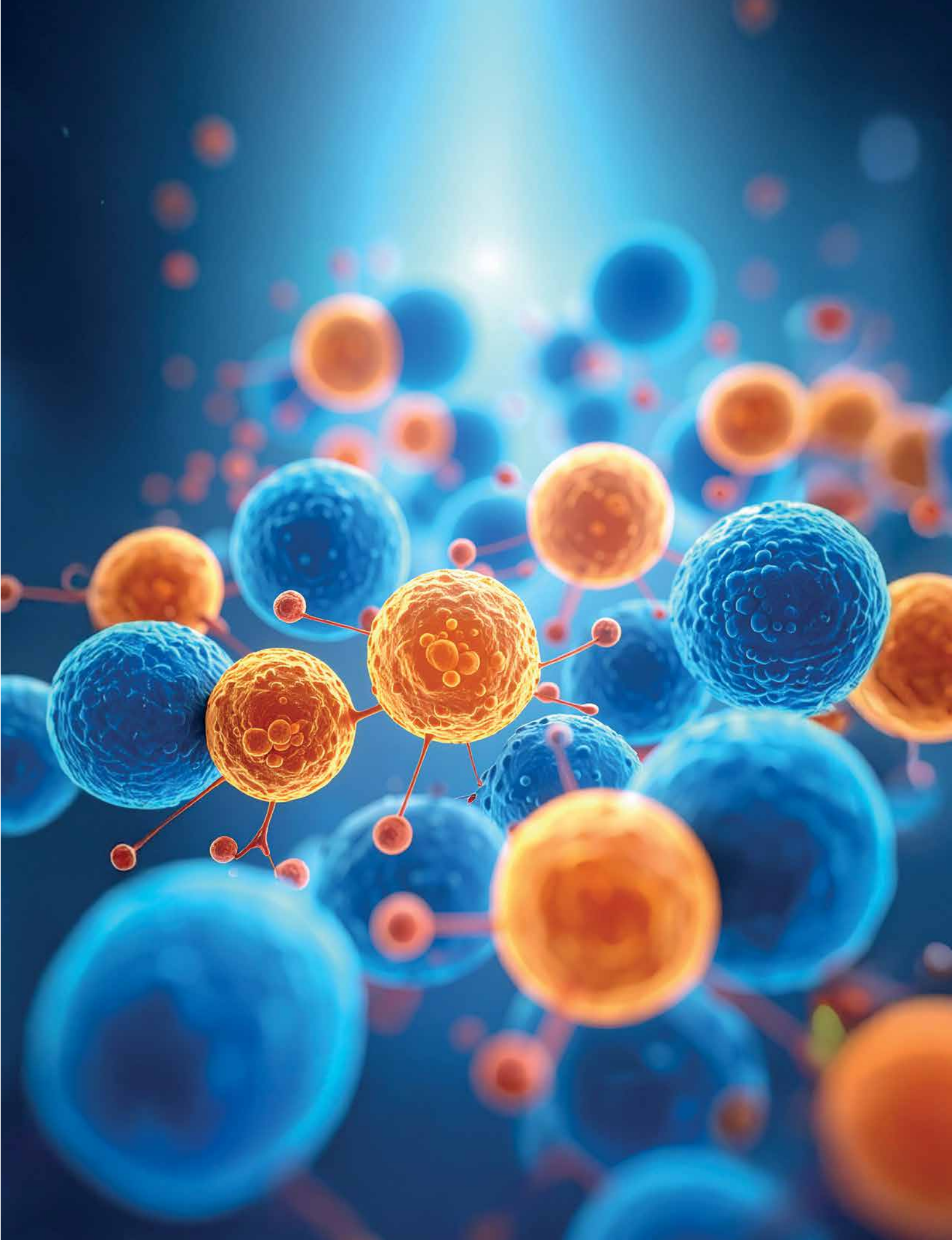
Nuestro sistema de defensa, también conocido como sistema inmune, se divide para su estudio en sistema inmune innato y adaptativo. Este último consta principalmente de linfocitos B y linfocitos T. En este artículo exploraremos algunos detalles de cómo crecen, qué hacen y cuáles son los tipos de linfocitos T.

Introducción

En el cuerpo humano existen mecanismos de defensa que nos protegen, nos mantienen sanos y evitan que enfermemos cuando comemos en la calle, asistimos a un concierto con mucha gente o cuando viajamos en el metro a la horas pico. ¿Te ha pasado que, en ocasiones, cuando estás cerca de personas que tienen gripa o tos, tú no te enfermas, o cuando comes en la calle con amigos ellos enferman y tú no? Eso es, en parte, gracias a tu sistema inmune. Éste se encarga de la defensa contra agentes dañinos que pueden ser ajenos a nuestro organismo (bacterias, hongos, virus) o propios (células cancerosas, células muertas o dañadas). Dependiendo del agente en cuestión, el organismo podrá llevar a cabo dos tipos de respuesta de defensa. La primera es llamada *respuesta inmune innata* y consta de un conjunto de barreras, células y moléculas que actúan contra cualquier agente patógeno reconociendo moléculas muy similares en éstos, como carbohidratos o ácidos nucleicos. Ahora bien, si el agente patógeno logra superar esta respuesta inmune, o anteriormente ya había atacado al organismo, se desarrollará la *respuesta inmune adaptativa*, la cual incluye a unas células llamadas linfocitos, entre los cuales se encuentra los linfocitos B y los linfocitos T. Es de este último tipo del que vamos a hablar aquí con más detalle. La principal característica de los linfocitos T es que cuentan con un receptor específico llamado receptor del linfocito T (TCR, del inglés: *T cell receptor*), el cual va a ser central en la respuesta inmune mediada por linfocitos T.

Desarrollo del linfocito T (selección positiva y negativa)

El linfocito T, como todas las células del sistema inmune, se origina en la médula ósea. Estrictamente hablando, ahí aún no es un linfocito T maduro, pues hace



**Reconocimiento
(fuerte o no muy fuerte)**

Una analogía para explicarlo es pensar que el timocito es el guardia de seguridad de una empresa que debe dejar pasar a quienes presenten la identificación de la empresa (reconoce el MHC), pero evitar la entrada de personas con credencial vencida (reconocimiento fuerte); también permite la entrada a personas con pase de visita (reconocimiento no muy fuerte).

Proteína de superficie

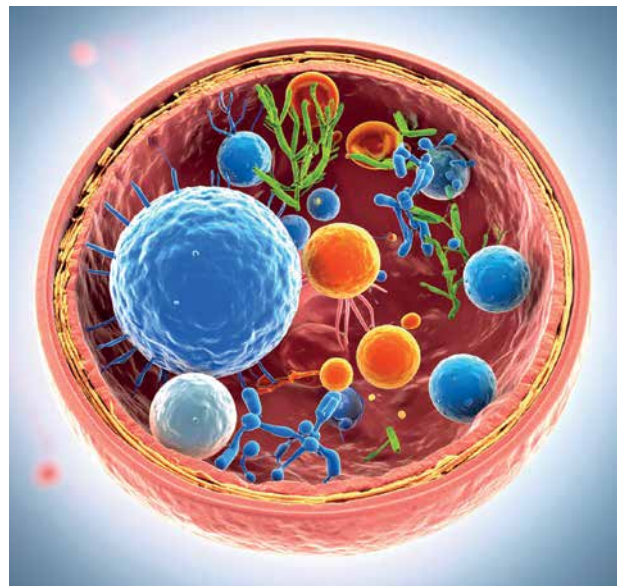
Una proteína de superficie es como una “bandera” o “antena” que está expuesta fuera de la célula. Sirve para que ésta se comunique con otras células, para reconocer el medio ambiente que la rodea y para recibir señales del exterior.

falta que atravesase por varios procesos de maduración —que en lenguaje científico se denominan diferenciación— y “educación” en otro órgano, llamado timo, en el cual los aspirantes a linfocitos T reciben el nombre de timocitos. Los precursores de linfocitos T recién llegados al timo se alojan entre la corteza y la médula tímica para comenzar formalmente su maduración. Uno de los primeros eventos para la maduración de los timocitos es que se empiezan a organizar los genes del receptor del linfocito T (TCR) hasta generar una combinación única entre millones de combinaciones posibles para que cada timocito exprese un TCR diferente. Al mismo tiempo, o incluso un poco antes, los timocitos muestran en su membrana unas proteínas llamadas CD4 y CD8 (CD, del inglés: *cluster of differentiation*). Éste es un sistema de nomenclatura que utilizan los inmunólogos para referir, de manera sistemática, a una **proteína** —principalmente **de superficie**— en cualquier parte del mundo, así que, aquí o en China, se alude siempre a la misma proteína cuando decimos CD4 o CD8. Finalmente, en las últimas fases de maduración algunos timocitos dejan de mostrar CD4 o CD8 y se quedan con una sola de estas proteínas, lo cual los vuelve únicos y diferenciables de otras células.

En inmunología y otras ciencias, al conjunto de proteínas presentes —o algunas ausentes— que se pueden detectar en las células se le conoce como fenotipo y esto define a los tipos de células en tu cuerpo. Por ejemplo, a los linfocitos que alcanzan su maduración completa se les conoce como linfocitos T CD4 o T CD8.

Los linfocitos T reconocen fragmentos de proteínas —conocidos como péptidos— sólo cuando son mostrados en la superficie de células presentadoras de antígeno (APC, del inglés: *antigen presenting cell*). Estas células presentadoras ingieren a los agentes dañinos —sean externos o internos—, los matan y rompen a las proteínas para generar péptidos; estos péptidos son mostrados en la superficie unidos a unas moléculas llamadas HLA (del inglés: *human leukocyte antigen*), de las cuales hay dos tipos: la clase 1 (HLA-I) y clase 2 (HLA-II). Este reconocimiento indica el inicio de la respuesta inmune mediada por los linfocitos T.

Durante la diferenciación de los timocitos, el **reconocimiento** de los péptidos mostrados por las células presentadoras del timo resulta en dos procesos, llamados *selección positiva* y *selección negativa*. Como resultado de estos procesos, se mantiene a todos los timocitos que reconocen no muy fuertemente a las moléculas del HLA y se eliminan todos aquellos que no las reconocen o lo hacen muy fuertemente (educación tímica). Con más detalle, encontramos que los timocitos en proceso de maduración tienen una etapa en donde no expresan CD4 ni CD8 (se les conoce como dobles negativos), después expresan tanto CD4 como CD8 (se les conoce como dobles positivos): CD4+CD8+; en esta etapa de dobles positivos ocurre la selección positiva en la corteza tímica, para lo cual los timocitos son expuestos a reconocer el HLA-I o HLA-II que presentan péptidos de moléculas propias, y sólo sobreviven los timocitos que reconocen a las moléculas del HLA y avanzan a ser células CD4+ o CD8+. Posteriormente, ocurre la selección negativa en la médula del timo; ahí los timocitos vuelven a ser expuestos al reconocimiento de HLA-I o HLA-II unido a péptidos propios, y si el timocito reconoce fuertemente dichos péptidos será eliminado; de lo contrario, saldrán del timo como linfocitos T CD4 o CD8 maduros. Este proceso es tan exigente que se calcula que más del 90 % de los timocitos que entran al timo son eliminados en el pro-



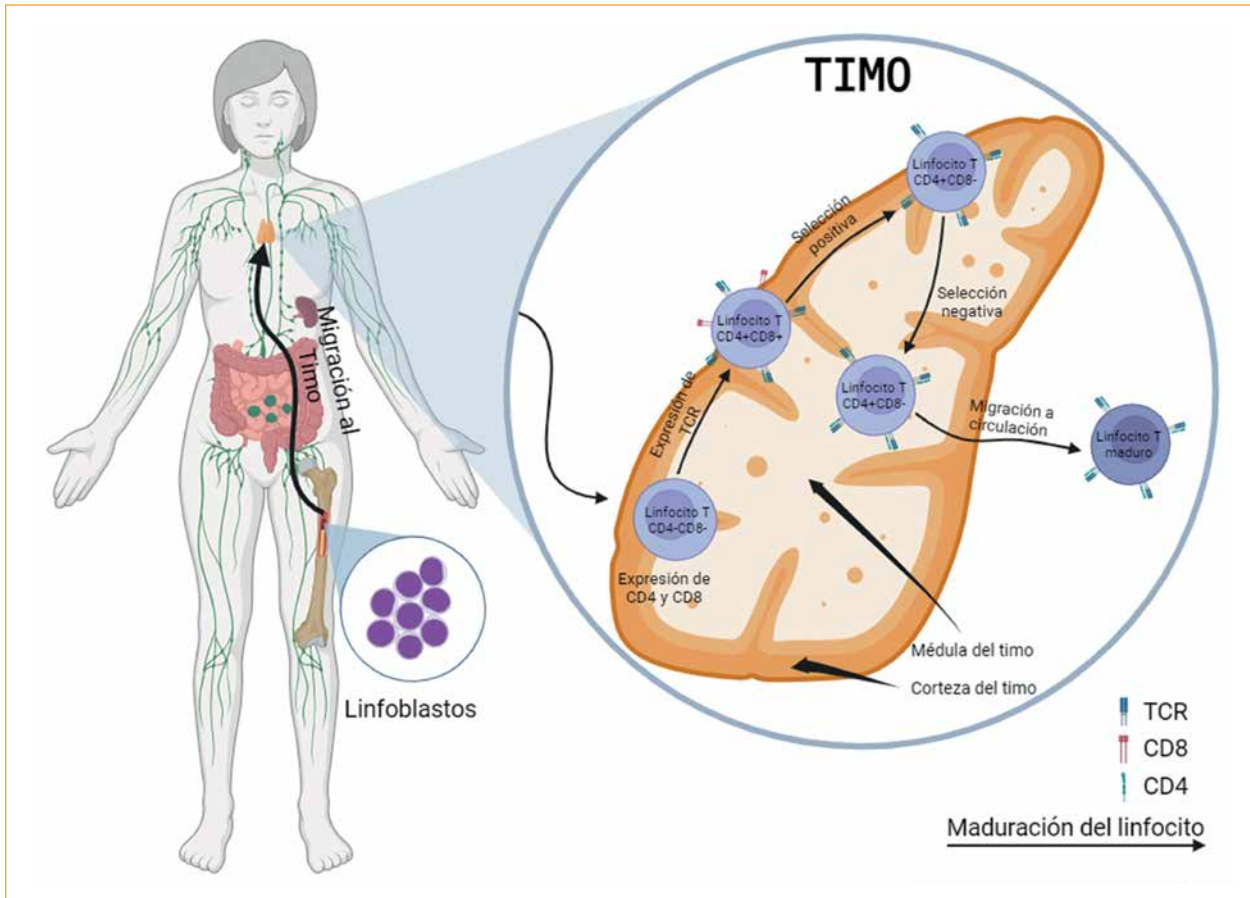


Figura 1. En la imagen se muestra la maduración de linfocitos T en el ser humano, ejemplificada por la salida a circulación de un linfocito T CD4. Imagen creada en BioRender.

ceso de selección (Figura 1). Existe una excepción: algunos timocitos en la selección negativa reconocen el HLA-II fuertemente, pero mediante algunos mecanismos adicionales y con la expresión de una proteína llamada CD25, son rescatados de la muerte y se convierten en linfocitos T reguladores (Treg).

■ Activación de linfocitos T

■ Los linfocitos T maduros salen a la circulación y viven “patrullando” todo el organismo, regresando constantemente a los órganos linfoides secundarios, como el bazo y los ganglios linfáticos. Un ejemplo de los ganglios más conocidos son las amígdalas. Cuando reconocen péptidos presentados por las APC en estos sitios, ocurre lo que conocemos como la activación del linfocito, que representa el inicio de la respuesta inmune mediada por linfocitos T (res-

puesta inmune adaptativa). En la activación de los linfocitos T, el reconocimiento de los péptidos en la membrana de la APC desencadena una serie de eventos dentro de la célula que se conocen como *cascadas de señalización*. En estas cascadas se amplifica la señal recibida y, como resultado, los linfocitos T ejercen sus funciones específicas. Los linfocitos T CD8 también son llamados linfocitos T citotóxicos (CTL, del inglés: *cytotoxic T lymphocyte*), mientras que a los linfocitos T CD4 también se les conoce como linfocitos T cooperadores (Th, del inglés: *T helper*); estos últimos, como resultado de su activación, se van a diferenciar de otros tipos como veremos adelante.

■ Linfocitos T CD8+

■ Los linfocitos T CD8 o T citotóxicos reconocen a células infectadas o células cancerosas e inducen

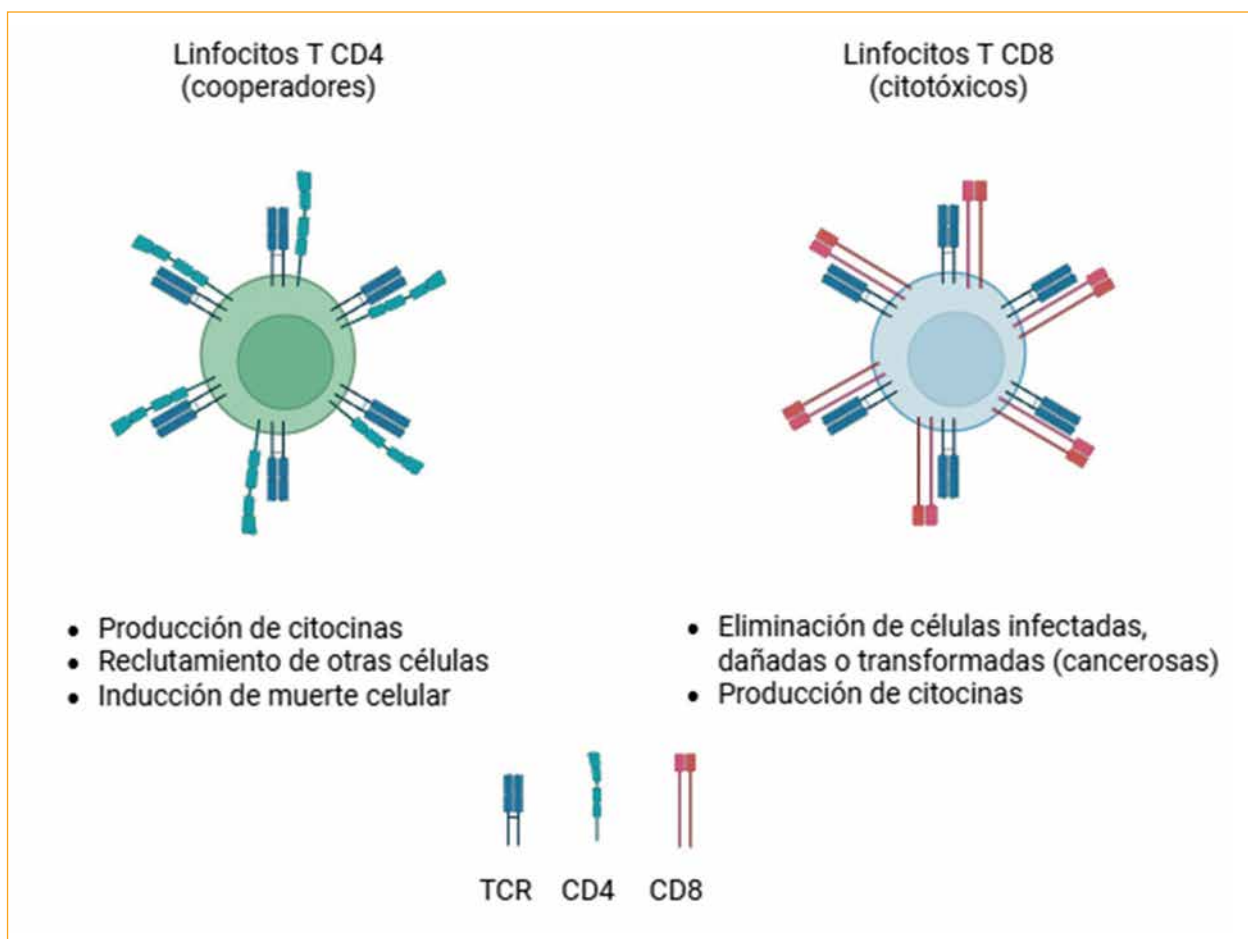


Figura 2. En la figura se muestran los principales tipos de linfocitos T, algunas de sus moléculas características y sus principales funciones. Imagen creada en BioRender.

rápida la muerte celular mediante tres mecanismos: expresión de citocinas, interacción con receptores que conducen a muerte y liberación de moléculas que perforan la membrana, resultando en la muerte de la célula infectada o cancerosa (célula blanco).

