

ciencia

Revista de la Academia Mexicana de Ciencias

Novedades científicas

La fauna silvestre mexicana, un recurso biocultural

Ciencia en los Pantanos de Centla

El uso tradicional de las plantas medicinales, ¿tiene sustento científico?

La importancia de los servicios ecosistémicos

Las plantas y la luz solar

Ranas que silvan entre las piedras

Mamíferos, ¿qué son y desde cuándo?

**DESDE LA UAM:
Celebrando 50 años de la
Universidad Autónoma
Metropolitana**

www.revistaciencia.amc.edu.mx



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

ciencia

Revista de la Academia Mexicana de Ciencias

octubre-diciembre 2024 volumen 75 número 4

■ Mensaje del presidente de la AMC <i>José A. Seade</i>	3
■ Desde el Comité Editorial <i>Alonso Fernández Guasti</i>	6
Novedades científicas	
■ Las plantas y la luz solar <i>Roberto Carlos Barragán Campos y Guillermo García-Torales</i>	8
■ Ciencia en los Pantanos de Centla <i>Leonardo Noriel López-Jiménez</i>	16
■ Acuaponía, cultivos del pasado para la alimentación del futuro <i>Leticia Félix Cuencas, Samuel López Tejeida y Jesús Josafat de León Ramírez</i>	22
■ El uso tradicional de las plantas medicinales, ¿tiene sustento científico? <i>Rosa Virginia García Rodríguez y Libna Sulem Gallardo Beatriz</i>	28
■ Ranas que silban entre las piedras <i>José Manuel Serrano-Serrano y Leticia M. Ochoa-Ochoa</i>	36
■ Mamíferos, ¿qué son y desde cuándo? <i>Cristian Cornejo-Latorre y Luz María Sil-Berra</i>	42
■ La fauna silvestre mexicana, un recurso biocultural <i>Raúl Valle Marquina, Alejandro García Flores y Ortencia Colín Bahena</i>	50
■ Geodiversidad y biodiversidad en un Área Natural Protegida del Golfo de California <i>Jesús Roberto Vidal Solano y Luis Alonso Velderrain Rojas</i>	58
■ La importancia de los servicios ecosistémicos <i>Jessica Bravo-Cadena y Numa Pavón Hernández</i>	64
■ Los ribosomas y la clasificación de los seres vivos <i>Luis David Maldonado Bonilla</i>	70
■ Los ARN no codificantes y su relación con el cáncer <i>Susana Guerra y Enrique Castaño de la Serna</i>	76
De actualidad	
■ De estetoscopios a dispositivos inteligentes: una revolución del monitoreo materno-fetal <i>Jenny Noemí Muñoz Montes de Oca, Héctor Romero Morales y José Javier Reyes Lagos</i>	85
Desde la UAM	
■ Celebrando 50 años de la Universidad Autónoma Metropolitana <i>Patricia Saavedra Barrera y Francisco José Santos Zertuche, coordinadores</i>	91
Noticias de la AMC	
	98



Portada: Pixabay.



Separador: Pixabay.

ciencia, revista de la Academia Mexicana de Ciencias, volumen 75, número 4, correspondiente a octubre-diciembre de 2024, 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 2024 volumen 75 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
Alicia Ziccardi Contigiani

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. 9, 17, 29, 51, 59, 71
Pixabay: pp. 13, 15, 33, 37, 43, 48, 55, 56, 65, 67, 80, 85, 87
Shutterstock: p. 23
Adobe Firefly: pp. 46, 75, 77, 4a de forros

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 de la



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Mensaje del presidente de la AMC

Un nuevo comienzo

Este año comienza una nueva era para la ciencia mexicana. Tendremos cambio en el Gobierno Federal, lo que conlleva en sí mismo implicaciones significativas, y tendremos una nueva Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación. El CONACyT, ahora con H, que ha jugado un papel preponderante en la ciencia mexicana desde 1970, dejará de existir.

Este es un momento que invita a la reflexión sobre dónde estamos y hacia dónde queremos ir: como país, como comunidad científica. Y para eso, es conveniente recordar de dónde venimos, y rememorar brevemente algunas de las aportaciones que la AMC ha hecho a nuestro país. La historia es larga y fascinante, y de ninguna manera pretendemos hacer un estudio exhaustivo.