■ **Linfocitos T CD4+**

■ Los linfocitos T cooperadores participan en la eliminación de la infección a través del reclutamiento de otras células, o favoreciendo o aumentando la fuerza de otras respuestas. Estos linfocitos se clasifican en diferentes tipos denominados linfocitos Th1, Th2, Th17, así definidos por su fenotipo –expresión de moléculas de superficie– y por la producción de citocinas características. Las células Th1 secretan

interferón gamma, que es de gran ayuda contra virus por la activación de células citotóxicas y por la activación de linfocitos T CD8+. Las células Th2 secretan las citocinas IL-4,-5,-13 (interleucinas, por sus siglas: IL) que activan la eliminación de patógenos por anticuerpos y otras células del sistema inmune llamadas eosinófilos. Por otro lado, los linfocitos Th17 secretan IL-17 e IL-22, que participan en la respuesta contra bacterias extracelulares y hongos (Figura 2).

■ **Linfocitos T reguladores**

■ Este tipo de células forman un grupo particular de linfocitos, los TCD4+, cuyo objetivo principal es regular la intensidad de la respuesta inmune para impedir la aparición de enfermedades autoinmunes

y evitar respuestas inmunes exageradas ante los agentes patógenos que pudieran resultar en daño al organismo.

■ Conclusión

■ Si bien la respuesta inmune está constituida por todos los mecanismos de defensa de nuestro organismo, aquí hemos hablado de los linfocitos T como un acercamiento para la comprensión de algunos de los mecanismos que utiliza nuestro cuerpo para evitar las infecciones y enfermedades como el cáncer y las denominadas autoinmunes.

David Andón García

Laboratorio de Investigación en Inmunología y Proteómica,
Hospital Infantil de México, Federico Gómez.
davidandongarcia@gmail.com

Karla Aimee Patiño Santiago

Laboratorio de Investigación en Inmunología y Proteómica,
Hospital Infantil de México, Federico Gómez.
aimeesantiago1822@gmail.com

Genaro Patiño López

Laboratorio de Investigación en Inmunología y Proteómica,
Hospital Infantil de México, Federico Gómez.
gpatino@himfg.edu.mx

Referencias específicas

- Nomura, A. e I. Taniuchi (2020), "The role of CD8 downregulation during thymocyte Differentiation", *Trends in Immunology*, 41(11):972-981. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.IT.2020.09.006>>, consultado el 6 de agosto de 2025.
- Rock, K. L., E. Reits y J. Neefjes (2016), "Present Yourself! By MHC Class I and MHC Class II Molecules", *Trends in Immunology*, 37(11):724-737. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.it.2016.08.010>>, consultado el 6 de agosto de 2025.
- Shah, D. K. (2022), "Desarrollo de la célula T en el timo", trad. de Jesús Gil, *British Society for Immunology* [en línea]. Disponible en: <<https://www.immunology.org/es/public-information/inmunolog%C3%ADAbitesized/immune-development/desarrollo-de-la-celula-t-en-el-timo>>, consultado el 6 de agosto de 2025.
- Zhu, J. y W. E. Paul (2008), "CD4 T Cells: fates, functions, and faults", *Blood*, 112(5):1557-1569. Disponible en: <<https://doi.org/10.1182/BLOOD-2008-05-078154>>, consultado el 6 de agosto de 2025.

Ilse Fernanda Martínez Padilla y Mayra Cristina García Anaya

Una nueva terapia para la leucemia linfoblástica aguda

La leucemia linfoblástica aguda es el tipo de leucemia que más afecta a niños mexicanos, donde el subtipo de células B es la más frecuente. Recientemente, la ingeniería genética ha desarrollado una nueva forma de tratamiento denominada terapia con células CAR-T. Esta terapia —que modifica las células del sistema inmunitario para que sean capaces de combatir las células cancerosas— ha demostrado ser una herramienta eficaz para el tratamiento de la leucemia linfoblástica aguda de células B.

Leucemia linfoblástica aguda: el origen de un caos en la médula ósea

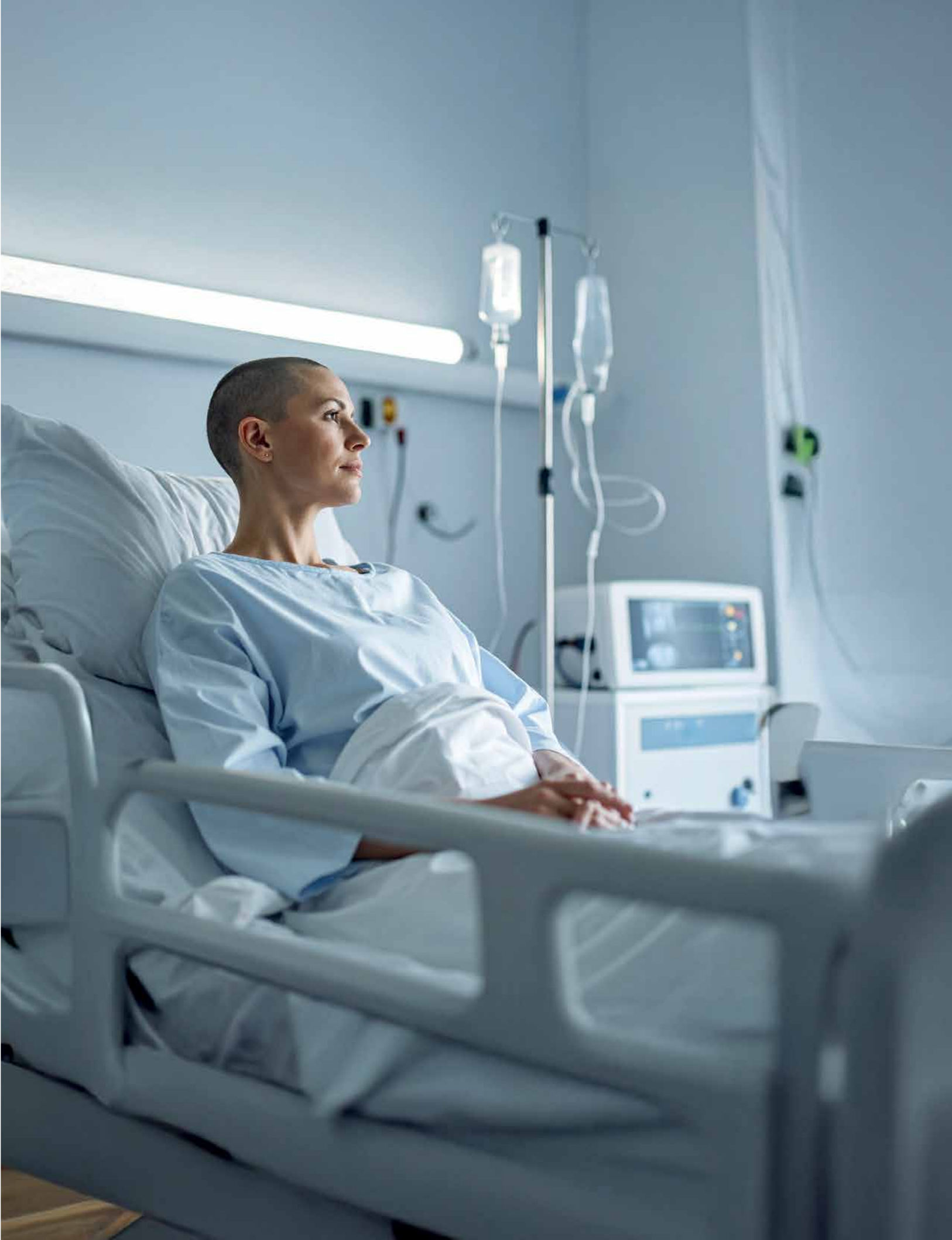
La leucemia linfoblástica aguda (LLA) es un tipo de cáncer de la sangre que comienza en la médula ósea, que es el lugar donde se fabrican las células sanguíneas (Figura 1). En este lugar se fabrican los glóbulos rojos (eritrocitos), que son como pequeños camiones repartidores encargados de transportar oxígeno desde los pulmones hacia todas las partes del cuerpo. En esta fábrica también se producen los glóbulos blancos (leucocitos), que actúan como un ejército de soldados al defendernos ante las enfermedades. Por último, tenemos la fabricación de plaquetas, que son los obreros de emergencia que nos ayudan a detener el sangrado cuando nos cortamos. Ahora bien, la LLA es una enfermedad que ocurre cuando esta fábrica empieza a funcionar mal. En lugar de producir células sanas y útiles, empieza a fabricar glóbulos blancos anormales, que no funcionan muy bien y crecen muy rápido. Esto deriva en una acumulación de células anormales en la médula ósea, lo que provoca un desplazamiento del lugar que ocupan las células sanas, incluidos los glóbulos rojos y las plaquetas. Como resultado, la persona es más propensa a infecciones, anemia y sangrados.

Pero, ¿qué origina la creación de glóbulos blancos anormales?

Todo comienza cuando las células madre hematopoyéticas sufren un cambio en su ADN, es decir, una mutación genética. Esta mutación impide que la célula madre, que próximamente se convertiría en leucocito, madure correctamente. En

Célula madre hematopoyética

Células madre especializadas que dan origen a otro tipo de célula sanguínea.



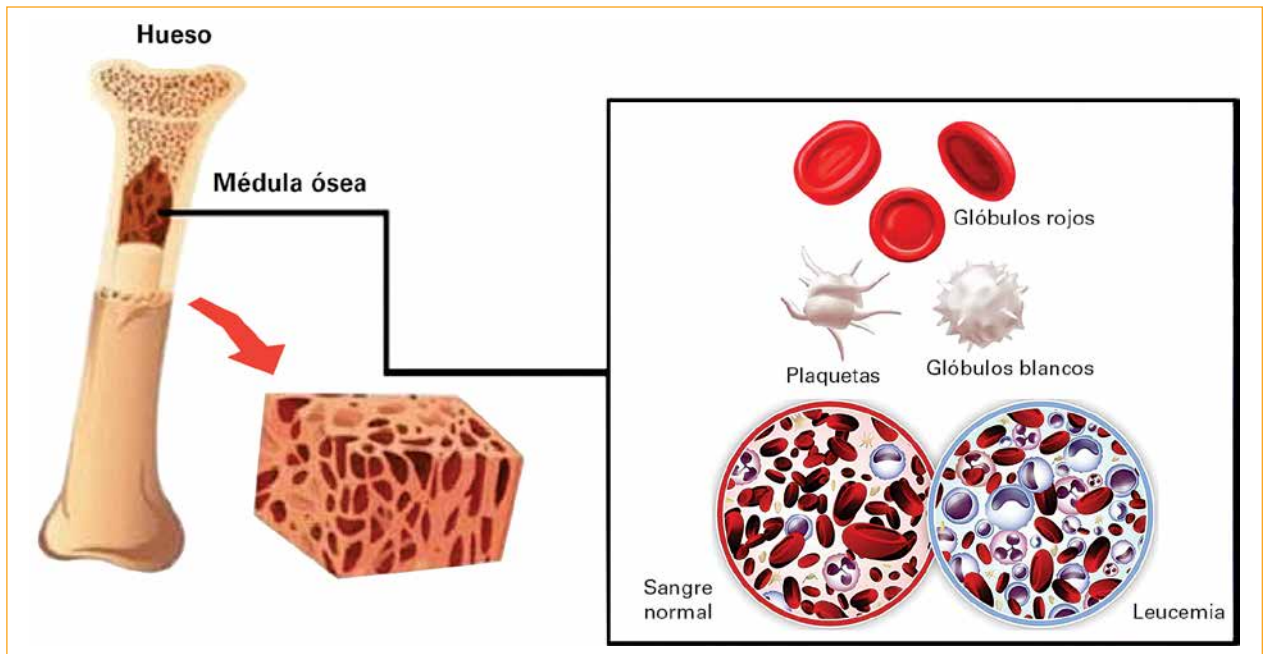


Figura 1. Leucemia linfoblástica aguda. De la fabricación de células sanguíneas a un caos en la médula ósea.

Linfoblasto
Células que dan lugar a los linfocitos.

lugar de convertirse en una célula funcional, se queda en un estado inmaduro (**linfoblasto**), pero sigue dividiéndose sin control. Así pues, estos linfoblastos anormales no maduran como deberían, y por lo tanto no funcionan bien para defendernos. Además, estos linfoblastos inmaduros pueden pasar a la sangre y desde ahí pueden invadir otros órganos.

■ **Pero, ¿cómo el cáncer hackea las defensas del cuerpo?**

■ El sistema inmunológico es un sistema de defensa que está en nuestro organismo y que lleva un registro de todas las sustancias o agentes extraños que entran en él. Cuando esto sucede, el sistema enciende una alarma, provocando que las células de defensa, denominadas leucocitos T y B, circulen por todo el organismo y ataquen al agente extraño. Así pues, puede surgir el siguiente razonamiento: si el cáncer genera células extrañas, ¿cómo es posible que nuestro sistema inmune no pueda combatirlos? La razón es muy sencilla: estas células malignas o extrañas en nuestro organismo generan mecanismos de escape para evadir o bloquear al sistema inmune. Esto les da la capacidad a las células extrañas de crecer y mul-

tiplicarse de una manera totalmente descontrolada, dando origen al cáncer (Ariza y cols., 2019).

■ **El enigma del linfoblasto en la leucemia linfoblástica aguda**

■ En condiciones normales, los linfoblastos pueden convertirse en los dos tipos principales de células del sistema inmune. En primer lugar, las células B, que actúan como detectives al producir anticuerpos que ayudan a reconocer intrusos en el organismo, como bacterias y virus. El segundo tipo son las células T, las cuales actúan como soldados atacando directamente al enemigo. En la LLA, los médicos pueden determinar en qué tipo de célula se iban a convertir los linfoblastos. Si son tipo B, se llama LLA de células B (LLA-B), pero si resultan tipo T, se llama LLA de células T (LLA-T). La determinación del tipo de leucemia es muy importante, ya que en función de esto se elige el tratamiento más adecuado.

■ **LLA-B: un enemigo silencioso**

■ La LLA es el subtipo de leucemia más frecuente en niños mexicanos, entre quienes la LLA-B se presen-

ta con frecuencias de hasta el 88.7 %, seguida del subtipo de células T (7.0 %) (Flores-Lujano y cols., 2022). Estas cifras indican que la LLA-B representa un reto significativo para México, especialmente en casos de recaída o resistencia a tratamientos convencionales pues, aunque la quimioterapia y el trasplante de médula ósea han mejorado la tasa de supervivencia, muchos pacientes no logran una remisión duradera (Tabla 1). Sidhu y colaboradores (2024) han reportado que del 10 al 15 % de los pacientes con LLA tratada sufren una recaída, haciendo que la reincidencia de la LLA resulte en una de las principales causas de muerte por cáncer infantil. Y ahora te preguntará: ¿en qué consiste una recaída o una resistencia al tratamiento? Pues bien, una recaída ocurre cuando las células leucémicas que sobrevivieron al tratamiento inicial comienzan a crecer nuevamente. Su detección puede presentarse en la médula ósea u otros órganos del cuerpo. Se considera que estas células son, en la mayoría de los casos, más resistentes a los tratamientos utilizados previamente. La LLA resistente, también denominada LLA refractaria, es una forma de la enfermedad que no responde al tratamiento estándar desde el principio, o bien no

se logra la remisión luego de varias fases de quimioterapia. Es decir, las células leucémicas persisten a pesar de los esfuerzos terapéuticos. Ambas situaciones representan un reto clínico que suele requerir estrategias terapéuticas más avanzadas. Es por ello que en los últimos años se ha planteado el desarrollo de terapias innovadoras, como la terapia con células CAR-T.

¿Qué es la terapia con células CAR-T?

La terapia con células CAR-T es un tratamiento especial que usa las propias células del sistema inmunológico del paciente para atacar y destruir el cáncer. Esta terapia ha surgido como parte de la ingeniería genética y lo que busca es extraer las células T del paciente, las que, recordemos, son los soldados de nuestro sistema inmunológico. Una vez que se extraen estas células, la idea es reproducirlas en el laboratorio para modificarlas. Para que te des una idea, es como si estuvieran en un entrenamiento especial para que reconozcan y ataquen a los glóbulos blancos anormales. Para ello, los especialistas les colocan un receptor especial denominado receptor

Tabla 1. Estudios sobre recaídas de leucemia linfoblástica aguda asociadas con fallos en el tratamiento.

Participantes	Tipo de tratamiento	Tasa de recaída	Estudio	País
Seguimiento a 341 niños con LLA por 7 años.	Quimioterapia	Entre los 69 casos de niños en los que fracasó el tratamiento, el 80 % fue por recaída.	"Factors associated with prognosis and treatment failure in children with acute lymphoblastic leukemia"	China
Seguimiento a 400 pacientes con LLA durante 10 años.	Quimioterapia	La tasa de fracaso del tratamiento fue del 38 %, incluyendo 122 recaídas (80.3 %).	"The factors related to treatment failure in children with acute lymphoblastic leukemia"	China
Seguimiento a 852 niños diagnosticados con LLA durante 53 meses.	Quimioterapia	146 recaídas.	"Survival and prognostic factors for relapsed childhood acute lymphoblastic leukemia after treatment with the Chinese children's cancer group ALL-2015 protocol: a single center results"	China
Seguimiento a 124 pacientes con LLA durante 8 años.	Trasplante de médula ósea	Un 20 % de recaídas en pacientes con injertos de donantes humanos compatibles; 24 % de recaídas en pacientes con donantes no emparentados compatibles, y 47 % de recaídas en pacientes con donantes haploidénticos.	"Current allogeneic hematopoietic stem cell transplantation for pediatric acute lymphocytic leukemia: success, failure and future perspectives: A single-center experience, 2008 to 2016"	Estados Unidos

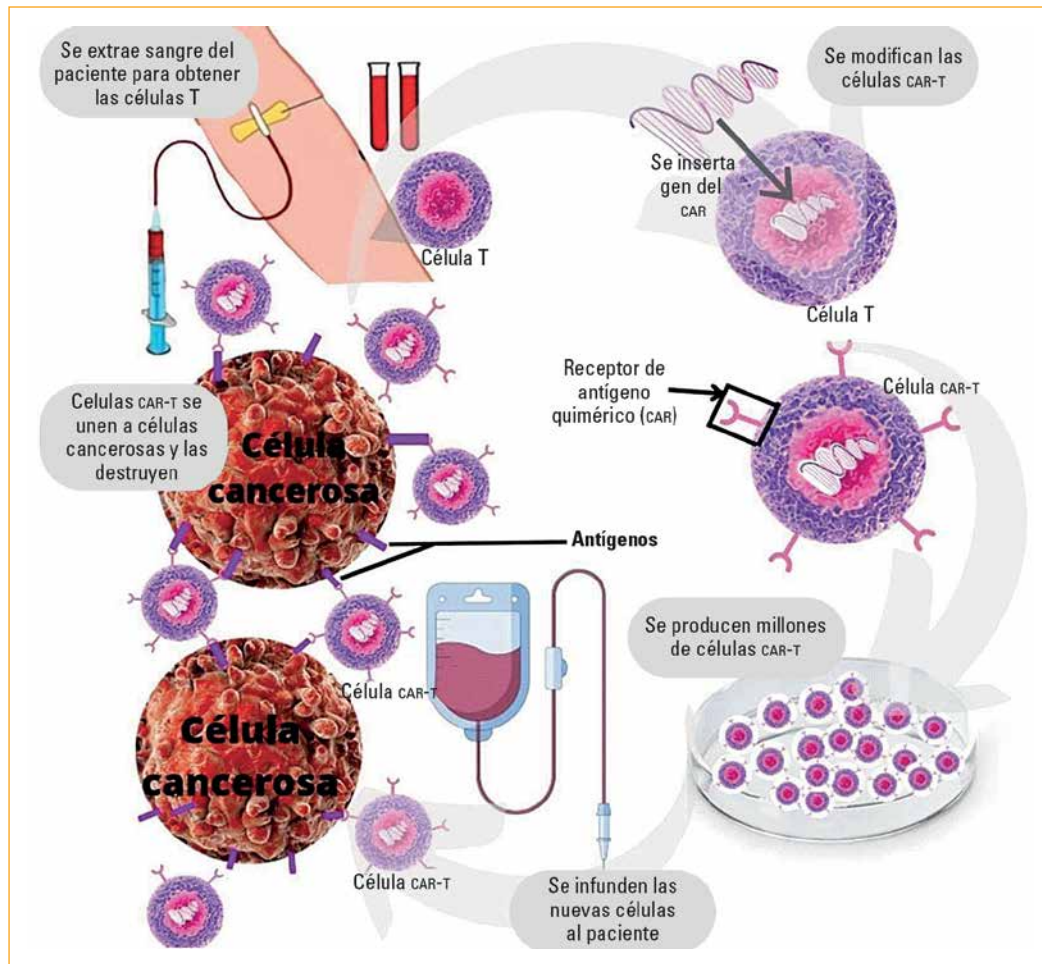


Figura 2. Implementación de la terapia de células CAR-T.

de antígeno quimérico (CAR, por sus siglas en inglés), que básicamente es como si fueran unos lentes mágicos que permiten ver al enemigo. Posteriormente, estas células modificadas –ahora llamadas células CAR-T– se multiplican y son devueltas al paciente por medio de una infusión para que puedan ejercer su acción (Figura 2) (Ariza y cols., 2019; Burgatela, 2022; American Cancer Society, 2022).