Este año la Academia cumplió 65 años, lo que celebró con una reunión en el Auditorio Alfonso Caso de la UNAM, en presencia del Rector de esa Máxima Casa de Estudios, Dr. Leonardo Lomelí Vanegas, del Rector General de la UAM, Dr. José Antonio De los Reyes Heredia y amplios sectores de la comunidad científica y académica nacional, así como autoridades educativas de la capital. En esa reunión se celebró también el ingreso de nuevos miembros a la AMC. El entusiasmo mostrado entre los asistentes a esa celebración fue notable; en cierto sentido fue un re-encuentro, tan necesario después de años de distanciamiento, por la pandemia y más. Es evidente que como comunidad anhelamos tener mayor presencia y participación en la vida nacional, queremos contribuir más a tener un México mejor para todas y todos. Fue también una feliz coincidencia que ese encuentro fuera en el auditorio Alfonso Caso que, por muchos años y hasta finales de los 1970s, fue el auditorio de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

La membresía y su historia, son las dos mayores riquezas de nuestra Academia: son ya 65 años de reunir a buena parte de las y los mejores científicos del país, en todas las áreas y en todas partes, desde Baja California y Sonora, hasta la península de Yucatán, construyendo puentes y edificios para servir a México.

Las bases para tener una ciencia moderna en México se remontan a principios del siglo XX, y particularmente a la creación de la Escuela Nacional de Altos Estudios de la entonces Universidad Nacional de México, en 1910. De ésta surgieron, a finales de los años 30, las facultades de Ciencias y de Filosofía y Letras de la UNAM, génesis de múltiples institutos de investigación científica, tanto en ciencias exactas y naturales, como en ciencias sociales y humanidades.

En 1930, la ya existente Sociedad Científica “Antonio Alzate” fue designada como Academia Nacional de Ciencias “Antonio Alzate”, y en 1935 el gobierno encabezado por Lázaro Cárdenas creó el Consejo Nacional de la Educación Supe-

rior y de la Investigación Científica, y poco después el Instituto Politécnico Nacional. En 1940 se crea El Colegio de México y en 1961 nace el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN, que con los años se ha expandido hasta tener una de las redes más importantes de centros de investigación del país, junto con las redes de la UNAM y la de Centros Públicos de Investigación.

Es en ese contexto que, gracias a la labor visionaria de varios grandes científicos, y con el propósito de contribuir a crear un México donde la ciencia y la tecnología sean actores importantes en el desarrollo y el bienestar social del país, que en 1959 nace la Academia de Investigación Científica, hoy Academia Mexicana de Ciencias, la AMC.

El célebre astrónomo mexicano Guillermo Haro, segundo presidente de la Academia, en 1960 y 61, decía:

“Servirse de la ciencia y la técnica con un profundo espíritu humanista, conducir las y encauzarlas hacia el bienestar y la paz, es la tarea fundamental de nuestra época.”

Esas palabras, continúan vigentes.

La Academia Mexicana de Ciencias es un espacio de diálogo donde convergen todas las áreas del conocimiento; un punto de encuentro de líderes académicos de México en todas las ciencias, con una mirada de opiniones e ideologías; un lugar donde se han gestado propuestas que han dejado huella profunda en nuestro país.

Es así que a finales de la década de los 60s, la AMC, entonces encabezada por el Dr. Ismael Herrera, colabora con el gobierno federal a través del Dr. Eugenio Méndez Docurro, para crear el CONACyT y así comenzar una nueva era para la ciencia mexicana.

En 1984, con la participación de, entre otros, los doctores José Sarukhan, Jorge Flores y Pablo Rudomin, la AMC juega nuevamente un papel central para la ciencia mexicana, al colaborar con la Secretaría de Educación Pública para crear el Sistema Nacional de Investigadores.

En 2002, la AMC colaboró con varias instituciones y con el gobierno federal para dar origen

al Foro Consultivo Científico y Tecnológico, cuyo primer Coordinador fue el Dr. José Antonio de la Peña, entonces presidente de la Academia. En sus 18 años de existencia, el Foro jugó un papel muy significativo, asesorando al ejecutivo, al legislativo, a gobiernos estatales y al CONACyT en materia de Ciencia, Tecnología e Innovación, CTI, estableciendo lazos de comunicación entre académicos, gobierno y sector privado; creando grupos de trabajo interdisciplinarios y documentos sobre temas relevantes. La desaparición del Foro deja un vacío en la posibilidad de diálogo entre los distintos sectores participantes en la CTI, que es importante llenar.