■ ¡A combatir el cáncer!

■ Una vez dentro del cuerpo del paciente, esas células CAR-T buscan y destruyen a las células leucémicas, que tienen una marca especial; es como si en su superficie llevaran una especie de banderas que las delatan. Estas banderas son antígenos específicos de las células B, denominados CD19, CD20 y CD22

(Testa y cols., 2024). Así pues, el objetivo primordial de esta terapia es reforzar la capacidad natural de las células T para atacar a las células cancerígenas. La adición de CAR a las células T hace que se vuelvan más específicas, aumentando su capacidad para reconocer las células leucémicas por medio de los antígenos (Burgatela, 2022; American Cancer Society, 2022). Este reconocimiento provoca un contacto entre ambas células y genera una respuesta inmune que provoca la destrucción de las células cancerígenas (Burgatela, 2022; Ariza y cols., 2019).

■ La revolución inmunológica en la aplicación de células CAR-T

■ En el año 2017, la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA, por sus

siglas en inglés) aprobó el uso de esta terapia en adultos y niños, convirtiéndose en la primera terapia de modificación genética celular aprobada por esa entidad (Vergara y cols., 2021; Gómez de León y cols., 2022). Desde su aprobación, esta terapia ha revolucionado el tratamiento de la LLA-B, especialmente en pacientes con LLA-B refractaria o en recaída, logrando aumentar las tasas de remisión (Testa y cols., 2024). La aplicación de la terapia con células CAR-T todavía enfrenta algunos retos; entre ellos, la presencia de recaídas tras una respuesta inicial exitosa. Este fenómeno se debe principalmente a un sistema de defensa por parte de la célula leucémica que provoca la pérdida o la modificación del antígeno CD19, el cual ha sido el objetivo principal de la terapia. Pero, ¿qué significa esto? Que la terapia CAR-T dirigida a un único antígeno no logra mantener una remisión a largo plazo. Por esta razón, las investigaciones en

los últimos años se han dirigido a desarrollar células CAR-T con capacidad de detectar nuevos objetivos antigénicos (CD20, CD22), así como también células CAR-T que reconozcan múltiples antígenos; es decir, en combinaciones (CD19/CD22, CD19/CD20). La ventaja de estas combinaciones es que si las células leucémicas pierden uno de los antígenos de reconocimiento (por ejemplo, CD19), las células CAR-T aún seguirían atacando las células mediante los otros dos objetivos (CD20 y CD22). Esto reduce el riesgo de una recaída por “escape antigénico”, lo que mejora su eficacia. Esta estrategia ha logrado aumentar las tasas de remisión hasta en un 80 % (Tabla 2).

Al igual que otras terapias, la terapia de células CAR-T puede tener ciertos efectos adversos, incluidos el síndrome de liberación de citosinas, el cual causa fiebre alta, escalofríos, dificultad para respirar, náu-

Tabla 2. Aplicaciones de la terapia de células CAR-T en pacientes con LLA-B refractaria o en recaída.

Estudio	Antígeno diana de la terapia CAR-T	Población	Eficacia	País
“Sequential CD19-and CD22-CAR-T cell therapies for relapsed B-cell acute lymphoblastic leukemia after allogeneic hematopoietic stem cell transplantation”	CD19 y CD22 secuencial	24 pacientes con LLA-B en recaída con trasplante de médula ósea.	Un 83.3 % de remisión completa.	China
“Long-term follow-up of CD19 chimeric antigen receptor T-cell therapy for relapsed/refractory acute lymphoblastic leukemia after allogeneic hematopoietic stem cell transplantation”	CD19	34 pacientes con reincidencia de LLA-B tras un trasplante de médula ósea.	Un 85.7 % de remisión completa a los 25 días. Sin embargo, después de 20 meses se observó recaída en 17 pacientes.	China
“Bispecific CAR-T cells targeting both CD19 and CD22 for therapy of adults with relapsed or refractory B-cell acute lymphoblastic leukemia”	CD19/CD22	6 pacientes con LLA-B en recaída tras quimioterapia.	Un 100 % de remisión completa.	China
“CAR-T cells with dual targeting of CD19 and CD22 in pediatric and young adult patients with relapsed or refractory B-cell acute lymphoblastic leukemia: a phase 1 trial”	CD19/CD22	15 con LLA-B en recaída o refractaria con terapias previas (trasplante, terapia CAR-T, Blinotumomab, o Inotuzumab).	El 86 % de remisión completa después de 1 mes.	Reino Unido
“CAR-T cells with dual targeting of CD19 and CD22 in adult patients with recurrent or refractory B-cell malignancies: a phase 1 trial”	CD19/CD22	17 pacientes con LLA-B en recaída o refractaria con terapias previas (trasplante, blinotumomab, o inotuzumab).	El 82 % de remisión completa en un mes y 88 % de remisión completa en 6 meses.	Estados Unidos
“CD19-specific CAR-T cell treatment of 115 children and young adults with acute B lymphoblastic leukemia: long-term follow-up”	CD19	115 pacientes con LLA-B en recaída o refractaria.	El 96.5 % de remisión completa después de un mes.	China

seas, vómito, diarrea intensa, mareo, dolor de cabeza, taquicardia, cansancio en exceso, dolor muscular o articular. Asimismo, se ha informado sobre pacientes con toxicidad neurológica que provoca problemas en el sistema nervioso, como dolor de cabeza, cambios de conciencia, confusión, convulsiones, temblores, dificultad en el habla y comprensión, o pérdida de equilibrio (American Cancer Society, 2022; Ariza y cols., 2019). Por este motivo se están investigando nuevas estrategias para predecir, prevenir y manejar los efectos adversos, de modo que haya una administración más segura (Safarzadeh Kozani y cols., 2021).

Otras de sus limitaciones son su difícil accesibilidad, su elevado costo y el tiempo necesario para la preparación de las células, como mínimo de dos semanas (Gómez de León y cols., 2022). Para mitigar esto, la investigación actual se está enfocando en el desarrollo de células CAR-T alogénicas (de donantes sanos), para así reducir costos y mejorar los tiempos de tratamiento (Del Bufalo y cols., 2023; Testa y cols., 2024).

Pese a sus limitaciones, el avance de la tecnología está permitiendo el uso y la aprobación de terapias innovadoras, como la terapia de células CAR-T, para el tratamiento de la LLA-B refractaria o en recaída. Como se observó, esta terapia tiene muchos beneficios. Entre ellos, su corta duración de tratamiento, su elevada tasa de efectividad, el que es una terapia poco invasiva y con efectos secundarios mínimos; por ello, resulta ser una terapia con buenas expectativas.

Ilse Fernanda Martínez Padilla

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
al217241@alumnos.uacj.mx

Mayra Cristina García Anaya

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
mayra.garcia@uacj.mx



Referencias específicas

- Ariza, P., K. D. Epieyú, M. Macías y L. Carranza (2019), “Inmunoterapia de células T con CAR para el tratamiento del cáncer”, *Revista Mente Joven* [en línea]. Disponible en: https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/mente_joven/article/view/7552, consultado el 28 de julio de 2025.
- Burgaleta Alonso, C. (2022), “Vista de Visión actual de la terapia con células CAR-T”, *RIECS*, Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad de Alcalá. Disponible en: <https://www.riecs.es/index.php/riecs/article/view/312/397>, consultado el 28 de julio de 2025.
- Flores-Lujano, J., D. A. Duarte-Rodríguez, E. Jiménez-Hernández, J. A. Martín-Trejo, A. Allende-López et al. (2022), “Persistently high incidence rates of childhood acute leukemias from 2010 to 2017 in Mexico City: A population study from the MIGICCL”, *Frontiers in Public Health*, 10:918921.
- Terapia de células CAR-T y sus efectos secundarios (2022, 1 marzo), *American Cancer Society*. Disponible en: <https://www.cancer.org/es/tratamiento/tratamientos-y-efectos-secundarios/tipos-de-tratamiento/inmunoterapia/terapia-de-celulas-t.html>, consultado el 28 de julio de 2025.
- Vergara, B., B. Herrero y L. Madero (2021), “Terapia CAR-T 19 en pacientes pediátricos con leucemia linfoblástica aguda refractaria o en recaída. Experiencia en el Hospital Infantil Universitario Niño Jesús”, *Anales RANM*, Real Academia Nacional de Medicina de España. Disponible en: https://analesranm.es/revista/2021/138_02/13802_rev07, consultado el 28 de julio de 2025.

Lecturas recomendadas

- American Cancer Society (2022), “Terapia con interferón para la leucemia mieloide crónica”, *American Cancer Society* [en línea]. Disponible en: <https://www.cancer.org/es/cancer/leucemia-mieloide-cronica/tratamiento/terapia-con-interferon.html>, consultado el 28 de julio de 2025.
- Del Bufalo, F., M. Becilli, C. Rosignoli, B. de Angelis, M. Algeri et al. (2023), “Allogeneic, donor-derived, second-generation, CD19-directed CAR-T cells for the treatment of pediatric relapsed/refractory BCP-ALL”, *Blood. The Journal of the American Society of Hematology*, 142(2):146-157.
- Gómez de León, A., D. M. Alvarado, A. C. Rodríguez y E. U. Coronado (2022), “Perspectivas sobre la terapia CAR-T en México”, *Revista Mexicana de Medicina Transfusional*, 14. Disponible en: <https://www.mediagraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=107039>, consultado el 28 de julio de 2025.
- Safarzadeh Kozani, P., P. Safarzadeh Kozani y F. Rahbarizadeh (2021), “Optimizing the clinical impact of CAR-T cell therapy in B-cell acute lymphoblastic leukemia: looking back while moving forward”, *Frontiers in Immunology*, 12:765097.
- Sidhu, J., M. P. Gogoi, S. Krishnan y V. Saha (2024), “Relapsed acute lymphoblastic leukemia”, *Indian Journal of Pediatrics*, 91(2):158-167.
- Testa, U., S. Sica, E. Pelosi, G. Castelli y G. Leone (2024), “CAR-T cell therapy in B-cell acute lymphoblastic leukemia”, *Mediterranean Journal of Hematology and Infectious Diseases*, 16(1):e2024010.

Antonio López Jaimes y Alicia Montserrat Alvarado-González

Las emociones en la toma de decisiones

Antiguamente se consideraba que las emociones eran un obstáculo para tomar decisiones; sin embargo, actualmente sabemos que contribuyen a la solución de problemas complejos. Es decir, las emociones ayudan a tomar decisiones confiables, incluso sin que seamos conscientes de los pasos intermedios para llegar a ellas. La medición de las emociones permite aplicarlas para resolver problemas de toma de decisiones.

Introducción

Tomar una decisión entre varias alternativas es un problema que surge en distintos ámbitos de la vida. Por ejemplo, en situaciones cotidianas tenemos que elegir qué platillo queremos en un restaurante, qué zapatos comprarnos o qué hacer cuando estamos por caer. En estos casos, tenemos poco que analizar porque las respuestas marcadas por el instinto o la costumbre nos ayudan a decidir. No obstante, hay situaciones más complejas para tomar una decisión; por ejemplo, elegir qué carrera estudiar, cómo construir una casa o decidir si construimos un tren en una reserva natural. Este proceso de elección se llama toma de decisiones y se ha estudiado en disciplinas como la psicología, las neurociencias, la economía y la investigación de operaciones.

Un problema de decisión se vuelve difícil por las siguientes condiciones:

- El número de alternativas posibles puede ser elevado.
- Cada alternativa tiene ventajas y desventajas por considerar.
- Las consecuencias de cada alternativa no necesariamente son conocidas; es decir, debemos tener un mecanismo para predecir el resultado.

Uno de los primeros métodos propuestos para apoyar la toma de decisiones es el conocido como *álgebra moral*. En 1772, Benjamin Franklin le recomendó este método a su amigo Joseph Priestley ante una oferta laboral que implicaba dejar su empleo actual y mudarse a otro país. El método consistía en elaborar una tabla con dos columnas: una para listar las ventajas y otra para las desventajas de cada



opción. La decisión no se debía tomar inmediatamente, sino que se debía reflexionar unos tres días para sopesar cada uno de los elementos de las columnas y finalmente elegir.

Algo valioso del consejo de Franklin es que deja clara la dificultad de tener en mente todas las características de las alternativas. Esta dificultad puede explicarse por las limitaciones de la capacidad humana para retener información, como lo demostró el psicólogo George Miller, quien encontró que, en promedio, las personas pueden recordar siete elementos, algunas recuerdan dos más y otras dos menos.

■ **Las emociones en la toma de decisiones**

■ Ya en los siglos XVII y XVIII, filósofos como Descartes y Kant pensaban que para tomar la mejor decisión debemos usar solamente nuestra capacidad analítica, esmerándonos en dejar de lado cualquier emoción que afecte nuestro buen juicio. Es decir, la presencia de las emociones no solamente no era necesaria, sino que era considerada un elemento nocivo para llegar a una decisión racional. Este pensamiento ha ido permeando hasta aparecer en trabajos modernos que suponen que un tomador de decisiones analiza racionalmente todas las opciones posibles y elige aquella que maximiza el beneficio obtenido.

En contraste, a finales del siglo pasado, Antonio Damasio sugirió que las emociones son fundamenta-

les para tomar decisiones (Damasio, 1996). Uno de sus argumentos se basa en lo que llama la hipótesis del marcador somático. En ella, Damasio propone que las emociones alteran el estado corporal y que las sensaciones físicas nos ayudan a calificar nuestras decisiones como buenas o malas. También expone que las emociones no sustituyen el proceso racional, sino que lo complementan, ya que acotan la cantidad de opciones viables al descartar rápidamente aquellas que evocan emociones negativas. Se dio cuenta de que los daños en la corteza prefrontal generan deterioro en la capacidad de tomar decisiones. De hecho, encontró que, si la lesión de la corteza prefrontal ocurría en edades tempranas del desarrollo, los pacientes eran incapaces de aprender a incorporar sus reacciones emocionales a sus procesos de toma de decisiones, por lo que concluyó que las emociones contribuyen a la racionalidad, y viceversa, y que participan en la intuición. Es decir, mediante un proceso cognitivo muy rápido se puede llegar a una conclusión sin ser consciente de todos los pasos lógicos intermedios. La calidad de la intuición depende del razonamiento que se da a partir de experiencias anteriores al tomar una decisión, así como de la calificación subjetiva, en términos de éxito o fracaso, en relación con las emociones que precedieron y sucedieron a la toma de la decisión.

■ **Medición de las emociones**

■ Cada vez hay un mayor interés en la identificación de las emociones de las personas ante distintas situaciones o estímulos, ya que tienen un gran potencial de aplicación, mucho del cual tiene que ver con mejorar la experiencia del usuario en la interacción con sistemas de información y, en particular, para generar estrategias de mercado que ayuden a identificar sus preferencias.

Para poder identificar las emociones de las personas, se han desarrollado varias técnicas de evaluación que pueden agruparse en dos tipos: subjetivas y objetivas.

Las mediciones subjetivas se basan en la autoevaluación de las emociones mediante cuestionarios y están ligadas a dos tipos de modelos emocionales:



discretos y dimensionales. En los modelos discretos, todas las emociones pueden derivarse de un número limitado de emociones universales, básicas y complejas, que son de uso común en la vida cotidiana, como felicidad, ira o tristeza. Por otro lado, los modelos dimensionales parecen estar relacionados con los mecanismos neurofisiológicos responsables de la generación de emociones y, por lo tanto, pueden expresarse en valores continuos en términos de n -dimensiones. Por ejemplo, el modelo bidimensional más conocido es el modelo de emoción circunplejo, propuesto por Russell en 1980, cuyas dimensiones son la excitación y la valencia. En este caso, los rangos inicial y final de la dimensión de excitación son alerta-aburrimiento, mientras que los de la valencia son disgusto-felicidad. Sin embargo, hay quien plantea que el conjunto de dos dimensiones es insuficiente.

En sustitución de ellos, se han propuesto modelos tridimensionales, incluido uno basado en representaciones icónicas no verbales, conocido como *Self-Assessment Manikin* (SAM). En este método, los íconos se agrupan en tres dimensiones: placer (felicidad-infelicidad), excitación (emoción-aburrimiento) y dominancia (máximo control-mínimo control de la situación). Cada grupo tiene cinco figuras humanoideas cuyos gestos representan emociones asociadas a cada dimensión. Por ejemplo, la dimensión del placer tiene una figura sonriente en un extremo y los gestos del humanoide se van deformando de modo tal que van reflejando infelicidad (Figura 1). Una evolución de esta herramienta es el *Affective Slider*. Es equivalente al SAM, pero aprovecha las interfaces de usuario de última generación y las representacio-

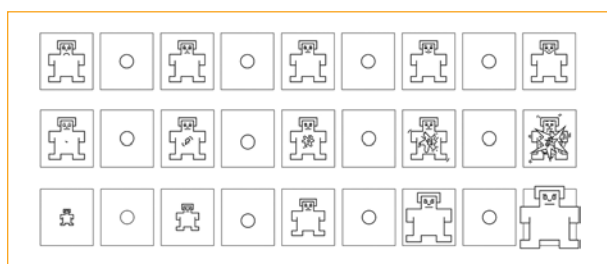


Figura 1. Instrumento del modelo *Self-Assessment Manikin* (SAM) para evaluar dimensiones de la emoción (adaptación del instrumento diseñado por Bradley y Lang).

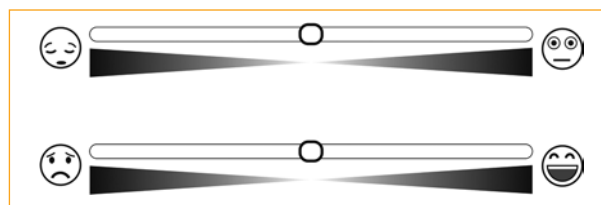


Figura 2. Escala *Affective Slider*. Crédito: Alberto Betella y Paul F. M. J. Verschure.

nes pictóricas basadas en principios de diseño modernos; está compuesta por dos controles deslizantes para la evaluación rápida del placer y la excitación (Figura 2).

En contraste, las mediciones objetivas son técnicas de evaluación y análisis basadas en las mediciones de varios parámetros del cuerpo humano, como la actividad eléctrica del cerebro, las medidas de resistencia de la piel, la frecuencia cardíaca y el análisis de la actividad muscular (Dzedzickis y cols., 2020). La respuesta del cerebro a diversos estímulos se analiza con la información temporal y espacial obtenida de las señales del electroencefalograma, así como en los rangos de frecuencia relacionados con varios estados emocionales. Por su parte, las medidas de resistencia de la piel (respuesta galvánica de la piel, GSR por sus siglas en inglés) se relacionan principalmente con los niveles de excitación, estrés, compromiso, frustración e ira; si éstos se incrementan, la conductancia de la piel también lo hace, mientras que los estímulos que llaman la atención conducen al aumento simultáneo de la frecuencia y magnitud de las GSR. Por lo tanto, éstas permiten no sólo reconocer las emociones, sino detectar automáticamente el proceso de toma de decisiones. Su principal inconveniente es la falta de información relacionada con el **nivel de valencia**. Por otro lado, la frecuencia cardíaca puede ser medida en tiempo real con las señales del electrocardiograma a través del complejo QRS. El QRS es un registro del movimiento de los impulsos eléctricos del corazón, que puede ser visualizado en un intervalo de tiempo como ondas y picos con características muy particulares que reflejan distintos estados emocionales.

Adicionalmente, las expresiones motoras, como la actividad facial o el análisis del movimiento corporal,

Nivel de valencia

La valencia se refiere a si la emoción es agradable (positiva) o desagradable (negativa).

pueden ser medidas con el electromiograma (EMG). El EMG es una técnica para evaluar y registrar el potencial eléctrico generado por los músculos. Se considera una buena técnica para detectar emociones debido a que varios grupos de músculos responden a ellas de manera diferenciada. Sin embargo, sólo se pueden detectar emociones fuertes; los cambios pequeños de valencia e intensidad de excitación no pueden ser detectados.