A principios de este año 2024, la AMC realizó un ejercicio colegiado de reflexión acerca de la política científica en nuestro país. Ese documento fue publicado como un capítulo del libro *“Propuestas y reflexiones sobre el futuro de la política de ciencia, tecnología e innovación en México”*, coeditado por esta Academia y el IIPPG de la Universidad de Guadalajara; está accesible a todos en la página web de la AMC (<https://amc.edu.mx/documentos-de-politica-cientifica/>). En ese documento señalamos que México carece aún de una política de CTI robusta y con peso suficiente en la agenda nacional. La AMC tiene la convicción de que el diseño de esa política debe ser el resultado de un diálogo entre todos los actores del sistema de CTI, muy particularmente con la comunidad científica y académica del país, las instituciones correspondientes y el sector privado. El desarrollo e implementación de esa agenda, debe concebirse como una corresponsabilidad de todos los actores.

Hoy vemos señales positivas que dan esperanza: tendremos pronto una Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación. Si bien es cierto que hay discusión acerca de si crear una secretaría de estado era o no el modelo ideal de crecimiento para el sector de CTI, lo cierto es que esa era una demanda que amplios sectores de la comunidad venían realizando desde hace unos 30 años, y a mi parecer, es un claro signo de la importancia que la presidenta electa, la Dra. Claudia Sheinbaum, da a la investigación científica. Es muy afortunado, y un honor para nuestra Academia, que al frente de esa Secretaría estará la Dra. Rosaura Ruiz, quien conoce

al gremio, conoce el área y tiene amplia experiencia en puestos de alto liderazgo.

En el documento elaborado por la AMC a principios de este año, también señalamos que para lograr que la investigación científica y tecnológica aporte soluciones de fondo para resolver los grandes problemas nacionales, con un profundo sentido humanista, como lo ha planteado esta Academia desde hace más de cincuenta años, es necesario:

- i. desarrollar una estrategia de expansión de la planta científica nacional en todas las áreas;
- ii. ampliar los mecanismos de formación de recursos humanos en programas nacionales y extranjeros;
- iii. crear nuevos centros de investigación en áreas estratégicas; y dar autonomía a los CPIs;
- iv. lograr una adecuada vinculación con los sectores productivos y sociales;
- v. fomentar la divulgación de la ciencia y la colaboración con instituciones científicas internacionales;
- vi. tener visión de largo plazo, contemplando mecanismos de financiamiento estables, progresivos, multianuales y suficientes.

Con la creación de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, se abre una ventana de oportunidad para colaborar, reestablecer la confianza y sumar, academia y gobierno; para diseñar una gobernanza incluyente y participativa de todo el sector.

Más allá de quién sea más importante, si el gobierno, el sector privado, el sector académico o el sector social, que todos lo son, es un hecho que ninguno es más importante que los cuatro juntos, si se saben sumar. Y México necesita que sumemos.

El papel de la AMC debe ser el de un interlocutor que facilite el diálogo y las acciones concertadas con los demás integrantes del sistema.

Esperamos que los miembros de la AMC continúen siendo tanto excelentes investigadores, como incansables promotores y divulgadores de la ciencia, y formadores de vocaciones científicas. De esa ciencia que tanto necesita nuestro país para resolver sus grandes problemas, y para la que esta revista, *Ciencia*, juega un papel muy significativo.

JOSÉ A. SEADE

Desde el Comité Editorial

Estimados lectores:

Muy bienvenidos a este nuevo número de su revista *Ciencia*. En él descubrirán una serie de trabajos que seguramente serán de su interés.

El primer texto, “Un nuevo comienzo”, presenta reflexiones de nuestro presidente sobre la creación de la Academia Mexicana de Ciencias y sobre la recién creada Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación que estará dirigida por la doctora Rosaura Ruiz, quien conoce al gremio, el área y tiene amplia experiencia en puestos de liderazgo. Enhorabuena para toda la comunidad académica de México.

El primer artículo de las Novedades científicas nos habla sobre las plantas y la luz solar. Nos dice que la vegetación es indispensable para el desarrollo de muchas formas de vida. ¿Cómo es la radiación solar?, ¿cuál es la estructura interna de las hojas?, ¿cómo interactúa la luz solar con las hojas de las plantas? ¿Qué es la firma espectral y qué ventajas nos otorga conocerla? Todas las respuestas están en el artículo.

Sigan leyendo y entérense de que la investigación científica se puede realizar en espacios al aire libre, como las áreas naturales protegidas. Es indispensable hacer este tipo de investigación para promover la conservación biológica. Sin embargo, hace falta incentivar y dirigir la investigación en las áreas naturales protegidas a las ciencias sociales, económicas, pesqueras y políticas. En otro artículo, lean sobre la importancia del estudio geológico en las investigaciones realizadas en las áreas naturales protegidas. Muchas veces conocemos las especies, su abundancia, su conectividad y su función en los procesos ecológicos y evolutivos, pero desconocemos en qué tipo de sustrato rocoso ocurren, y suponemos que es similar en todas partes. ¿Influye el tipo de suelo en la diversidad biológica?

¿Qué es la acuaponía? Ante la creciente demanda de alimentos para la humanidad, es necesario implementar nuevas estrategias productivas. La acuaponía es una alternativa por su cualidad de promover un mayor aprovechamiento de los recursos para generar alimentos de calidad.

El desarrollo de la medicina moderna da sustento científico al uso de plantas medicinales como alternativa terapéutica. Además, la herbolaria ha sido fuente de fármacos eficaces, ahora comercializados por la industria farmacéutica. No obstante, es importante entender que, aunque existen muchos suplementos y fármacos que derivan de plantas, lo que es “natural” no siempre es totalmente seguro. Esto y más en el texto “El uso tradicional de las plantas medicinales, ¿tiene sustento científico?”.

En el artículo “Ranas que silban entre las piedras” lean sobre las ranas de dedos libres que se encuentran en los pedregales de varias ciudades de México. En años recientes, los científicos han demostrado que los coros que la fauna genera dentro de su

ambiente son esenciales para reproducirse. En México, 12 de las 42 ranas de dedos libres se encuentran en riesgo de extinción.

“Mamíferos, ¿qué son y desde cuándo?” En este escrito se presenta un panorama general del origen y la evolución de los mamíferos modernos que surgieron a partir del grupo de los *Synapsida* hace 323 millones de años. Ahora, los mamíferos presentan una gran diversidad morfológica, ecológica y evolutiva.

Desde el origen de las sociedades, los diversos grupos humanos han generado múltiples interacciones con la fauna silvestre. Una de las interacciones más relevantes es la caza para la alimentación (al menos el 20 % de la proteína animal consumida proviene de carne silvestre), la aplicación de la medicina tradicional, o el desarrollo de prácticas culturales. Estudien este tema en: “La fauna silvestre mexicana, un recurso biocultural”.

Los beneficios que los seres humanos obtenemos de los ecosistemas son denominados servicios ecosistémicos y actualmente vivimos una problemática ambiental global que genera la pérdida de estos beneficios. Es de gran importancia identificarlos, conocer su clasificación actual, su estado y tendencias de cambio, los factores que generan estos cambios y saber qué hacer para conservarlos. ¿Se imaginaban que la ubicación y calidad del agua, del suelo y su salud dependen de los servicios de regulación de procesos ambientales?

El conocimiento de la diversidad biológica crece a diario. En la actualidad se usa la información genética en forma de ácido desoxirribonucleico para clasificar a los seres vivos y obtener datos sobre su evolución. En el texto “Los ribosomas y la clasificación de los seres vivos” lean sobre cómo la información genética que conforma a los ribosomas ayuda a clasificar a las bacterias. Además, en el siguiente artículo “Los ARN no codificantes y su relación con el cáncer” descubran que

los niveles de expresión de estos ARN varían en diferentes condiciones, lo que está estrechamente asociado con enfermedades como el cáncer. Esta variación puede ser utilizada para el diseño de tratamientos contra esta enfermedad. ¿Sabían que apenas el 2 % del ADN genómico se traduce a proteínas; mientras que el 98 % restante posee otras funciones, como las estructurales, de regulación y producción de ARN no codificantes?

En el artículo De actualidad descubran que el monitoreo fetal (procedimiento que se realiza a las mujeres durante el embarazo para evaluar la salud del feto) ha evolucionado con la tecnología. El monitoreo materno-fetal 4.0 permite revisar el estado del feto y la madre de forma continua y remota durante el embarazo, al enviar información que ayuda a emitir un diagnóstico oportuno. Esta nueva era requiere los esfuerzos conjuntos de profesionales en ingeniería biomédica, involucrados en el diseño de instrumentos, algoritmos de ciencia de datos y telemedicina.

El artículo “Celebrando 50 años de la Universidad Autónoma Metropolitana” nos dice que esta universidad fue creada en 1974 como una propuesta innovadora en educación superior. Actualmente, la UAM cuenta con cinco unidades que ofrecen modelos educativos distintos. Cada unidad tiene tres divisiones que agrupan áreas afines. Después de 50 años, la UAM ha graduado a cerca de 200 000 estudiantes de licenciatura y 18 000 de posgrado, cuenta con 2 600 profesores de tiempo completo, de los cuales el 63 % tiene doctorado y 1 268 pertenecen al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores. Celebramos los 50 años de actividad académica, docente y de preservación de la cultura de la UAM. Muchas felicidades a la Universidad Autónoma Metropolitana, nuestro siempre generoso patrocinador.