¿Cómo evocar emociones para tomar decisiones?

En uno de los estudios más completos en esta dirección, Wenstøp (2005) explora la relación entre las emociones y la racionalidad en el proceso de toma de decisiones. En ese trabajo, Wenstøp no solamente está de acuerdo con Damasio, sino que argumenta que el proceso de toma de decisiones se desarrolla dentro de un marco consecuencialista. Es decir, cuando necesitamos seleccionar una ruta de acción, el valor de cada acción se deriva del valor de sus consecuencias. Por ejemplo, si tuviéramos que diseñar una bicicleta, el valor de nuestra satisfacción no está relacionado con los materiales, sino con las consecuencias al elegir cada uno de los diseños. En otras palabras, si elegimos una bicicleta muy ligera, sabemos que podría ser grave si se rompiera mientras vamos manejando.

Una vez que tenemos un “pronóstico” de las consecuencias, una persona siente emociones al evaluar las posibles acciones que debería tomar, y después de ello, selecciona aquella que produce la mayor satisfacción. Por último, Wenstøp recomienda que un factor esencial para que las emociones tengan su papel en la toma de decisiones es proveer al usuario de escenarios realistas para que las consecuencias sean más vívidas.

Aplicaciones de las emociones en la toma de decisiones

Si bien se ha estudiado el uso de las emociones en varios ámbitos, en esta sección presentaremos algunas propuestas para utilizarlas en metodologías para tomar decisiones. Su y cols. (2022), por ejemplo,



Imagen generada por los autores con Midjourney.

propusieron un modelo que permite tomar decisiones de manera interactiva considerando la personalidad, el espacio emocional y los estados afectivos del usuario. En cada interacción, el modelo analiza el grado de satisfacción que le genera al usuario haber tomado una decisión; la satisfacción del usuario se obtiene a partir del reconocimiento visual de sus expresiones faciales. Este modelo es útil cuando se requiere resolver un problema optimizando varios objetivos al mismo tiempo, pero para llegar a la solución más adecuada para el tomador de decisiones, se requiere de su participación explícita. Así que, en cada interacción con él, el modelo aprende la relación entre su personalidad y sus estados afectivos para identificar sus preferencias. Normalmente, quienes interactúan con este tipo de modelos son expertos en el problema bajo análisis. Por lo tanto, ésta es una buena manera de obtener su conocimiento para poder incorporarlo en la solución de problemas de este tipo.

Para probar su modelo, seleccionaron dos casos típicos de control de procesos en los que los usuarios expertos debían ajustar los valores de los parámetros de los controladores. Como resultado, lograron un excelente rendimiento de control, bajaron el costo de los pasos interactivos y, sobre todo, disminuyeron la carga de trabajo de los expertos.

En otro caso, en Alvarado y López (2023), nos basamos en el análisis de emociones para diseñar una plataforma robótica cuya tarea era realizar un recorrido en una casa habitación para alcanzar un punto destino. En este problema, un experto tiene que elegir diferentes alternativas de robots para que un algoritmo de optimización mejore gradualmente el diseño hasta obtener el que mejor se adapte a sus necesidades. Un buen diseño de robot debe minimizar los siguientes criterios: i) el tiempo del recorrido del punto inicial al objetivo (por ejemplo, la mesa donde está la jarra con agua), ii) el riesgo del recorrido, que representa qué tan cerca pasa el robot de los obstáculos en su camino, y iii) la velocidad con la que el robot llega a la mesa.

El experto tiene a la mano los valores numéricos de cada diseño que tiene que elegir. Sin embargo, las emociones pueden facilitar su tarea; así que usamos una simulación realista para evocar las emociones del experto al ver las consecuencias del recorrido que realiza cada robot. Por ejemplo, si el usuario observa que el robot pasa muy cerca de un niño jugando, las emociones funcionan como una señal de alerta para darle sentido al valor numérico del riesgo. Es decir, puede evocar una valencia negativa. De manera similar, para el tiempo, un grupo de usuarios respondió que los robots que se movían lento les provocaban aburrimiento, mientras que los robots que avanzaban muy rápido provocaban desconfianza. En este experimento usaron un esquema de autoevaluación para registrar las emociones usando la herramienta de *Affective Slider* (Figura 2).

Conclusiones

En este artículo hicimos una revisión de la importancia de las emociones en la toma de decisiones. Además, presentamos estudios que muestran que las emociones no son un obstáculo para tomar decisiones correctas, sino que contribuyen a tomar decisiones racionales. Finalmente, presentamos algunas aplicaciones en donde se utilizan métodos de

mediciones subjetivas y objetivas para identificar emociones y analizamos cómo afectan en el proceso de la toma de decisiones. De estos esfuerzos por usar las emociones podemos concluir que es factible extraer información emocional de una persona para conducir la búsqueda y obtener una solución satisfactoria para el tomador de decisiones. Sin embargo, aún quedan varios caminos de investigación que deben ser explorados. Por ejemplo, se podría utilizar la información emocional directamente si tuviéramos un modelo de preferencias que tome directamente como parámetros la valencia y la excitación. También está pendiente construir un modelo que imite las preferencias del tomador de decisiones para sustituirlo parcial o completamente en un esquema interactivo de toma de decisiones.

Antonio López Jaimes

UAM Cuajimalpa.

alopez@cua.uam.mx

Alicia Montserrat Alvarado-González

UAM Cuajimalpa.

aalvarado@cua.uam.mx

Lecturas recomendadas

Alvarado-González, M. y A. López Jaimes (2023), "Emotion-based preference elicitation framework", SSRN [en línea]. Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4020099>>, consultado el 13 de julio de 2025.

Damasio, A. R. (1996), *El error de Descartes*, Barcelona, Andrés Bello.

Dzedzickis, A., A. Kaklauskas y V. Bucinskas (2020), "Human emotion recognition: Review of sensors and methods", *Sensors*, 20(3):592.

Su, C., X. Ma, J. Lv, T. Tu y H. Li (2022), "A multi-layer affective computing model with evolutionary strategies reflecting decision-makers preferences in process control", *ISA Transactions*, 128:565-578.

Wenstøp, F. (2005), "Mindsets, rationality and emotion in multi-criteria decision analysis", *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 13(4):161-172.

De actualidad

Desde la UAM

Noticias de la AMC



José de Jesús Serralta Macías y Juan Carlos Tapia Picazo

Tejiendo el futuro: nanotecnología en la industria textil

El objetivo de este artículo es ofrecer a los lectores una visión general de cómo el tamaño, la geometría y la composición química de los materiales influyen en el rendimiento y las propiedades de los diversos productos que utilizamos en nuestra vida cotidiana, como pueden ser los textiles. El fascinante mundo de los nanomateriales ha revolucionado industrias enteras, como la aeroespacial, energética, de tecnologías de la información y la medicina. La industria textil no es la excepción, pues representa un sector económico crucial en muchos países, incluido México.

Historia de los textiles

La industria textil, cuyo nombre proviene del latín *texere*, que significa “tejer”, originalmente se centraba en la creación de telas a partir de fibras naturales, principalmente para la confección de vestimenta. Hoy en día, abarca una amplia gama de procesos y aplicaciones, incluidos el *tufting* y los no tejidos que se utilizan en mercados como el de la filtración de aire y agua, salud y medicina, higiene personal, construcción, agricultura, moda y textiles para el hogar.

Desde sus comienzos, los textiles han experimentado numerosas transformaciones y revoluciones. El arte de hilar fibras de lino se desarrolló alrededor del año 3400 a. C. en Egipto, y fue adoptado por los pueblos mesopotámicos como un material textil principal. La seda, obtenida del gusano de seda, fue descubierta en China hacia el 5600 a. C., aunque el desarrollo de la sericultura y el hilado de la seda comenzó alrededor del 2640 a. C. Posteriormente, el algodón, que sigue siendo uno de los textiles más comunes y utilizados en la actualidad, empezó a ser cultivado. Los mesopotámicos también comenzaron a emplear la lana obtenida de ovejas.

Durante la Revolución Industrial (1760-1840), las fibras naturales como el algodón, combinadas con la introducción de maquinaria y grandes plantaciones, permitieron innovaciones significativas en la manufactura de tejidos e hilados. Aunque la producción textil tiene una historia que se remonta a miles de años, la industria textil moderna se consolidó en el siglo XVIII con la adopción de tecnologías mecánicas durante este periodo.

En 1884 se desarrolló la primera fibra artificial, el rayón, conocida inicialmente como seda artificial. Luego, en 1923, se comenzó a producir industrialmente el acetato de celulosa. En 1931, el químico estadounidense Wallace Carothers, de la compañía DuPont, descubrió polímeros, moléculas gigantes que dieron origen a materiales sintéticos como el *nylon*, el acrílico y el poliéster. Esto llevó a la creación de fibras sintéticas más duraderas y resistentes a químicos, lo que dio lugar a una nueva gama de tecnologías y productos.

En las últimas décadas, el desarrollo de nanomateriales ha transformado radicalmente la industria textil, permitiendo la creación de tejidos con propiedades asombrosas que impactan desde la ropa de uso diario hasta los textiles más especializados. La integración de nanopartículas en las fibras textiles ha dado lugar a innovaciones que antes parecían sacadas de la ciencia ficción.

Nanociencia y nanotecnología

La nanociencia es un campo interdisciplinario que combina física, ciencia de materiales y biología, enfocándose en la manipulación de la materia a escala nanométrica ($1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$). Por otro lado, la nanotecnología se refiere a los métodos y técnicas utilizadas para observar, medir, manipular, ensamblar, controlar y fabricar materiales a esta escala (Bayda y cols., 2020).

Las partículas pueden clasificarse de acuerdo con su tamaño mediante el uso de prefijos, como “micro-” en el caso de los referidos a una micropartícula y “nano-” en el de las nanopartículas. En la **Tabla 1** se definen los diferentes prefijos y conversiones para las unidades de longitud.

Las micropartículas, que se encuentran en una escala de tamaño micrométrico (de 1 a 100 micrómetros), son visibles sólo con la ayuda de microscopios ópticos. A esta escala, es posible encontrar microorganismos como ácaros, hongos microscópicos y bacterias. Las fibras textiles individuales, con un diámetro típico de alrededor de 20 micrómetros, también se sitúan en esta categoría. Sin embargo, al hablar de nanopartículas, nos adentramos en un

Tabla 1. Prefijos y conversión de unidades de longitud.

Escritura	Símbolo	Potencia
Metro	m	$1\times 10^0\text{ m}$
Centímetro	cm	$1\times 10^{-2}\text{ m}$
Milímetro	mm	$1\times 10^{-3}\text{ m}$
Micrómetro	μm	$1\times 10^{-6}\text{ m}$
Nanómetro	nm	$1\times 10^{-9}\text{ m}$
Picómetro	pm	$1\times 10^{-10}\text{ m}$

mundo de dimensiones mucho más pequeñas, típicamente de 1 a 100 nanómetros. Aunque el diámetro de una fibra textil puede parecer pequeño (entre 10 y 100 micrómetros), desde la perspectiva de un nanomaterial, esta dimensión sigue siendo gigantesca, lo que permite que las nanopartículas se dispersen de manera uniforme a lo largo de toda la estructura de una fibra. Para ilustrar mejor lo anterior, la **Figura 1** muestra una escala de tamaño de las nanopartículas en comparación con objetos comunes.

Importancia del tamaño en los nanomateriales

Los nanomateriales presentan propiedades únicas y diferentes a las de sus contrapartes en escalas más grandes, debido principalmente a dos factores clave: una mayor área superficial relativa y el efecto de confinamiento cuántico. Una mayor área superficial significa que una proporción significativa de los átomos de la partícula se encuentra en la superficie, lo que aumenta su reactividad y permite que los nanomateriales interactúen de manera más eficiente con su entorno.

Por ejemplo, si reducimos una masa de un material, por ejemplo, óxido de silicio (SiO_2), a dimensiones nanométricas (específicamente 20 nm de longitud), se podría cubrir un área equivalente a una cancha de tenis con sólo 1.5 gramos de material. Esto se debe a que, al reducir el tamaño de las partículas, la superficie total aumenta significativamente, lo que subraya la eficiencia y el ahorro de material que se puede lograr al trabajar con nanomateriales. Lo anterior se ejemplifica gráficamente en la **Figura 2**.

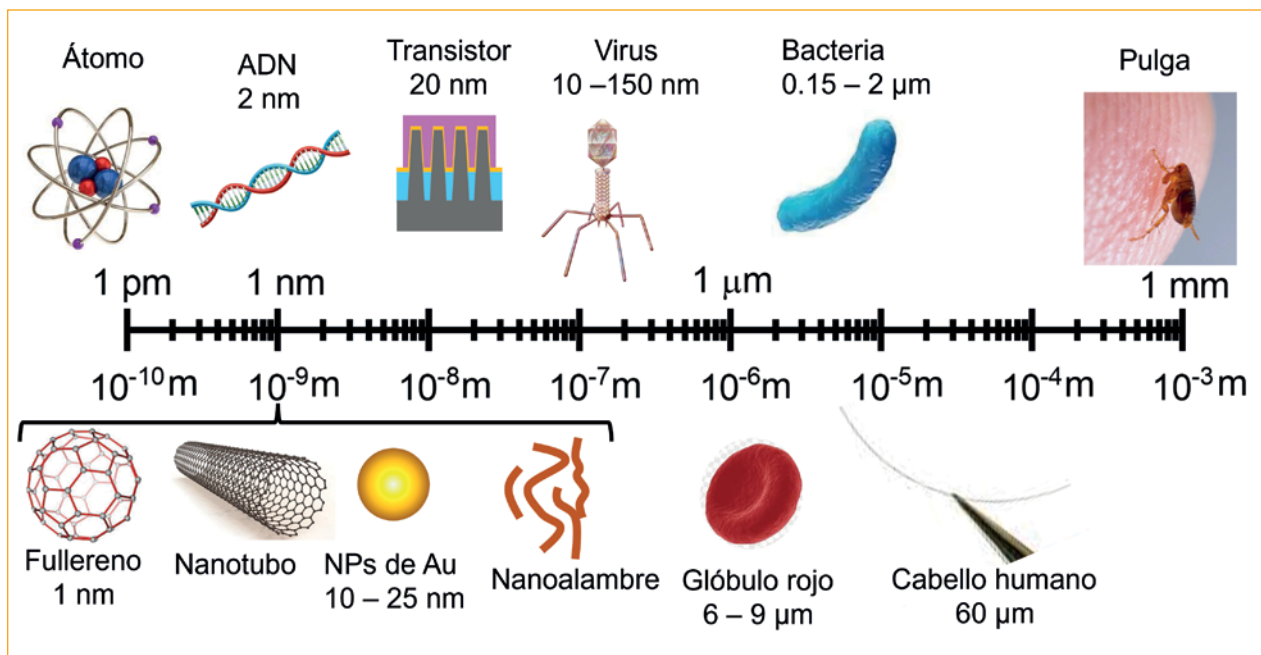


Figura 1. Comparación de tamaño de los objetos.

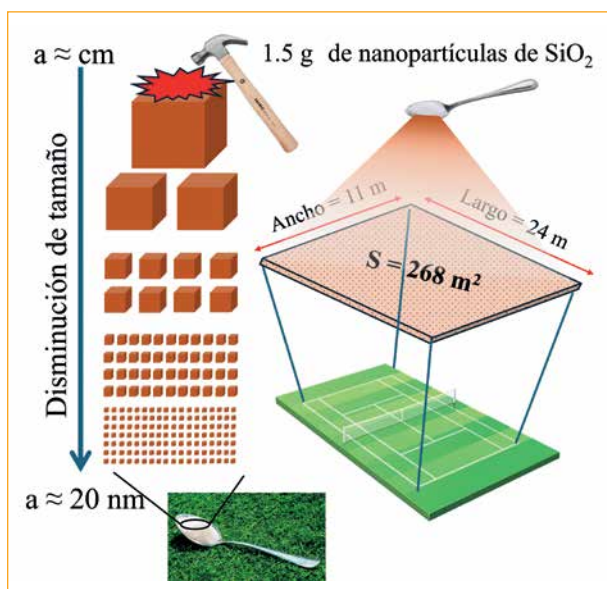


Figura 2. Perspectiva de área superficial relativa de las nanopartículas.

El efecto de confinamiento cuántico también tiene un papel crucial. A escalas nanométricas, las propiedades electrónicas de los materiales cambian significativamente en comparación con sus versiones más grandes. Esto se debe a que los electrones dentro del material están confinados en espacios muy pequeños (menos de 100 nanómetros) en al menos una

dimensión (largo, ancho o alto). Este confinamiento altera el comportamiento del material y puede dar lugar a fenómenos como cambios en la absorción de la luz, conductividad eléctrica y emisión de luz.

Los nanomateriales se clasifican en cuatro categorías principales en función de su dimensionalidad:

- **0D (cero dimensiones superiores a 100 nm):** incluidas nanopartículas esféricas, que no tienen dimensiones mayores que 100 nanómetros.
- **1D (una dimensión mayor que 100 nm):** incluye nanoalambres, nanotubos y nanoagujas, donde una dimensión, como el largo, supera los 100 nanómetros.
- **2D (dos dimensiones mayores que 100 nm):** encontramos películas ultradelgadas, que tienen dos dimensiones por encima de los 100 nanómetros.
- **3D (tres dimensiones mayores que 100 nm):** estos materiales tienen todas sus dimensiones mayores que 100 nanómetros, pero pueden incluir componentes a escala nanométrica, como fibras textiles modificadas con nanopartículas.

En la Figura 3 pueden apreciarse gráficamente estas clasificaciones de nanomateriales en función

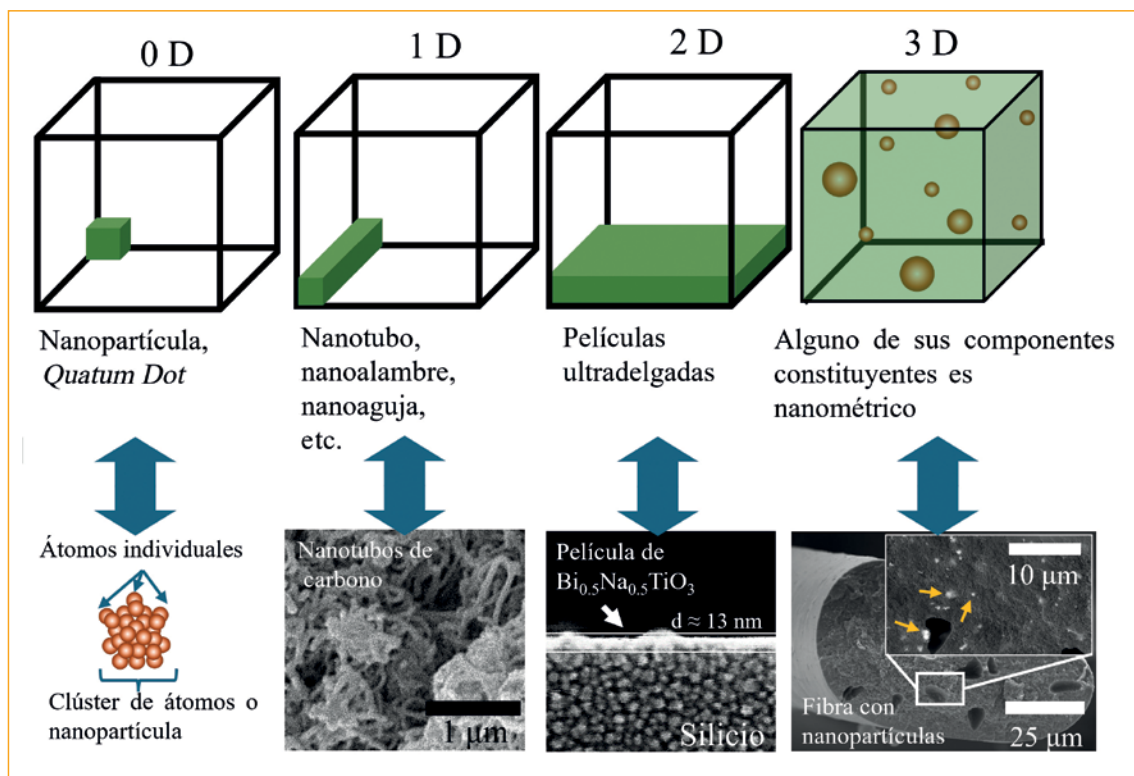


Figura 3. Clasificación de los materiales nanoestructurados en función de su dimensionalidad y algunos ejemplos.

de su dimensionalidad (0D, 1D, 2D, y 3D) y algunos ejemplos reales.

El pequeño tamaño de los nanomateriales no sólo modifica sus propiedades en función de su dimensión y forma, sino que también hace que manifiesten fenómenos únicos –y deseables desde el punto de vista industrial y tecnológico–, que no se observan en sus contrapartes macroscópicas, incluso si están compuestos del mismo material.

Aplicación de las nanopartículas en la industria textil

En los últimos años, el diseño y la fabricación de nanomateriales adaptados a las necesidades de diversas industrias, como la química, alimentaria, textil, informática, electrónica y médica, ha dado lugar a más de 1 300 aplicaciones conocidas, y son muchas más las proyectadas para el futuro (Sebastián, 2018). En particular, la incorporación de nanopartículas en los textiles permite obtener fibras con nuevas características sin alterar sus propiedades de confort.

Algunos ejemplos de estas aplicaciones son tejidos de vestir que no se arrugan o cambian de color en respuesta a la luz solar, entre otras características innovadoras (Yetisen y cols., 2016). Sin embargo, una de las más grandes aplicaciones de los nanomateriales es en el campo médico, como fibras y estructuras para ingeniería de tejidos, andamiaje, sistemas de administración de fármacos e integración de materiales conductores a escala nanométrica (Singh y cols., 2025).

Dentro de este panorama, los textiles médicos modificados con nanomateriales representan una innovación particularmente significativa debido al papel crucial que tienen en diversas aplicaciones clínicas que van desde el cuidado avanzado de heridas hasta el control de infecciones que se adquieren durante la estancia de un paciente en hospitales (infecciones nosocomiales), pasando por procedimientos quirúrgicos más seguros y por el mantenimiento de estándares elevados de higiene hospitalaria. Lo anterior se logra a partir de la implementación de equipos de protección médica, como cofias, batas

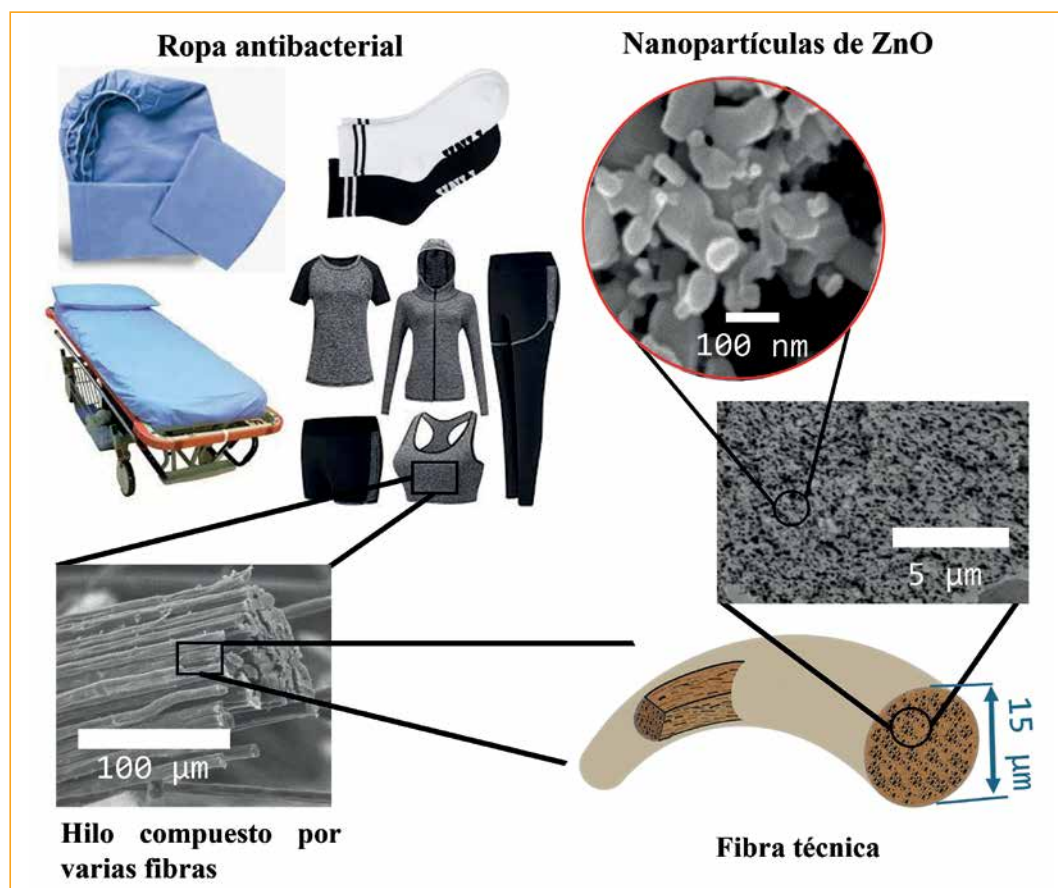


Figura 4. Microestructura de algunos textiles técnicos antibacteriales.

quirúrgicas y cubrebocas, así como con ropa de cama hospitalaria (sábanas, cortinas y fundas) con propiedades antimicrobiales de amplio espectro (Haleem y cols., 2023).

Además, la creciente adopción de textiles antibacterianos se ve reflejada en el interés de consumidores preocupados por la higiene y la salud. Como se muestra en la **Figura 4**, su uso se ha extendido, especialmente en el ámbito de la ropa deportiva, donde combaten eficazmente infecciones y controlan los olores. Estos tejidos incorporan nanomateriales sin comprometer su funcionalidad ni el confort en usos cotidianos.

Otra aplicación prometedora del uso de textiles modificados con nanopartículas es su potencial como soporte o sustrato para la incorporación de dispositivos electrónicos y ópticos. Es importante destacar que estos textiles no sólo actúan como un soporte, sino que desempeñan funciones indis-

pensables en el funcionamiento de los dispositivos electrónicos, convirtiéndose en una parte integral de los mismos. Esto ha dado lugar al desarrollo de electrónicos flexibles y portátiles que pueden incluir sensores, dispositivos de adquisición de datos y unidades de procesamiento. Estas innovaciones han permitido la creación de los llamados “textiles inteligentes”, usados en ropa, gorras, mochilas, entre otros productos (Júnior y cols., 2022; Yetisen y cols., 2016).

Imaginemos, por ejemplo, una prenda fabricada con textiles inteligentes capaz de captar y almacenar energía solar y de proporcionarnos energía eléctrica en cualquier lugar, o bien de monitorear el ritmo cardíaco, la humedad del ambiente y la temperatura corporal (Júnior y cols., 2022; Yetisen y cols., 2016). Esta aplicación queda claramente representada en la **Figura 5**, donde se muestran diversos dispositivos electrónicos que no sólo están integra-



Figura 5. Algunas aplicaciones de textiles inteligentes en dispositivos de almacenamiento y generación de energía eléctrica, así como en el monitoreo de signos vitales y condiciones ambientales.

dos en la ropa, sino que forman parte constitutiva de la misma. Éstas y muchas más aplicaciones ya pueden ser encontradas en el mercado y cada vez tienen más demanda en el mundo (Yetisen y cols., 2016).

Cabe mencionar que las aplicaciones de nanopartículas en los materiales textiles no se limitan a la moda y funcionalidad. Un gran número de estas aplicaciones están enfocadas en mejorar la salud, la sostenibilidad y la sustentabilidad global, abordando problemas críticos como la energía, el medio ambiente y las enfermedades derivadas del crecimiento poblacional (Álvarez-Láinez y cols., 2020). Por ejemplo, algunos dispositivos médicos que utilizan nanopartículas –como los biosensores de diagnóstico, los sistemas de administración de fármacos y las sondas de imagen (Bayda y cols., 2020)– pueden integrarse en fibras textiles. Además, los textiles modificados con nanopartículas se están utilizando para desarrollar una nueva generación de celdas solares, baterías de hidrógeno y sistemas innovadores de almacenamiento de energía. Estos sistemas son capaces de almacenar y generar energía limpia de manera

eficiente y económica, reduciendo la dependencia de combustibles no renovables y altamente contaminantes (Bayda y cols., 2020).

Conclusiones

El avance de la nanotecnología ha transformado la industria textil, satisfaciendo la creciente demanda de los consumidores por productos que combinan estética, funcionalidad y cuidado de la salud. La incorporación de nanomateriales en los textiles ha permitido el desarrollo de tejidos con propiedades antibacterianas, **protección UV**, repelencia al agua y resistencia a las arrugas, características que han encontrado aplicaciones clave en el ámbito médico y sanitario. Además, la integración de tecnologías electrónicas y de nanomateriales en los textiles ha dado lugar a dispositivos portátiles y flexibles como baterías, capacitores, celdas solares y sensores biométricos integrados en la ropa, encargados de monitorear la salud personal en tiempo real. Estas innovaciones están llevando la moda y la funcio-

Protección uv
En el contexto textil, la protección uv se refiere a la capacidad de un tejido para bloquear los rayos ultravioleta (uv) del sol, reduciendo su penetración en la piel y minimizando los riesgos de daño mediante la incorporación de nanomateriales especiales durante su fabricación.

nalidad textil a un nuevo nivel, transformando los componentes electrónicos rígidos tradicionales en materiales flexibles y ligeros, integrados de manera casi imperceptible en nuestra vida diaria. La continua evolución en este campo no sólo promete satisfacer, sino también anticipar y superar las expectativas de los consumidores en el futuro cercano.

José de Jesús Serralta Macías

Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Aguascalientes.
serralta_macias@yahoo.com.mx

Juan Carlos Tapia Picazo

Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Aguascalientes.
tapiajc65@yahoo.com.mx



Lecturas recomendadas

- Álvarez-Láinez, M. L., H. V. Martínez-Tejada y F. Jaramillo Isaza (2020), *Nanotecnología: Fundamentos y aplicaciones*, Colombia, Universidad de Antioquia.
- Bayda, S., M. Adeel, T. Tuccinardi, M. Cordani y F. Rizzolio (2020), "The history of nanoscience and nanotechnology: From chemical-physical applications to nanomedicine", *Molecules*, 25(1):112. Disponible en: <<https://doi.org/10.3390/molecules25010112>>, consultado el 7 de agosto de 2025.
- Haleem, A., M. Javaid, R. P. Singh, S. Rab y R. Suman (2023), "Applications of nanotechnology in medical field: a brief review", *Global Health Journal*, 7(2):70-77. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.glohj.2023.02.008>>, consultado el 7 de agosto de 2025.
- Júnior, H. L. O., R. M. Neves, F. M. Monticeli y L. Dall Agnol (2022), "Smart fabric textiles: Recent advances and challenges", *Textiles*, 2(4):582-605. Disponible en: <<https://doi.org/10.3390/textiles2040034>>, consultado el 7 de agosto de 2025.
- Sebastián, V. (2018), "Nanocristales, nuevos materiales con propiedades y aplicaciones únicas", *Revista de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 26(3):306.
- Singh, N., A. Kaur, A. Madhu y M. Yadav (2025), "Advancements in nanotechnology for biomedical and wearable applications", *Next Materials*, 8:100658. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.NXMATE.2025.100658>>, consultado el 7 de agosto de 2025.
- Yetisen, A. K., H. Qu, A. Manbachi, H. Butt, M. R. Dokmeci et al. (2016), "Nanotechnology in textiles", *ACS Nano*, 10(3). Disponible en: <<https://doi.org/10.1021/acsnano.5b08176>>, consultado el 7 de agosto de 2025.





Innovaciones tecnológicas en la UAM: una mirada desde el doctorado

Las investigaciones doctorales son procesos delicados y complejos que se gestan por múltiples años y de los cuales nos enteramos hasta que terminan en un examen profesional y la publicación de la tesis. En el presente artículo, la UAM nos comparte una mirada íntima a la innovación y las soluciones que está proponiendo su alumnado doctorante con miras a cambiar la sociedad y la nación.

Introducción

■ En cada universidad hay un enorme número de alumnas y alumnos que transforman ideas innovadoras en descubrimientos y cambios sociales en sus proyectos de investigación doctoral. Son contadas las ocasiones en las que aprendemos de estos nacientes proyectos que no sólo buscan entender mejor el mundo, sino también imaginarlo distinto. Estas investigaciones no se quedan en el papel: se conectan con comunidades, inciden en políticas públicas y generan soluciones para problemas que afectan diariamente a la sociedad mexicana. El presente artículo nos permite conocer cuatro investigaciones en proceso en la Universidad Autónoma Metropolitana, donde la ciencia y la innovación se encuentran con la responsabilidad social para dibujar futuros más justos, sostenibles y seguros.

La vida en pausa... y en decadencia: el tiempo en las semillas

■ Las semillas suelen pasar desapercibidas. No se mueven, no hacen ruido, no reclaman atención. Y, sin embargo, en su interior se guarda el futuro de los ecosistemas. Son archivos vivos de la biodiversidad, las primeras páginas en la historia de cada planta. Su papel en la regeneración de la vida vegetal es fundamental. Cada árbol, cada arbusto, cada cactácea que vemos alguna vez fue una semilla dormida.

En los desiertos, bajo la tierra caliente y quebrada, miles de semillas de cactáceas yacen en reposo. Son pequeñas cápsulas de vida, invisibles al ojo común, en espera de la señal adecuada para despertar: una lluvia oportuna, un cambio

de temperatura, una caricia de luz. Pero no todas lo logran. Algunas, sencillamente, envejecen... y mueren sin haber germinado jamás.

Así comienza una historia silenciosa y poco conocida, la del envejecimiento de las semillas, un proceso tan real como el de cualquier ser vivo. Con el tiempo, su capacidad de germinar disminuye, su energía se reduce y se vuelven más frágiles. Aunque este fenómeno ha sido ampliamente estudiado en cultivos como cereales (arroz, maíz y trigo) o legumbres (frijol, lentejas y chícharos), poco se sabía sobre cómo envejecen las semillas de cactáceas, plantas esenciales para la vida de las zonas áridas y semiáridas de México, y para las comunidades que dependen de ellas para su alimentación, su economía y su identidad cultural.

Esta falta de información resulta preocupante si consideramos que varias estrategias de conservación, como los “bancos de semillas”, dependen justamente de ese conocimiento. El caso de las cactáceas

mexicanas es especialmente delicado, ya que muchas de estas especies se encuentran en alguna categoría de riesgo. Sin embargo, los estudios sobre bancos de semillas en este grupo siguen siendo escasos, lo que dificulta su protección. Pero, ¿qué son los bancos de semillas?

Los bancos de semillas funcionan como aquellos en donde guardamos dinero: son lugares que almacenan algo valioso para el futuro. Algunos se forman de manera natural, cuando las semillas caen al suelo y quedan enterradas. Estas semillas pueden permanecer ahí durante meses, incluso años o décadas, esperando las condiciones adecuadas para germinar (Figura 1). Es una estrategia de las plantas para sobrevivir a tiempos difíciles, como sequías o incendios. Por otro lado, también existen bancos de semillas creados por las personas, parecidos a cajas fuertes para la biodiversidad. En ellos se guardan semillas de especies con importancia económica o que están en peligro de desaparecer, con la esperanza de que algún día puedan utilizarse para recuperar ecosistemas o producir alimentos.

El resguardo artificial de semillas, o el almacenamiento natural, dependen de que las semillas permanezcan vivas. Pero, ¿qué pasa si eso no ocurre? ¿Qué pasa si las semillas, pese a estar almacenadas con cuidado, pierden su capacidad de germinar antes de lo previsto?

En el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla, donde los cactus se alzan como centinelas del tiempo, recolectamos semillas de dos especies mexicanas: *Escontria chiotilla* (jiotilla) y *Stenocereus pruinosus* (pitaya de mayo). Ambas producen frutos comestibles de valor cultural y económico, y desempeñan un papel clave en el ecosistema, pues mantienen relaciones con polinizadores, animales que dispersan sus semillas y otros seres vivos del suelo, como hongos y bacterias. Su importancia ecológica y humana es tan grande que protegerlas implica también proteger modos de vida enteros. Pero su reproducción depende de un factor esencial, la viabilidad de sus semillas. Sin semillas sanas, no hay nuevas plantas, y sin regeneración, las poblaciones pueden desaparecer.

En mi investigación doctoral, para entender cómo envejecen estas semillas, las almacenamos en dos

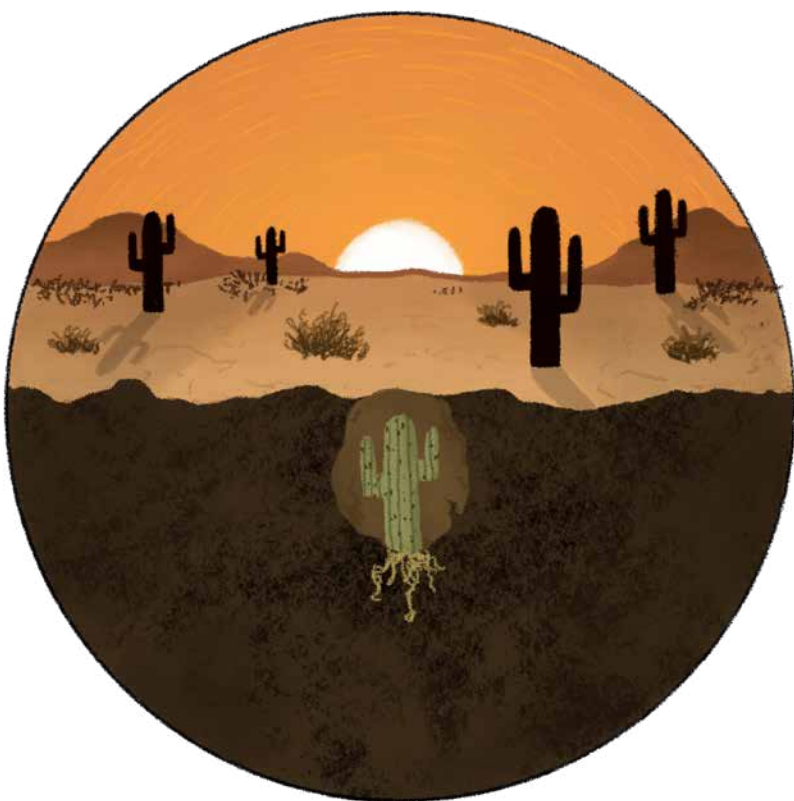


Figura 1. Una semilla de cactácea en un ambiente hostil, con las raíces listas para salir, pero que va desgastándose con el paso del tiempo, el calor y las inclemencias del ambiente. Crédito: Diego F. T. de la Vega.

tipos de condiciones. Algunas fueron guardadas en frascos oscuros, con baja humedad y temperatura estable, como se hace en los bancos de semillas artificiales. Otras fueron enterradas directamente en el suelo, en su hábitat natural; durante meses –y en algunos casos, años– las dejamos allí, expuestas al clima cambiante del desierto: la lluvia, la sequía, el calor, el frío. Las condiciones naturales pueden parecer ideales, pero son también impredecibles. Al recuperarlas, observamos que muchas de las que estaban bajo tierra ya no germinaban. En cambio, las conservadas en laboratorio seguían vivas, como si el tiempo no hubiera pasado por ellas.

Aunque solemos pensar que una semilla enterrada está protegida, el suelo es un entorno muy cambiante. Cada ciclo de humedad y sequía desgasta sus defensas naturales. La tierra no siempre es un refugio seguro: a veces es un campo de batalla microscópico donde bacterias, hongos, temperaturas extremas y falta de nutrientes atacan sin tregua. Si una semilla no puede defenderse, comienza a deteriorarse por dentro. Uno de los mecanismos que estudiamos fue el equilibrio de ciertas sustancias internas que ayudan a combatir el daño, como el glutatión, una especie de molécula protectora celular. Cuando este compuesto químico se agota, la semilla se vuelve más vulnerable, aunque aún no lo notemos desde fuera.

Medimos ese equilibrio interno y descubrimos que, en las semillas enterradas, el glutatión se perdía con el tiempo. Es decir, el ambiente interno de la semilla se volvía cada vez más dañino. Podríamos decir que las semillas son como relojes diminutos enterrados en la tierra. Marcan el tiempo en silencio, esperando su momento. Pero incluso el mejor reloj puede detenerse si el óxido lo invade. En el suelo, las condiciones cambian constantemente: hay humedad, calor, microorganismos y otros factores que aceleran ese “óxido interno” y hacen que las semillas envejezcan más rápido. En cambio, en el laboratorio, las condiciones son estables y controladas, lo que reduce ese desgaste interno. Por eso, las semillas guardadas en laboratorio mantenían su equilibrio por más tiempo, no sufrían tanto daño y conservaban su capacidad de germinar, incluso después de varios años.