ALONSO FERNÁNDEZ GUASTI
Director

Roberto Carlos Barragán Campos y Guillermo García-Torales

Las plantas y la luz solar

La vegetación proporciona numerosos beneficios y es indispensable para el desarrollo de la humanidad. Las plantas se han estudiado desde los principios de la civilización; sin embargo, es en la época moderna cuando la tecnología ha abierto la posibilidad de conocerlas desde otra perspectiva, con más detalle y sobre todo en su gran diversidad. En este artículo se explica cómo es la radiación solar y se describe la estructura interna de las hojas para entender la interacción de las plantas con la luz del Sol.

Introducción

El reino *plantae*, o de las plantas, es uno de los más importantes en nuestro planeta ya que es fundamental para la simbiosis entre todos los seres vivos, en la medida en que generan las condiciones de supervivencia de mamíferos, insectos y microorganismos (Oré, 2020). Las plantas nos suministran nutrientes, a través de la dieta extraemos compuestos aromáticos, vitaminas y fármacos. Su existencia es fundamental en la conservación de los mantos acuíferos, la regulación térmica y la absorción de dióxido de carbono, además de que evitan la erosión de la tierra (Palou, 2017). Por otro lado, son parte primordial en la producción de energía, la fabricación de muebles y utensilios, así como en el transporte y empaque de mercancías. Es tanta la dependencia de las plantas en la vida diaria que en los últimos años se han realizado estrategias para aumentar su reproducción mediante técnicas de ingeniería genética, agricultura de precisión e invernaderos especializados. Las técnicas actuales aplican los conocimientos físicos de la interacción de la radiación solar con la estructura interna de la vegetación, para aumentar la producción de frutas y verduras; prever afectaciones a gran escala ocasionadas por insectos, hongos o bacterias; garantizar la calidad de los cultivos, e incluso prevenir incendios forestales para preservar bosques, evitar catástrofes y cuidar el medio ambiente.

Energizando a la vegetación

El Sol es el cuerpo celeste más grande de nuestro sistema planetario y el único que proporciona energía al sistema solar. Las emisiones del astro rey contienen un