Este hallazgo es importante porque revela que no basta con guardar semillas o dejarlas en la naturaleza esperando a que germinen. Debemos entender cómo viven, cómo se deterioran y cuándo dejan de ser viables. Si una semilla pierde esa capacidad, pierde también su posibilidad de contribuir a la conservación. En otras palabras, el simple acto de almacenar no garantiza la supervivencia.

También observamos que algunos indicadores que se usan comúnmente para detectar el envejecimiento de las semillas, como los residuos generados por el daño a proteínas y grasas, no siempre resultan confiables, ya que no siempre reflejan con claridad si una semilla aún está viva. Por eso proponemos usar ciertas moléculas, como el glutatión. Este compuesto actúa como una especie de sensor interno del estado de la semilla, y su equilibrio puede alertarnos, con mayor precisión, sobre el momento en que una semilla empieza a deteriorarse, incluso antes de que sea evidente por otros métodos.

Este estudio nos recuerda que conservar una especie no empieza con plantar un árbol o abrir una reserva. Comienza mucho antes: con una semilla. Y no cualquier semilla, sino una que aún tenga vida. En un mundo donde muchas plantas están perdiendo su hogar por el cambio climático o por las actividades humanas, no podemos darnos el lujo de perder también sus semillas.

Invertir en investigación, desarrollar mejores formas de monitoreo y entender cómo envejecen las semillas puede marcar la diferencia entre la extinción y la supervivencia. Porque, aunque pequeñas, las semillas cargan con el futuro. Son la promesa de lo que aún puede florecer. Y para muchas cactáceas, esa promesa depende de cuánto entendamos sobre el paso del tiempo en su interior.

Las semillas nos enseñan que la vida puede esperar... pero no para siempre. El envejecimiento es silencioso, casi invisible, pero ocurre. Y si no lo escuchamos a tiempo, podríamos perder especies antes de que siquiera tengan la oportunidad de comenzar su historia.

Una semilla guarda en silencio el mismo anhelo que una persona: echar raíces, resistir el tiempo y, algún día, florecer. Porque toda vida, visible o no, nace con la esperanza de crecer, de abrirse paso y dejar su huella en el mundo.

Vida útil

Periodo dentro del cual un producto es considerado apto para su consumo.

Nanotecnología y seguridad alimentaria: un enfoque innovador

En términos de la seguridad alimentaria, el desperdicio de frutas y verduras tiene gran relevancia, por un lado por la afectación al medio ambiente y, por otro, por la falta de alimentos que se registra a nivel mundial. La nanotecnología con las **nanopartículas** como herramienta es un recurso muy prometedor y de vanguardia en la solución de este tipo de problemas. Las nanopartículas se están explorando ampliamente en los diferentes sectores de la producción y conservación de alimentos, de los que forma parte el área posterior a la cosecha (la poscosecha) de frutas y verduras. En la UAM Iztapalapa estamos aplicando nanopartículas de calcio para la conservación de frutas y verduras, con el objetivo de alargar la **vida de anaquel**, manteniendo una alta calidad y asegurando que sean alimentos adecuados, nutritivos, inocuos y que conserven su sabor característico.

Nanopartículas

Partículas de tamaño entre 1 y 100 nm con propiedades únicas.

Vida de anaquel

Periodo de tiempo en el que un producto alimenticio mantiene su calidad y seguridad para el consumo, y que se considera desde su producción hasta su venta o consumo.

Seguridad alimentaria: definición y desafíos globales

La seguridad alimentaria es un enfoque integral que se refiere a la disponibilidad, acceso y utilización de alimentos seguros, nutritivos y suficientes para satis-

facar las necesidades energéticas y nutricionales de la población, con el fin de mantener una vida saludable. Las frutas y verduras frescas son fundamentales para garantizar la seguridad alimentaria por su importante aportación de vitaminas, carbohidratos, antioxidantes, fibras, minerales y agua, lo que ayuda a lograr el bienestar y la salud de las personas.

Ahora bien, la acelerada vida urbana actual exige alimentos listos para consumir, con beneficios nutricionales y sensoriales, y que garanticen su inocuidad. En respuesta a esta demanda, y para favorecer el consumo de frutas y verduras, han surgido los productos mínimamente procesados, que son frutas y verduras preparadas, empacadas y mantenidas en refrigeración, listas para su consumo. Sin embargo, el procesamiento induce una mayor velocidad en la maduración y envejecimiento, lo que resulta en una disminución de la calidad y **vida útil** del producto.

A nivel mundial existen grandes desafíos relacionados con el alto crecimiento poblacional y que la seguridad alimentaria se ha centrado en resolver, entre los cuales se encuentran: la falta de alimentos en el mundo, una baja productividad del campo, la degradación de los recursos naturales, altas pérdidas poscosecha y una falta de valor agregado o una disminución de éste, entre otros. La Organización de las Naciones Unidas indica que la población mundial seguirá creciendo y llegará a 10 300 millones de habitantes en el año 2080, lo cual trae una consecuente demanda de alimentos y con ello la disminución de recursos agrícolas y un mayor daño al medio ambiente. Por otro lado, cerca de un tercio de los alimentos que se producen anualmente se pierden, y el 42 % de éstos corresponde a frutas y verduras, lo cual tiene un gran impacto social, económico y ambiental. El problema de las pérdidas de alimentos es grave, ya que 25 000 personas mueren diariamente (WFP, 2021) por falta de alimentos. El desperdicio de frutas y verduras se atribuye a la falta de métodos adecuados de extensión de vida de anaquel de dichos productos, por lo que el desarrollo de nuevas y más eficientes estrategias que ayuden a alcanzar los objetivos de la seguridad alimentaria es una necesidad urgente.

La nanotecnología es una ciencia joven, surgida en las últimas décadas, y que se ocupa de la inves-

tigación, manipulación y desarrollo de tecnologías a escala nanométrica –un nanómetro (nm) es cien mil veces más pequeño que el diámetro de un pelo humano–. Las nanopartículas son una herramienta fundamental en la nanotecnología y constituyen una amplia clase de materiales que tienen un rango de tamaño de entre 1 y 100 nm. Estas partículas, debido a su pequeño tamaño, tienen propiedades únicas que las hacen muy eficientes y útiles para una amplia gama de aplicaciones.

La nanotecnología tiene un enorme potencial de aplicación en la agricultura para el desarrollo de materiales eficientes y amigables con el medio ambiente, como son los nanofertilizantes, nanoherbicidas, nanofungicidas y nanobiosensores.

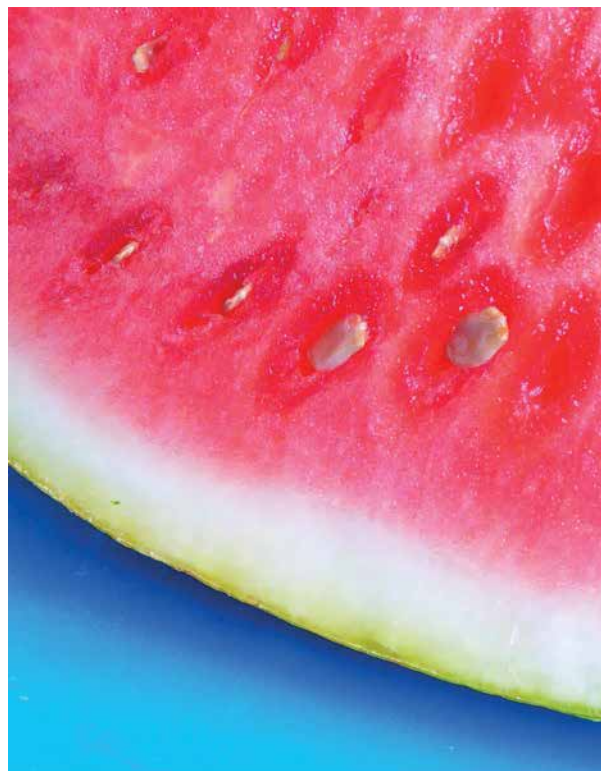
La nanotecnología en la poscosecha: de la mano para la solución de problemas

Las frutas y verduras poscosecha siguen siendo tejidos vivos, lo que significa que continúan su maduración y envejecimiento, lo que trae como resultado un deterioro de la calidad que comúnmente se observa en el oscurecimiento, pérdida del sabor, ablandamiento de tejidos, marchitez y pérdidas nutricionales del producto; otro factor de deterioro de estos productos es la contaminación por microorganismos. Todo lo anterior contribuye a los altos porcentajes de desperdicio de frutas y verduras.

La poscosecha es una etapa que inicia con la cosecha y concluye cuando el producto ha sido consumido por el consumidor, y por lo general incluye las etapas de selección, empaque, almacenamiento, refrigerado y distribución; su objetivo es limitar o evitar las pérdidas de la cosecha y asegurar el mantenimiento de la calidad de los productos para el consumidor.

Los avances de la nanotecnología pueden resolver los problemas de la poscosecha mediante el desarrollo de empaques con mejores propiedades físicas e inteligentes, recubrimientos comestibles y aditivos con diferentes funciones, como el control de microorganismos, reforzamiento de la estructura de las frutas y verduras, adición de nutrientes e integración de agentes antimicrobianos, entre otros.

En la Universidad Autónoma Metropolitana estamos uniendo los esfuerzos del Laboratorio de



Postcosecha de Recursos Fitogenéticos y Productos Naturales y el Laboratorio de Evaluación Sensorial y Estudios de Consumidores, con la Universidad Autónoma de Coahuila para la aplicación de nanopartículas de calcio, las cuales son seguras para el consumo humano, con el objetivo de alargar la vida de anaquel de productos poscosecha.

Nuestra investigación ha aplicado nanopartículas de calcio en la sandía (*Citrullus lanatus*) mínimamente procesada. La sandía es un fruto muy complejo, ya que el 90 % de su composición es agua, por lo que una vez cortada su deterioro es muy rápido (de 1 a 3 días) y presenta cambios en su textura, disminución del color y dulzura, aunado a una alta susceptibilidad a la contaminación. Todos estos aspectos hacen que la sandía sea un modelo adecuado para la aplicación de nanotecnología. Con la aplicación de las nanopartículas de calcio, se ha logrado alargar la vida de anaquel de la sandía mínimamente procesada de 7 días (que son los tiempos más largos reportados en comercios) a 12 días, lo cual le otorga 5 días más de vida a este producto, con una buena calidad tanto nutricional como de apreciación por

los consumidores, al mantenerse parámetros como la jugosidad, sabor y textura.

Con el desarrollo de este tipo de investigaciones novedosas, hemos logrado disminuir la cantidad de químicos aplicados a las frutas frescas cortadas, ya que al ser más eficiente la nanopartícula, se aplica 100 veces menos cantidad de sustancias químicas y se obtiene una mayor eficiencia en la conservación de las características de los productos tanto en términos nutricionales como sensoriales (sabor, textura, color). Con esto estamos contribuyendo a solucionar la problemática de la seguridad alimentaria, con beneficios tanto sociales como ambientales, pues al alargar la vida de anaquel se reduce el desperdicio de alimentos –lo cual conlleva beneficios económicos para consumidores y productores–, se favorece el acceso a frutas frescas durante más tiempo –con la consecuente mejora de la seguridad alimentaria y la salud– y tiene efectos en el medio ambiente, ya que se generan menos desechos y se aplica una menor cantidad de químicos (Figura 2).

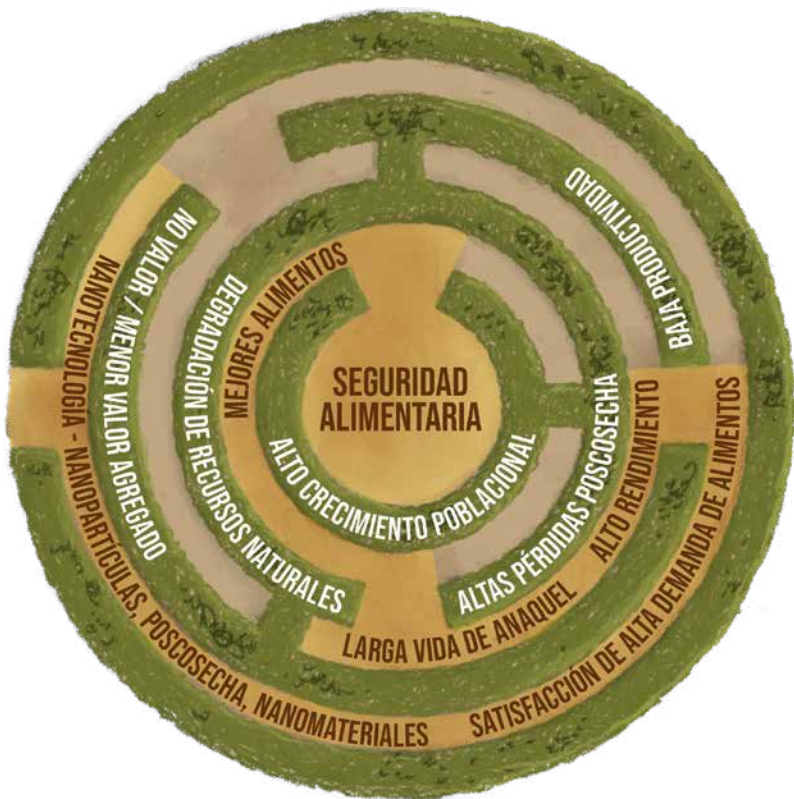


Figura 2. El camino complejo hacia la seguridad alimentaria bloqueada por dificultades y habilitada mediante desarrollos e innovaciones tecnológicas. Crédito: Diego F. T. de la Vega.

Desarrollo de compuestos inspirados en medicamentos conocidos para combatir el cáncer de pulmón

Cada día miles de personas en todo el mundo reciben una noticia difícil: han sido diagnosticadas con cáncer de pulmón. Esta enfermedad es una de las principales causas de muerte relacionada con el cáncer, tanto en hombres como en mujeres. A pesar de los grandes avances científicos y médicos, aún hay muchas personas que no logran recuperarse por completo con los tratamientos disponibles. Esto ha llevado a científicos y científicas a buscar nuevas formas de tratar esta enfermedad.

Un grupo de investigación integrado por el Laboratorio de Química Orgánica y Plantas Medicinales y el Laboratorio de Síntesis Orgánica de la UAM Xochimilco ha desarrollado y probado nuevas moléculas, inspiradas en un medicamento muy conocido, que podrían convertirse en parte de una nueva estrategia para combatir el cáncer de pulmón. Este trabajo es parte de una línea de investigación que explora cómo modificar compuestos existentes para darles nuevas propiedades útiles en la medicina.

El cuerpo humano es una maquinaria increíblemente compleja. Cada parte está formada por millones de células que cumplen funciones específicas. En condiciones normales, las células crecen, se dividen y mueren de forma controlada. Pero cuando este proceso se descontrola, pueden surgir enfermedades como el cáncer.

En el caso del cáncer de pulmón, las células de tejido pulmonar comienzan a crecer sin control y forman masas o tumores que dificultan la respiración y dañan otros órganos si se extienden. Los tratamientos más comunes hoy en día incluyen cirugía, quimioterapia, radiación y algunos medicamentos dirigidos a moléculas específicas. Sin embargo, muchos pacientes no responden bien a estos tratamientos, o los efectos secundarios resultan demasiado fuertes. Por eso, la ciencia sigue buscando nuevas opciones que sean más efectivas, menos tóxicas y más accesibles.

Para entender mejor esta investigación, imagine-mos que cada célula es como una pequeña fábrica. Dentro de esta fábrica hay máquinas, cables, sensores y controles que regulan todo. En ocasiones, algunas

de estas piezas empiezan a fallar o a trabajar de más, como si alguien hubiera pisado el acelerador y no hubiera forma de detenerlo.

Uno de esos “aceleradores” en las células de cáncer se conoce como sigma-1 (σ_1), una proteína (o si lo prefieres, un botón de control) que está mucho más presente en las células cancerosas que en las sanas. Aunque normalmente tiene funciones útiles en las células, en el cáncer se ha observado que su actividad ayuda a que los tumores crezcan más rápido y sobrevivan más tiempo. Entonces, si pudiéramos apagar ese suiche de control, podríamos ralentizar el crecimiento del cáncer o incluso detenerlo (Figura 3).

Aquí es donde entra una parte muy interesante del proyecto. El grupo de investigación decidió tomar un medicamento ya conocido por su uso en otras enfermedades (el haloperidol) y modificar su estructura para convertirlo en una especie de apagador que funcione en sigma-1 y lo apague.

¿Por qué usar un medicamento conocido como punto de partida? Porque ya se sabe mucho sobre su comportamiento en el cuerpo, lo que permite avanzar más rápido y con más seguridad en el desarrollo de nuevos tratamientos. Así se crearon nuevas moléculas diseñadas para unirse al suiche sigma-1 y apagarlo.

La investigación se realizó en varias etapas. Primero, antes de fabricar las moléculas en el laboratorio, se usaron programas de computadora para predecir si estos apagadores realmente trabajaban con el suiche sigma-1. Esta técnica se llama “acoplamiento molecular”, pero podemos imaginarla como una simulación de rompecabezas: se prueba si una pieza funciona bien en un lugar específico. Después, una vez que los modelos por computadora mostraron ser prometedores, se pasó al laboratorio. Allí las moléculas se construyeron paso a paso siguiendo una receta química. Fue como seguir una receta de cocina muy precisa, donde cada ingrediente y cada temperatura debe ser exacta para que el platillo final quede perfecto. Una vez obtenidas las moléculas, se revisaron cuidadosamente para confirmar que eran lo que se esperaba. Finalmente, se realizaron pruebas en células de cáncer de pulmón cultivadas en frascos

para ver si las nuevas moléculas eran capaces de detener su crecimiento o incluso eliminarlas.

Los resultados fueron muy alentadores. Las pruebas de simulación por computadora mostraron que las moléculas lograban un buen acoplamiento con sigma-1, como si fueran apagadores hechos a la medida.

Cuando se pusieron a prueba en células de cáncer de pulmón, las moléculas lograron reducir la cantidad de células cancerígenas vivas. La más efectiva tuvo un efecto muy similar al de un medicamento usado actualmente contra el cáncer –el cisplatino–, pero con la ventaja de que podría tener menos efectos secundarios, aunque eso aún debe estudiarse.

Además, el proceso de fabricación en el laboratorio fue exitoso: se lograron generar las moléculas con muy buen rendimiento, lo cual es importante si algún día se quiere producir a mayor escala. La investigación es innovadora porque reutiliza estudios sobre un medicamento conocido para darle un uso completamente diferente, algo que puede acelerar

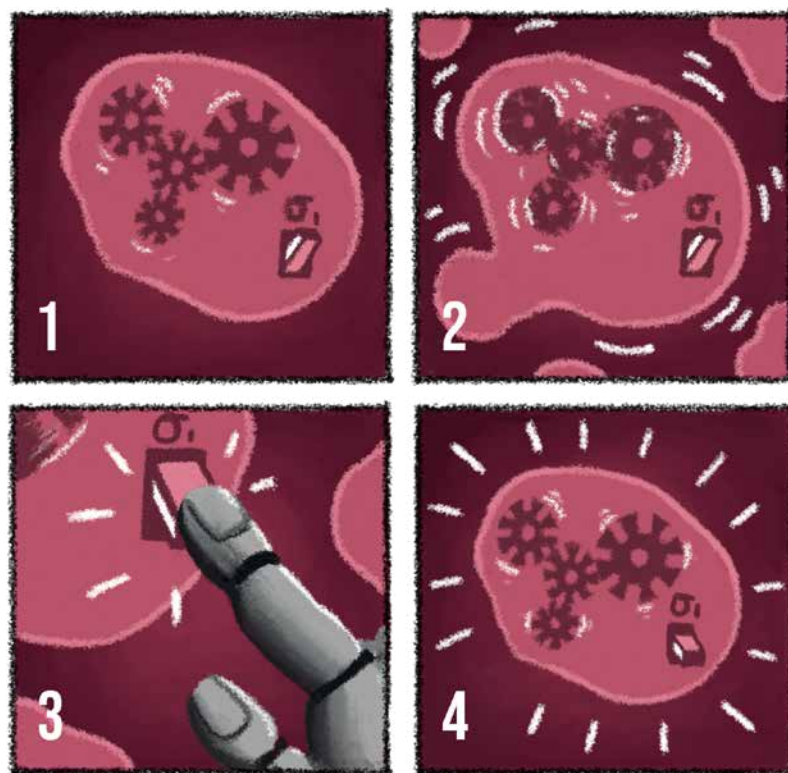


Figura 3. 1) Una célula pulmonar normal; 2) empieza a reproducirse masivamente por “aceleradores” sigma-1 presentes en células cancerígenas; 3) estos aceleradores pueden “apagarse”, y 4) hacer que las células pulmonares vuelvan a su funcionamiento normal. Crédito: Diego F. T. de la Vega.

mucho el desarrollo de nuevos tratamientos. Y, en segundo lugar, se enfoca en un blanco poco común: el apagador sigma-1. Aunque esta proteína ha sido estudiada en otros contextos, su aprovechamiento como “suiche” contra el cáncer todavía está en desarrollo, lo que coloca este trabajo a la vanguardia.