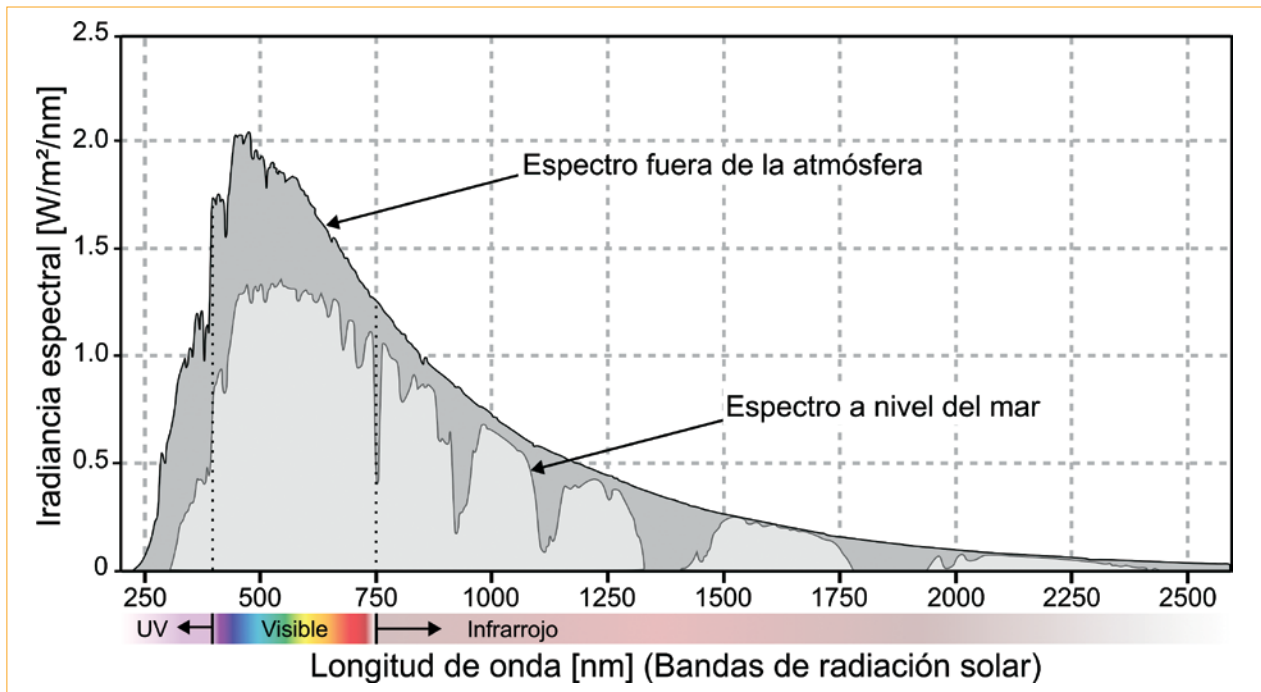


Figura 1. El espectro de radiación solar sobre la atmósfera y a nivel del mar que se considera que es el que incide en la superficie de la Tierra. Cada longitud de onda emitida por el Sol tiene un nivel de energía diferente. Datos tomados de *G173-03, ASTM International*.

conjunto de radiaciones electromagnéticas de diferente energía capaces de viajar a través del espacio. Estas radiaciones o **longitudes de onda** las identificamos como colores, pero, asombrosamente, el mayor número de las radiaciones que provienen de la estrella no pueden ser vistas por el ojo humano, como los rayos ultravioletas, que contienen longitudes de onda de 200 a 400 nanómetros (nm) y la radiación infrarroja, que va de los 700 nm a los 2 500 nm. Cuando hablamos de luz, nos referimos a la radiación electromagnética que podemos ver y abarca de los 400 nm a los 700 nm. Al conjunto de las radiaciones ultravioleta, visible e infrarroja se le conoce como el espectro de radiación solar, o espectro solar, el cual se ilustra en la **Figura 1**.

El espectro solar contiene varias bandas, formadas por el conjunto de radiaciones agrupadas por su similitud energética; por ejemplo, la banda del color verde corresponde a radiaciones que percibimos en diferentes tonos de verde, cada tono con un nivel de energía distinto. De manera similar, en la región del infrarrojo se definen otras bandas de radiación, como el infrarrojo cercano de 700 a 1 350 nm, el infrarrojo

medio de 1.35 a 8 micrómetros (μm) y el infrarrojo lejano de 8 a 30 μm .

El principio de conservación de la energía establece que “La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma”; así también, la energía solar que llega a nuestro planeta como radiación (**Figura 1**), se transforma dando lugar a tres fenómenos: reflexión, absorción y transmisión. Una parte de la energía se refleja en la superficie terrestre hacia el espacio exterior, por eso es posible observar el planeta desde la Estación Espacial Internacional; en cambio, otra parte de esa energía solar se transmite a través de la atmósfera, se esparce y forma los colores del cielo debido a las partículas que se encuentra en su camino. Por último, la energía tarde o temprano termina siendo absorbida por toda la superficie del planeta, proporcionando calor y dando el color a los objetos animados y no animados; por ejemplo, un aguacate madura gracias a la radiación infrarroja y su cáscara pasa del color verde al color negro, lo que significa que absorbe todas las bandas de color, desde el azul hasta el rojo, incluyendo el verde original. De esta manera, la radiación del Sol llega a todos los árboles y plantas, incidiendo

Longitud de onda
Distancia entre dos puntos que definen un periodo cuando la luz se representa como una onda; a menor distancia, la luz tiene mayor energía.

en el interior de sus hojas y, por tanto, energizando a la vegetación (Chuvieco, 2008).

La vegetación y sus colores

Quizás alguna vez te has preguntado, ¿por qué las plantas son verdes? La Tierra, nuestro planeta, es el único que absorbe energía a través de mecanismos biológicos, principalmente relacionados con la vegetación en donde predomina el color verde. Una explicación detallada a esta pregunta requiere del conocimiento de la composición interna de las hojas, ya que éstas determinan las características visuales de la vegetación.

La estructura básica de una planta está constituida por la raíz, el tallo y la hoja. La raíz tiene la función de anclar mecánicamente el vegetal a algún sustrato (tierra, agua, piedras, etc.), absorber y conducir los nutrientes, así como el agua y minerales hacia el tallo y las hojas. El tallo dirige las hojas hacia la luz, evitando la sombra de otros vegetales u objetos próximos; también conduce agua, minerales y moléculas orgánicas entre la raíz y las hojas. Las hojas, que se presentan en gran diversidad de tamaños y formas, son las que predominan en la cubierta vegetal de la Tierra y son el principal órgano fotosintético; es decir, el elemento que más absorbe radiación solar para transformarla en energía para la planta.

Las hojas tienen diferentes espesores y composiciones, por lo que pueden ser traslúcidas u opacas; en ambos casos, generalmente el color que percibimos cuando están sanas es el verde que forma el follaje de árboles y arbustos, así como de pastizales y plantas en general (Chuvieco, 2008).

La **Figura 2** muestra un corte transversal de la estructura interna de una hoja simple. La cutícula es una capa de cera generada por la epidermis que refleja principalmente la radiación infrarroja y permite el paso de luz visible; tiene además la función de evitar la pérdida de agua debida al calor generado por la absorción de luz solar. La epidermis es una capa formada por una fila de células que protege a la parte interna de abrasiones, así como de la intrusión de hongos y bacterias causantes de enfermedades. El mesófilo en empalizada es una capa compacta de células ordenadas que debe su nombre a la forma alargada de las células que la componen. El mesófilo esponjoso consiste en células con mayores espacios intercelulares para permitir el flujo de gases que ingresan desde las estomas, que son las células encargadas de captar dióxido de carbono y expulsar oxígeno.

Ambos mesófilos están conformados por células vegetales que contienen unos minúsculos organelos llamados cloroplastos, donde se encuentran los pigmentos fotosintéticos que absorben ciertas bandas de luz solar. Los pigmentos son principalmente clo-

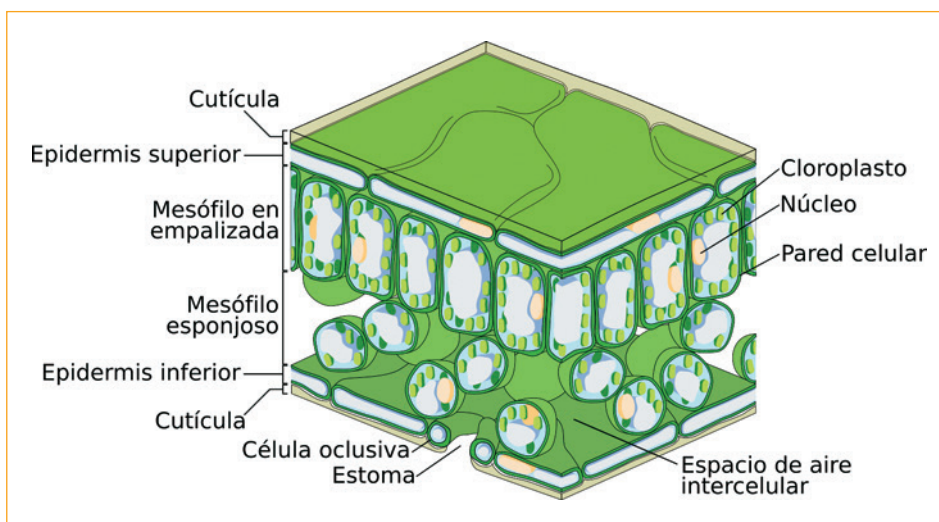


Figura 2. Estructura interna de las hojas junto con los elementos celulares que más interactúan con la radiación solar (Serbin y Townsend, 2020). Fuente de la imagen: Wikimedia, Sephyris (CC BY-SA 3.0).

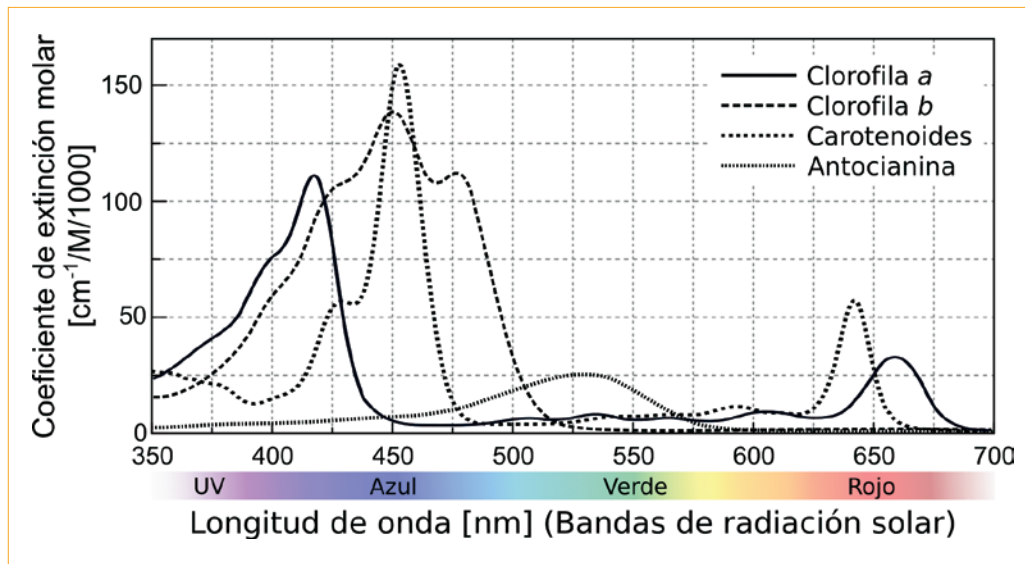


Figura 3. Absorción de radiación visible de los principales pigmentos de las plantas. Datos tomados de *Database of PhotochemCAD*.