Aunque este estudio aún está en una etapa inicial —es decir, no se ha probado en personas ni en animales—, los resultados abren la puerta a nuevas alternativas en el tratamiento del cáncer de pulmón. En un futuro, estas moléculas podrían usarse solas o junto con otros medicamentos para mejorar la calidad de vida de las personas enfermas. La lucha contra el cáncer es una carrera de largo aliento, pero con investigaciones como ésta se avanza un poco más. Las nuevas moléculas desarrolladas a partir del haloperidol podrían formar parte de ese futuro en el que el cáncer de pulmón no sea una sentencia, sino una enfermedad con más opciones de tratamiento.

Este tipo de investigaciones demuestran la importancia de la ciencia que se desarrolla en laboratorios universitarios. Son pasos pequeños, pero firmes, hacia soluciones reales a problemas que afectan a miles de familias. También inspiran a nuevas generaciones de estudiantes a ver que la química, la biología y la medicina no son materias difíciles, sino herramientas poderosas para cambiar el mundo. La ciencia avanza, y con ella, también lo hace la esperanza.

Entre el refugio y la invasión: ¿cómo sobreviven las aves entre pastos nativos e invasores en el Desierto Chihuahuense?

Los pastizales naturales de Norteamérica forman un corredor biológico que se extiende desde las praderas frías y templadas canadienses hasta el cálido corazón de México. En nuestro país, estos ecosistemas cubren casi 120 000 km², concentrándose principalmente en el vasto Desierto Chihuahuense. Esta región abarca desde el suroeste de Estados Unidos (Texas, Nuevo México y Arizona) hasta nueve estados mexicanos, siendo Chihuahua, Durango, Coahuila y Nuevo León los que albergan la mayor extensión de pastizales y en menor medida estados como Tamaulipas, San Luis Potosí, Jalisco, Guana-

juato, Querétaro e Hidalgo. Es un desierto semiárido con climas extremos, donde los días suelen ser muy calurosos y secos, con noches frías cercanas a los cero grados centígrados; pero aun en estas condiciones, la vida ha logrado adaptarse a los pastizales semiáridos.

En los pastizales semiáridos la vegetación suele estar conformada por matorrales y pastizales, entre zonas rocosas y dunas. Esto permite la presencia de una gran variedad de especies adaptadas a la sequía: se pueden encontrar mamíferos como el berrendo sonorense (*Antilocapra americana sonoriensis*), un veloz corredor en peligro de extinción; el bisonte americano (*Bison bison*), un búfalo bajo protección especial; el pecarí de collar (*Pecari tajacu*), similar a un jabalí pequeño y que vive en manadas; el coyote (*Canis latrans*), un adaptable depredador; la zorrilla del desierto (*Vulpes macrotis*), un pequeño mamífero carnívoro y de grandes orejas; el tlalcoyote o tejón norteamericano (*Taxidea taxus*), un excavador fuerte y resistente; el murciélago magueyero menor (*Leptonycteris yerbabuenae*), un polinizador clave para los cactus. También se encuentran aves como el águila real (*Aquila chrysaetos*), símbolo de fuerza en el desierto; el búho cornudo (*Bubo virginianus*), un depredador nocturno imponente; el correcominos norteamericano (*Geococcyx californianus*), ave famosa por su velocidad y apariciones en caricaturas; el guajolote silvestre (*Meleagris gallopavo*), un pariente del pavo doméstico. Además, ésta es una región de especial interés no sólo por su fauna diversa, sino porque es una de las regiones de mayor importancia económica en nuestro país para la agricultura y ganadería extensiva, aunque estas actividades han traído algunas consecuencias negativas, como el deterioro del suelo, la sobreexplotación del agua, la deforestación y la introducción de vegetación no nativa.

Por milenios, los pastizales del Desierto Chihuahuense han estado conformados por más de 140 especies de pastos nativos, dentro de los géneros *Bouteloua*, *Aristida*, *Andropogon*, *Muhlenbergia*, *Sporobolus*, *Heteropogon* e *Hilaria*. Estos pastizales han sustentado una rica comunidad de aves, tanto residentes como migratorias, que comparten su distribución con Canadá y Estados Unidos. Sin embargo, este equilibrio comenzó a afectarse drásticamente a

mediados del siglo xx, debido a cambios radicales en las prácticas ganaderas que provocaron la transformación de los pastizales naturales en la región. En 1956, con el objetivo de mejorar la productividad ganadera, se introdujeron deliberadamente pastos africanos como el zacate rosado (*Melinis repens*), el zacate africano (*Eragrostis lehmanniana*) y el zacate buffel (*Pennisetum ciliare*), entre otros. Actualmente, cerca de 60 especies exóticas se han establecido en la región, muchas de ellas tan extendidas que ya se consideran naturalizadas. ¿Cómo respondieron las aves a esta invasión silenciosa? La respuesta desafía lo que creíamos saber.

La hipótesis tradicional sugería que estas plantas invasoras crearían hábitats menos favorables para las aves que dependen para su alimentación y refugio de los pastizales. Nuestro estudio, primeramente, analizó la distribución de 41 especies de aves a lo largo de todo el Desierto Chihuahuense y reveló una realidad un tanto más compleja: a escala regional, a pesar de que en el tiempo ha ido disminuyendo la presencia de pastos nativos en favor de un incremento de pastos introducidos, esto no ha afectado drásticamente la distribución de las aves. Pero la historia completa sólo se reveló al examinar detenidamente dos zonas

clave: Cuchillas de la Zarca en el estado de Durango y la zona noreste del estado de Guanajuato.

Cuchillas de la Zarca es un área prioritaria para la conservación de pastizal: mantiene una comunidad diversa de pastos nativos, como el pasto navajita (*Bouteloua gracilis*), el zacate toboso (*Hilaria mutica*) y el zacate tres barbas (*Aristida* sp.). Aquí encontramos una amplia comunidad de aves, con especies granívoras como el gorrión pálido (*Spizella pallida*), el zacatero coliblanco (*Poocetes gramineus*), el gorrión chapulín (*Ammodramus savannarum*), el gorrión sabanero (*Passerculus sandwichensis*) y el gorrión de Cassin (*Peucaea cassinii*). En esta zona estas aves mostraron densidades poblacionales estables y relativamente similares, se entiende que por una mayor riqueza de pastos nativos. En contraste, el noreste de Guanajuato es una zona dominada por monocultivos naturales del zacate rosado (*Melinis repens*). Sorprendentemente, aunque aquí la diversidad de aves es menor, algunas especies –como el gorrión cejas blancas (*Spizella passerina*), el gorrión arlequín (*Chondestes grammacus*) y el gorrión de Lincoln (*Melospiza lincolnii*)– presentan densidades de población mayores, por encima de las mostradas en zonas nativas. Lo anterior indica que las zonas in-



vadidas y dominadas por un solo pasto promueven cambios entre las comunidades de aves, por lo que sólo algunas pueden adaptarse, lo que describiremos a continuación.

El secreto de esta adaptación parece estar relacionado con el menú disponible para las aves. En el Laboratorio de Ecología de Zonas Áridas de la UAM, en colaboración con el Museo de Zoología y el Instituto de Biología de la UNAM, hicimos un seguimiento de las “huellas químicas” de carbono y nitrógeno en el tejido sanguíneo de las aves para saber qué habían comido: si menú nativo o invasor. Gracias a esto, descubrimos que las aves en áreas invadidas

han modificado sus dietas, incorporando recursos de los pastos exóticos sin abandonar completamente los nativos. Esta flexibilidad en su dieta explica cómo algunas especies han logrado sobrevivir en paisajes transformados. Estos hallazgos tienen importantes implicaciones para la conservación, puesto que desde 2007, México participa en un esfuerzo trinacional, con Estados Unidos y Canadá, para proteger los pastizales nativos.

Nuestra investigación sugiere que, mientras se mantengan parches de vegetación nativa, algunas aves pueden adaptarse a la presencia moderada de pastos invasores (**Figura 4**). Esto no minimiza el va-



Figura 4. A la izquierda vemos un pasto nativo conocido como navajita (*Bouteloua gracilis*), que sirve de hábitat y alimento para especies nativas de aves. A la derecha vemos un pasto introducido en el Desierto Chihuahuense, conocido como zacate rosado, donde también habitan y se alimentan especies de aves. Crédito: Diego F. T. de la Vega.

lor de los pastizales nativos, esenciales para la biodiversidad nativa, pero ofrece esperanza: incluso en paisajes modificados, las aves demuestran una notable capacidad de resiliencia.

El caso del Desierto Chihuahuense nos enseña que para la conservación hoy día se requiere entender estas dinámicas complejas. Proteger los remanentes nativos mientras se estudian y gestionan las áreas invadidas podría ser la clave para preservar la riqueza aviar de nuestros pastizales en el largo plazo. En un mundo donde los ecosistemas híbridos son cada vez más comunes, entender estas estrategias es vital para diseñar políticas públicas de conservación realistas.

La sección “La vida en pausa... y en decadencia: el tiempo en las semillas” fue escrita el doctor David Alejandro Guzmán Hernández; el apartado “Nanotecnología y seguridad alimentaria: un enfoque innovador” es una aportación de la doctorante Janeth Karina Jacuinde Guzmán; “Desarrollo de compuestos inspirados en medicamentos conocidos para combatir el cáncer de pulmón” es un texto de la doctorante Cristina Martínez Nava, y “Entre el refugio y la invasión: ¿cómo sobreviven las aves entre pastos nativos e invasores en el Desierto Chihuahuense” fue escrito por el doctorante Manuel Palomo Morales, ellas y ellos estudiantes en la Universidad Autónoma Metropolitana.

David Alejandro Guzmán Hernández

Egresado de UAM Iztapalapa.
guhd@xanum.uam.mx

Janeth Karina Jacuinde Guzmán

Alumna en UAM Iztapalapa.
cbs2212801228@izt.uam.mx

Cristina Martínez Nava

Alumna en UAM Xochimilco.
2211801779@alumnos.xoc.uam.mx

Manuel Palomo Morales

Alumno de UAM Iztapalapa.
manuelpm.biol@gmail.com

Lecturas recomendadas

FAO (2025), *Versión resumida de el estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2025: Hacer frente a la inflación alta de los precios de los alimentos en aras de la seguridad alimentaria y la nutrición*, Roma, FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF. Disponible en: <https://doi.org/10.4060/CD6015es>, consultado el 21 de agosto de 2025.

Jacuinde-Guzmán, J. K., H. B. Escalona-Buendía, D. Raddatz-Mota, F. Rivera-Cabrera F. y L. A. A. Soriano-Melgar (2025), “Nanopartículas de calcio como alternativa en la conservación de sandía mínimamente procesada”, en M. A. De Leo Winkler y C. A. Abarca García (coords.), *Estrategias de conservación de los socioecosistemas. Un repertorio de proyectos* [ePub], Universidad Autónoma Metropolitana, pp. 400-403. Disponible en: <https://casade librosabiertos.uam.mx/gpd-estrategias-de-conservacion-de-los-socioecosistemas-9786072834378.html>, consultado el 21 de agosto de 2025.

Organización de las Naciones Unidas (onu) (2024), *Perspectivas de población mundial 2024: Resumen de resultados*, Nueva York, Organización de las Naciones Unidas. https://population.un.org/wpp/assets/Files/WPP2024_Summary-of-Results.pdf, consultado el 21 de agosto de 2025.

World Food Programme (wfp) (2021), “In world of wealth, 9 million people die every year from hunger, wfp Chief tells Food System Summit”, World Food Programme [en línea]. Disponible en: https://www.wfp.org/news/world-wealth-9-million-people-die-every-year-hunger-wfp-chief-tells-food-system-summit?utm_source=chatgpt.com, consultado el 21 de agosto de 2025.

José Eduardo González Reyes

Desde las redes

Vaporizar huevos de dinosaurio para conocer su edad

Datar fósiles puede ser una tarea complicada, pues las muestras para hacerlo deben cumplir con determinadas características. Además, algunos métodos, como el del carbono 14, no funcionan para estimar la edad de muestras más antiguas de 50 mil años.

En el caso de los huevos de dinosaurios, los investigadores han estimado su edad por medio del estudio de las capas de cenizas volcánicas o sedimentos que se encuentran incrustados en los especímenes, es decir, mediante un método indirecto. Sin embargo, esta técnica es imprecisa, pues el material pudo haberse formado después del momento en el que se pusieron los huevos.

Un grupo de investigación, liderado por Qingmin Chen del Centro Experimental de Estudios Geológicos de Shaanxi en China, recurrió a una técnica de datación directa, usando 28 huevos de dinosaurio encontrados en el sitio de Qinglongshan, en Hubei,

China, que han sido clasificados como pertenecientes a la especie *Placoolithus tumiaolingensis*.

Para determinar la edad de un huevo, los investigadores dispararon un microláser contra fragmentos del cascarón, lo que vaporizó la muestra convirtiéndola en un aerosol. El vapor resultante contenía átomos de uranio y plomo. El uranio se desintegra naturalmente en plomo. Dado que la desintegración ocurre a un ritmo constante, el estudio de la composición de los átomos de uranio en desintegración y los átomos de plomo estables atrapados en material geológico revela la edad del fósil, como una especie de reloj atómico.

Gracias a esta técnica se pudo estimar que los huevos datan del Cretácico superior; específicamente tienen una edad de 85.9 millones de años.

Aunque este método ya se usaba previamente con fósiles de dientes y huesos, así como en rocas y minerales, es la primera vez que se utiliza con huevos de dinosaurio.

Algunos investigadores son cautelosos con esta técnica de datación, pues consideran que se deben tener condiciones específicas para poder estimar la edad sin errores; por ejemplo, debidos a procesos que pudieran haber modificado la composición del material fosilizado.



Numerosos huevos de dinosaurio se han encontrado en la región de Shiyang, China, de los que hasta ahora sólo se tenían estimaciones de edad relativa. Fotografía: Bi Zhao.

Más información

Chen y cols. (2025), "Geological age of the Yunyang dinosaur eggs revealed by in-situ carbonate U-Pb dating and its scientific implications", *Frontiers in Earth Science*, 13:1638838. Disponible en: <<https://doi.org/10.3389/feart.2025.1638838>>, consultado el 18 de septiembre de 2025.

Retos para disminuir la mortalidad por enfermedades no transmisibles

Las enfermedades no transmisibles (ENT), es decir, afecciones de larga duración que no se transmiten de una persona a otra, como el cáncer, las enfermedades cardiovasculares, la diabetes y las enfermedades respiratorias crónicas, son la principal causa de muerte a nivel mundial.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que las ENT mataron al menos a 43 millones de personas en 2021, lo que equivale al 75 % de las muertes en el mundo que no se deben a la pandemia. Por ello las Naciones Unidas se han fijado el objetivo de reducir, para 2030, a un tercio las muertes por estas enfermedades.

Se han formulado numerosos compromisos políticos, así como planes y recomendaciones nacionales, regionales y mundiales sobre intervenciones clínicas y de salud pública para ayudar a reducir la carga sanitaria de las ENT, por lo que es razonable preguntarse si estos esfuerzos están teniendo el impacto deseado en la disminución de muertes.

Para responder a esta pregunta, los investigadores del equipo Cuenta Regresiva de ENT 2030 realizaron un estudio para conocer la evolución de la mortalidad por ENT en distintos países.

Encontraron que, entre 2010 y 2019, la probabilidad de morir por una ENT antes de los 80 años disminuyó en 152 países para las mujeres, y en 147 para los hombres. Aunque suena esperanzador, los datos muestran que más de la mitad de los países experimentaron descensos más lentos en la década de 2010 en comparación con la anterior.

En 2019, las mujeres en Japón y los hombres en Singapur tenían el menor riesgo de morir por una ENT entre los países estudiados, mientras que las mujeres en Afganistán y los hombres en Suazilandia —una pequeña monarquía en el sur de África— experimentaban el mayor riesgo.

México, a la par que Nicaragua y Filipinas, tuvo una disminución en la mortalidad por ENT, tanto para hombres como para mujeres, a pesar de registrar un aumento en la mortalidad por cardiopatía isquémica, enfermedad que se produce cuando las arte-



México tuvo una disminución en la mortalidad por enfermedades no transmisibles en la década de 2010-2020, pero registró un aumento en la mortalidad por cardiopatía isquémica. Fotografía: Freepik.

rias que suministran sangre al músculo del corazón —llamadas arterias coronarias— se obstruyen de manera parcial o completa causando una falta de flujo sanguíneo.

El estudio encontró que los principales impulsores de las mejoras en las tasas de mortalidad fueron la incorporación de mejores tratamientos y prevención en los sistemas de atención sanitaria, la adopción generalizada de estatinas e hipertensivos para reducir el riesgo de ataques cardíacos y accidentes cerebrovasculares, y el desarrollo de vacunas para la hepatitis y el cáncer de cuello uterino.

La mortalidad por enfermedad de Alzheimer y demencias aumentó en 65 % de los países y en 90 % de los países de altos ingresos. Los autores señalan que se necesita urgentemente acelerar la financiación y la implementación de programas que aborden estas enfermedades.

Más información

Colaboradores de Cuenta Regresiva de ENT 2030 (2025), “Benchmarking progress in non-communicable diseases: a global analysis of cause-specific mortality from 2001 to 2019”, *The Lancet*. Disponible en: <[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(25\)01388-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(25)01388-1)>, consultado el 18 de septiembre de 2025.

Mosquitos hackeados contra el dengue



Cuando mosquitos portadores de la bacteria *Wolbachia* son liberados al ambiente, se reproducen con mosquitos silvestres, ayudando a formar una nueva generación con menor capacidad de transmitir el virus del dengue. Fotografía: Instituto Fiocruz.

El 1 de 2024 fue el peor año para los diferentes brotes de dengue en América Latina. Brasil superó los seis millones y medio de casos y contabilizó 6 300 muertes debido a esta enfermedad que se transmite por medio de la picadura de mosquitos.

Por ello el gobierno puso en marcha un programa basado en mosquitos infectados con una bacteria del género *Wolbachia*, que reduce la probabilidad de que los mosquitos transmitan el virus del dengue a humanos. *Wolbachia* está presente de forma natural en alrededor del 50 % de los insectos, pero no en *Aedes aegypti*, el principal transmisor del dengue y de muchos otros virus.

Cuando los machos infectados se aparean con hembras sanas, no se producen crías. Las hembras infectadas pueden reproducirse con éxito tanto con machos infectados como con machos sanos, y así transmitir la bacteria a sus crías. Esto significa que las poblaciones locales de mosquitos desarrollan altas tasas de infección por *Wolbachia*, lo que, a su vez, debería reducir las tasas de transmisión del dengue a humanos.

Esta estrategia fue desarrollada por el Programa Mundial de Mosquitos, que lleva a cabo un grupo de la Universidad de Monash en Melbourne, Australia, y que opera en 14 países, entre ellos México, Vietnam, Indonesia y Colombia.

En Brasil, los mosquitos hackeados con la bacteria se producen en una biofábrica ubicada en Curitiba, ciudad del sur del país que puede producir 100 millones de huevos a la semana, lo que la convierte en la mayor instalación de este tipo en el mundo.

La evidencia más sólida de la eficacia de *Wolbachia* hasta la fecha proviene de un estudio realizado en Indonesia, que demostró que el establecimiento de la bacteria en mosquitos locales redujo la incidencia de casos confirmados de dengue sintomático en un 77 por ciento.

El equipo brasileño ahora busca realizar lo propio con un estudio controlado aleatorio. Si se obtienen resultados similares a los de Indonesia, éste podría ser el último paso antes de que la OMS emita una recomendación formal sobre el uso de *Wolbachia* para ayudar a los países a controlar el dengue.

A la par de este esfuerzo, el Instituto Butantan tiene en proceso de aprobación una vacuna que tuvo que mostrar su eficacia contra los cuatro serotipos del virus y demostrar que no provoca reacciones adversas en personas que nunca han tenido dengue antes de la inoculación.

Más información

Pinto (2025), "How billions of hacked mosquitoes and a vaccine could beat the deadly dengue virus", *Nature*, 645:578-580. Disponible en: <<https://doi.org/10.1038/d41586-025-02918-8>>, consultado el 18 de septiembre de 2025.

Noticias de la Academia Mexicana de Ciencias



Asamblea General de la Red Interamericana de Academias de Ciencias

Del 2 al 4 de septiembre de 2025, se llevó a cabo en la Ciudad de México la Asamblea General de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS) en la que se congregaron los representantes de las academias de Argentina, Bolivia, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, el Caribe, Estados Unidos de América, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá, Perú y Uruguay.

La ceremonia de apertura del encuentro, realizada en el Auditorio “Dr. Alfonso Escobar Izquierdo” del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM, contó con la presencia en el presidium de la doctora Rosaura Ruiz, secretaria de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación del Gobierno de México; los doctores Leonardo Lomelí Vanegas y Gustavo Pacheco López, rectores de la UNAM y de la UAM, respectivamente; el doctor José Antonio Seade, presidente de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC); la doctora Karen Strier, codirectora de la IANAS; las doctoras Imelda López Villaseñor e Isabel Hubbard Escalera, directoras de los Institutos de Investigaciones Biomédicas y de Matemáticas de la UNAM, y el doctor Alberto Sánchez Hernández, director general del Cinvestav. También asistieron la doctora Blanca Jiménez Cisneros, Embajadora de México en Francia; la doctora María Soledad Funes Argüello, coordinadora de la Investigación Científica de la UNAM; la doctora Tamara Martínez Ruiz, secretaria de Desarrollo Institucional de la UNAM; el doctor William Lee Alardín, Coordinador de Relaciones y Asuntos Internacionales de la UNAM, así como expresidentes de la AMC y directores de diversas entidades académicas.



Participantes de la Asamblea General de IANAS 2025. Crédito: Eduardo González / AMC.



Alberto Sánchez Hernández, director general del CINVESTAV; Imelda López Villaseñor, directora del Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM; José Antonio Seade, presidente de la AMC; Rosaura Ruiz, secretaria de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación del Gobierno de México; Leonardo Lomelí Vanegas y Gustavo Pacheco López, rectores de la UNAM y de la UAM, respectivamente; Karen Strier, codirectora de IANAS; e Isabel Hubbard Escalera, directora del Instituto de Matemáticas de la UNAM, durante la inauguración de la Asamblea General de IANAS 2025. Crédito: Eduardo González / AMC.

El doctor Seade resaltó que estos encuentros buscan vincular y fortalecer a la comunidad científica del continente para contribuir a su desarrollo científico y sostenible; expuso también que la Asamblea General de la IANAS se realiza cada tres años.

Previo a inaugurar el encuentro, la doctora Ruiz apuntó que la IANAS tiene un papel clave en la conexión de las comunidades científicas del continente porque “fue creada para fortalecer la ciencia en favor del desarrollo sostenible y promover la colaboración regional”.

Al término de la ceremonia, la doctora Julia Carabias Lillo, miembro de El Colegio Nacional, impartió la conferencia “The Sustainability of Development: The 21st Century’s Challenge”, en la que resaltó la necesidad de formalizar mecanismos de colaboración y transferencia de conocimiento científico para la toma de decisiones y la planificación de políticas públicas sobre el cambio climático.

En el marco de Asamblea General de la IANAS y como parte de las sesiones de trabajo, se incluyeron las siguientes cuatro conferencias magistrales:

- “Leveraging Artificial Intelligence to Empower Migrants”, Pedro Salazar, Instituto de Investigaciones Jurídicas-UNAM.
- “Safeguarding Water Quality to Ensure Sustainability”, Blanca Jiménez, Embajadora de México en Francia.
- “The National Autonomous University of Mexico”, William Lee, Coordinador de Relaciones y Asuntos Académicos-UNAM.

- “A New Ministry that Leverages S&T for Mexico’s Development and Global Competitiveness”, Juan Luis Díaz de León, Subsecretario de Desarrollo Tecnológico, Vinculación e Innovación de la SECIHTI.
- “Anxiety Crisis: What is Happening to our Adolescents?”, María Elena Medina-Mora, El Colegio Nacional.

85 aniversario de Ciencia

La revista *Ciencia* cumplió 85 años de vida el pasado 1 de marzo. En el marco de esta celebración se realizó el Foro “85 años de *Ciencia*: retos para las revistas de divulgación” en el Foro de Química de Universum, Museo de las Ciencias, lugar en el que se dieron cita editores y escritores de publicaciones periódicas de diferentes instituciones.

En la inauguración del evento participaron el doctor José Antonio Seade, presidente de la AMC; el doctor Mario De Leo, director de Comunicación del Conocimiento de la UAM; la maestra María Emilia Beyer, directora de Universum, y el doctor Alonso Fernández Guasti, director de *Ciencia*.

El doctor Seade realizó un recuento histórico de la vida de la revista en el que resaltó el papel del doctor Fernando del Río—primer director, en la época en la que la AMC la acogió como uno de sus programas—, así como el trabajo de todos los directores que ha tenido: Ricardo Tapia, Miguel Pérez de la Mora y, en su época actual, Alonso Fernández Guasti. Además, puso especial énfasis en las tres ocasiones en las que la revista ha sido galardonada con el Premio al Arte Editorial, lo que refleja su calidad y prestigio.



Mario de Leo, director de Comunicación del Conocimiento de la UAM; María Emilia Beyer, directora de Universum; José Antonio Seade, presidente de la AMC; Alonso Fernández Guasti, director de *Ciencia*, durante la inauguración del “Foro 85 años de *Ciencia*: retos para las revistas de divulgación”. Crédito: Eduardo González / AMC.

Por su parte, el doctor Fernández Guasti agradeció el apoyo financiero de la UAM en los últimos años, que ha permitido que la publicación mantenga su periodicidad puntual.

Durante el foro se realizó un panel en el que se recapituló la historia de las revistas científicas en México, con la participación de la doctora Dalia Valdez Garza del Instituto de Investigaciones Bibliográficas de la UNAM, el físico Juan Tonda Mazón de la Dirección General de Divulgación de la Ciencia (DGDC) de la UNAM y el doctor Mario A. De Leo Winkler.

En un segundo panel, editoras y editores de publicaciones de divulgación de la ciencia compartieron experiencias y retos de su práctica. Participaron Maia F. Miret de *¿Cómo ves?*, Óscar Rosas de *Avance y Perspectiva*, Adriana Ramírez Segura de *Conversus*, Emilio Salceda Ruanova de *Elementos*, y Alonso Fernández Guasti de *Ciencia*.

Participó el físico Sergio de Régules de la DGDC-UNAM con la conferencia "Y sin embargo te mueve: deleitar, conmover y persuadir con la ciencia".

Para finalizar, Rosanela Álvarez compartió su experiencia como editora de la revista *Ciencia* durante poco más de dos décadas.

Falleció Julieta Fierro, reconocida astrónoma y divulgadora de la ciencia

La Academia Mexicana de Ciencias y el Comité Editorial de su revista *Ciencia* lamentan profundamente el fallecimiento de la doctora Julieta Fierro Gossman, acaecido el pasado 19 de septiembre de 2025. México y su comunidad científica pierden a una extraordinaria divulgadora de la ciencia, que logró difundir el amor por la ciencia a todo el público.

La doctora Fierro estudió la carrera de Física en la UNAM y más adelante hizo una maestría en Astrofísica. Fue investigadora titular del Instituto de Astronomía y profesora de la Facultad de Ciencias de la UNAM. De 2000 a 2004 fue directora de la Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la misma



Julieta Fierro durante una conferencia del programa Tu Mundo con Ciencia de la AMC. Fotografía: Eduardo González / AMC.

casa de estudios. Ocupó la Silla XXV de la Academia Mexicana de la Lengua y fue miembro del Sistema Nacional de Investigadores en el máximo nivel.

Gracias a su incansable labor realizando actividades y productos de divulgación de la ciencia, recibió numerosos reconocimientos internacionales como el Premio Kalinga de la UNESCO para la popularización de la ciencia y el Premio a la Divulgación de la Academia Mundial de Ciencias; asimismo, reconocimientos nacionales como el Premio Nacional de Divulgación de la Ciencia “Alejandra Jáidar” y la Medalla al Mérito en Ciencias 2021 “Ing. Mario Molina”.

Tres bronce para México en la Olimpiada Internacional de Biología

La delegación mexicana que participó en la 36ª Olimpiada Internacional de Biología (IBO) 2025, en Filipinas, obtuvo un resultado notable al regresar a casa con tres medallas de bronce. El evento se llevó a cabo del 20 al 27 de julio de 2025 en la Universidad Ateneo de Manila, ubicada en la ciudad de Quezón, Filipinas. Reunió a estudiantes de más de 80 países de cinco continentes para poner a prueba sus conocimientos y habilidades en diversas áreas de la biología.

Los estudiantes mexicanos que se hicieron acreedores a la medalla de bronce son:

- David Gil, de Baja California,
- Sebastián Cisneros, de Oaxaca,
- Ricardo Hernández, de la Ciudad de México, y
- Emiliano Brambila Muñoz, de Guadalajara, quien completó la delegación con una valiosa participación.



Delegación mexicana durante la 36ª Olimpiada Internacional de Biología 2025. Crédito: AMC.

Los profesores que acompañaron a la delegación mexicana fueron el maestro Miguel Ángel Palomino Garibay y el doctor Moisés Fiesco Roa.

La IBO es un evento que promueve el desarrollo de las ciencias biológicas a nivel global, fomentando el intercambio cultural, así como el compañerismo entre los jóvenes más prometedores del mundo.

México se distingue en la Olimpiada Internacional de Química en Dubái

Durante la 57ª Olimpiada Internacional de Química (IChO, por sus siglas en inglés), realizada en Dubái, Emiratos Árabes Unidos, la delegación mexicana tuvo una destacada actuación al obtener dos medallas de bronce y una mención honorífica. La competencia, celebrada del 5 al 14 de julio de 2025, reunió a estudiantes de 90 países de diversos continentes: Asia, África, América, Europa y Oceanía.

Los jóvenes mexicanos galardonados son:

- Gerardo Yahel Ángeles Reyes (Querétaro): medalla de bronce,
- Alberto Alejandro Pérez Gutiérrez (Jalisco): medalla de bronce,
- Diego Enrique Guerrero Guzmán (Jalisco): mención de honor,
- Adrián Pacheco Toledo (Morelos), quien completó la delegación con una valiosa participación.

La selección mexicana fue acompañada por los doctores Carlos Mauricio Castro Acuña y David Octavio Corona Martínez.



Delegación mexicana durante la 57ª Olimpiada Internacional de Química. Crédito: AMC.

México ha participado en esta justa científica desde 1992 y contabiliza 8 medallas de plata, 49 de bronce y 20 menciones honoríficas.

“Las Marianas de la Mar” en la Fiesta Nacional de Francia

El 14 de julio de 2025, la exposición “Las Marianas de la Mar” fue presentada en la Embajada de Francia en México, en el marco de su Fiesta Nacional. Delphine Borione, Embajadora de Francia en México, señaló que este año la celebración del país galo tenía como eje los océanos, por lo que esta exposición toma una especial relevancia en la celebración.

La exposición, realizada bajo el liderazgo de la doctora Dalila Aldana Aranda, presidenta de la sección Sur-Sureste de la AMC, tiene como objetivo visibilizar y reconocer la labor de 11 científicas franco-mexicanas por sus grandes contribuciones al



Exposición “Las Marianas de la Mar” en la Embajada de Francia en México. Crédito: Cinvestav.



Dalila Aldana Aranda, presidenta de la sección Sur-Sureste de la AMC, y Delphine Borione, Embajadora de Francia en México. Crédito: Cinvestav.

conocimiento científico marino, así como presentar a México y Francia como potencias marítimas.

“Las Marianas de la Mar” se realizó en una alianza entre el Cinvestav, la Alianza Francesa en Mérida y la Academia Mexicana de Ciencias, por medio de la unión de dos programas de la Organización de las Naciones Unidas: el Día Internacional de la Niña y la Mujer en la Ciencia (11F) y la Década de los Océanos, todo ello en el marco de la 3ª Reunión Mundial de los Océanos, celebrada en junio de 2025 en Niza, Francia.

CITA

(Ciencia, Innovación, Tecnología y Academia)

La AMC y el Centro de Ciencias de la Complejidad (C3) de la UNAM coordinan CITA (Ciencia, Innovación, Tecnología y Academia), espacio mensual en el que se reúnen miembros de distintas comunidades de la ciencia, la tecnología, la innovación, la comunicación de la ciencia y el público no especializado para intercambiar perspectivas sobre temas científicos y tecnológicos relevantes y coyunturales.

Los encuentros del programa de CITA son coordinados por Julia Tagüena Parga, Coordinadora de Comunicación del C3, investigadora emérita del Instituto de Energías Renovables de la UNAM y miembro de la AMC. El formato es presencial y también se transmite por los canales de YouTube de la AMC y del C3.

Las conferencias más recientes son:

TIENES UNA
CITA
Ciencia • Innovación • Tecnología • Academia

EN EL C3 CON LA
ACADEMIA MEXICANA
DE CIENCIAS
José Franco
Instituto de Astronomía, UNAM y Consejo Editorial de Obsidiana

**REVISTA OBSIDIANA:
CIENCIA Y CULTURA**

Panel de comentaristas:

- JOSÉ SEADE
Instituto de Matemáticas, UNAM
Academia Mexicana de Ciencias
- ELVA ESCOBAR
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM
- SANDRA PANI
Artista independiente
- MODERADORA: JULIA TAGÜENA
IER y C3-UNAM, AMC

26 de agosto • 12 horas • Auditorio del C3

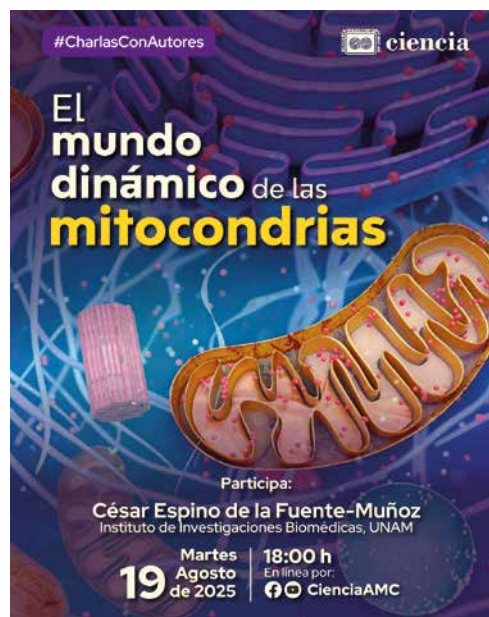
Evento presencial con transmisión
por YouTube del @c3.unam y bit.ly/CITAgo25
Informes: comunicacion@c3.unam.mx

- **24 de junio de 2025**
 “Microbioma: la promesa de estudiar los microbios”
 Alejandro Frank
 El Colegio Nacional, ICN y C3, UNAM
<https://www.youtube.com/watch?v=VpjXxAPesc4>
 Al término de la conferencia, se invitó a un panel de especialistas para comentar sobre el tema. Participaron Esperanza Martínez del Centro de Ciencias Genómicas de la UNAM y Saúl Huitzil del C3-UNAM, con Julia Tagüeña, coordinadora de CITA, como moderadora.
- **26 de agosto de 2025**
 “Revista *Obsidiana*: ciencia y cultura”
 José Franco
 Instituto de Astronomía-UNAM y presidente del Consejo Editorial de *Obsidiana*
<https://www.youtube.com/live/eOFtIAXr8og>
 Al término de la conferencia, se invitó a un panel de especialistas para comentar sobre el tema. Participaron José Seade del Instituto de Matemáticas-UNAM y presidente de la Academia Mexicana de Ciencias; Elva Escobar del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología-UNAM, y Sandra Pani, artista independiente, con Julia Tagüeña, coordinadora de CITA, como moderadora.

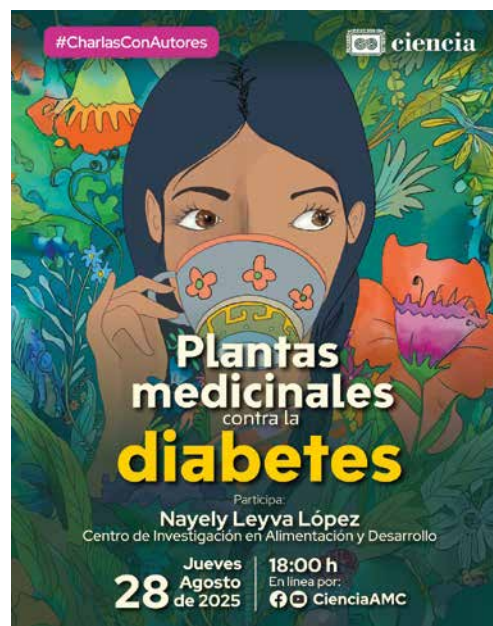
Charlas con autores de la revista *Ciencia* de la AMC

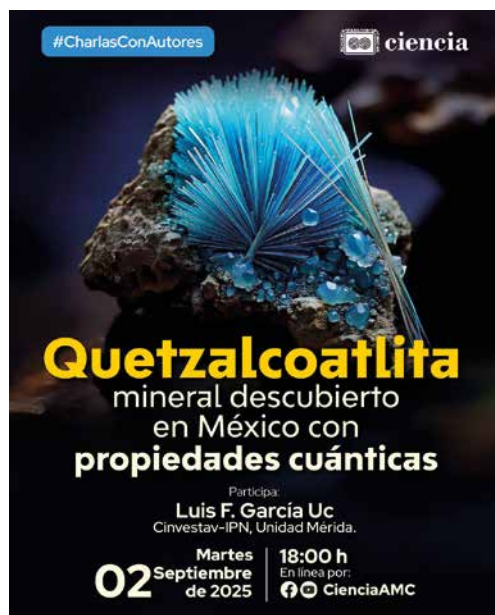
Continúan las pláticas que, a través de las redes sociales de la revista *Ciencia*, dictan diversos autores que han contribuido en diferentes números de la misma. Las charlas más recientes han sido:

- **17 de junio de 2025**
 “Cannabis: el tránsito de una planta utilitaria a una mágica”
 Felipe Vázquez Flota
 Centro de Investigación Científica de Yucatán
<https://www.youtube.com/live/nVN-tbBim78>
- **24 de junio de 2025**
 “Colores, tamaños y formas: la diversidad de los reptiles de México”
 Daniel Vázquez Restrepo
 Princeton University
<https://www.youtube.com/live/e6sSitrHN2Q>



- **19 de agosto de 2025**
 “El mundo dinámico de las mitocondrias”
 César Espino de la Fuente-Muñoz
 Instituto de Investigaciones Biomédicas-UNAM
<https://www.youtube.com/live/E5OjyHT6pzk>
- **28 de agosto de 2025**
 “Plantas medicinales mexicanas contra la diabetes”
 Nayely Leyva López
 Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C., Unidad Culiacán
<https://www.youtube.com/live/N1sL97Jy5y0>





- 2 de septiembre de 2025
"Quetzalcoatlita: mineral descubierto en México con propiedades cuánticas"
Luis F. García Uc
Cinvestav-IPN, Unidad Mérida
<https://www.youtube.com/live/UwW2b3TP57A>
- 8 de septiembre de 2025
"La conspiración del silencio: mentir u ocultar la verdad"
Roberto Oropeza Tena
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
<https://www.youtube.com/live/2t8f38etHlk>



Webinar "Tu mundo con ciencia"

Continúa el ciclo de conferencias "Tu mundo con ciencia", impartido por exbecarias ganadoras de las Becas para Mujeres en la Ciencia L'Oréal-Unesco-AMC. Las pláticas se llevan a cabo el segundo jueves de cada mes y son transmitidas por los canales de las redes sociales de la AMC. Las conferencias están dirigidas a jóvenes de nivel bachillerato para fomentar vocaciones científicas. En el mes de agosto de 2024 inició su cuarta temporada. Las conferencias más recientes son:

- 14 de agosto de 2025
"Microbios en tu ensalada: los habitantes ocultos de las plantas crudas"
Esperanza Martínez
Centro de Ciencias Genómicas de la UNAM
<https://www.youtube.com/live/YHF4uMQ8KyM>
- 18 de septiembre de 2025
"Cerámicos para la energía y el medioambiente"
Issis Claudette Romero Ibarra
Instituto Politécnico Nacional
<https://www.youtube.com/live/6B9DDCjT3qU>



En nuestro próximo
número de
enero-marzo de 2026

EMBARAZO ADOLESCENTE



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