rofilas y carotenoides, que son los encargados de realizar la conversión de energía lumínica en energía química; es decir, la fotosíntesis. En la **Figura 3** se observan las gráficas de absorción de estos pigmentos, los picos representan la absorción y el color de fondo indica la banda que se absorberá. Los componentes que más absorben son las clorofilas y los carotenoides en las bandas de los colores violeta, azul y rojos; por tanto, las bandas que se transmiten y reflejan principalmente son las que se encuentran en el color verde, lo que da el color general de la vegetación, aun cuando las **antocianinas** absorben este color porque sigue siendo relativamente mayor la intensidad de la luz en la banda de los tonos verdes (Barragán y cols., 2020). Esto se debe a que la antocianina es un pigmento con poca presencia en las hojas sanas, aunado a que el punto máximo de irradiación del espectro solar también se encuentra en esta banda (véase la **Figura 1**).

Antocianinas ▶ Pigmentos solubles en agua contenidos en las vacuolas de las células vegetales que dan el color rojo, púrpura o azul a las hojas, flores y frutos.

En la temporada de otoño e invierno, diferentes especies de vegetación comienzan a renovar sus hojas cambiando el color del follaje; algunos adquieren colores amarillentos y otros tonos rojizos, dando el color característico de los paisajes de otoño, sobre todo en las partes más próximas a los polos del planeta. En la región tropical esto ocurre en menos

especies y en menor medida, ya que la radiación solar sigue siendo intensa aún en invierno. El cambio de coloración se debe a la degradación de las clorofilas y a una ligera producción de antocianinas, que son biomoléculas que ayudan a absorber el color verde y parte del ultravioleta como un mecanismo de protección para las hojas, lo que acentúa diferentes tonos de color entre amarillos y rojos.

■ Firmas espectrales de las plantas

Las bandas de radiación infrarroja proporcionan información de la estructura celular de las hojas y del contenido de agua. La estructura celular se forma a partir del acomodo de las células de acuerdo con las capas mencionadas en la **Figura 2**, manteniendo un cierto tamaño y ordenamiento cuando la planta está sana. Cuando el follaje comienza a secarse la cutícula se rompe, lo que acelera la deshidratación de las paredes celulares. La hoja se decolora ligeramente con la pérdida de agua, aunque mantiene la estructura celular gracias al polímero natural más abundante de la Tierra, la celulosa.

Las paredes celulares de la hoja están formadas principalmente por celulosa y lignina, las que en conjunto dan rigidez a los troncos, ramas y hojas. El

contenido total de una hoja se constituye en promedio por un 38 % de celulosa y un 18 % de lignina, mientras que el contenido de agua puede alcanzar valores de hasta 40 %. De esta manera, la celulosa es el elemento que prevalece aun ante los cambios más intensos de hidratación de la hoja (Kokaly y cols., 2009). Después de un tiempo, las hojas se separan de la planta y caen al suelo; en ese momento comienza un proceso de biodegradación. Las hojas empiezan a degradarse alterando el ordenamiento original de sus células. Ahora las cadenas de celulosa sufren una desintegración inducida por la acción de la humedad del ambiente, la radiación solar, los cambios térmicos y por microorganismos. Estos cambios se observarán como variaciones en las bandas del infrarrojo.

En la **Figura 4** se compara la **firma espectral** de las plantas sanas respecto de la vegetación seca o en proceso de envejecimiento. Se considera todo el espectro solar, indicando en el eje vertical el porcentaje de radiación solar reflejada y exhibiendo las diferencias en cada banda espectral. La reflexión de radiación en la banda del infrarrojo cercano permite inferir la degradación de la estructura celular de



la hoja, mientras que la banda del infrarrojo medio permite estimar fundamentalmente la cantidad de agua que contiene la vegetación, aunque también muestra parte de la descomposición de la celulosa. En la **Figura 5** se compara la reflexión del espectro solar en un árbol cuando se encuentra más hidratado y cuando su follaje pierde agua y su pigmentación cambia (Manzo y Meave, 2003).

Firma espectral
Cantidad de luz reflejada por un objeto, separada por longitudes de onda o bandas de colores.

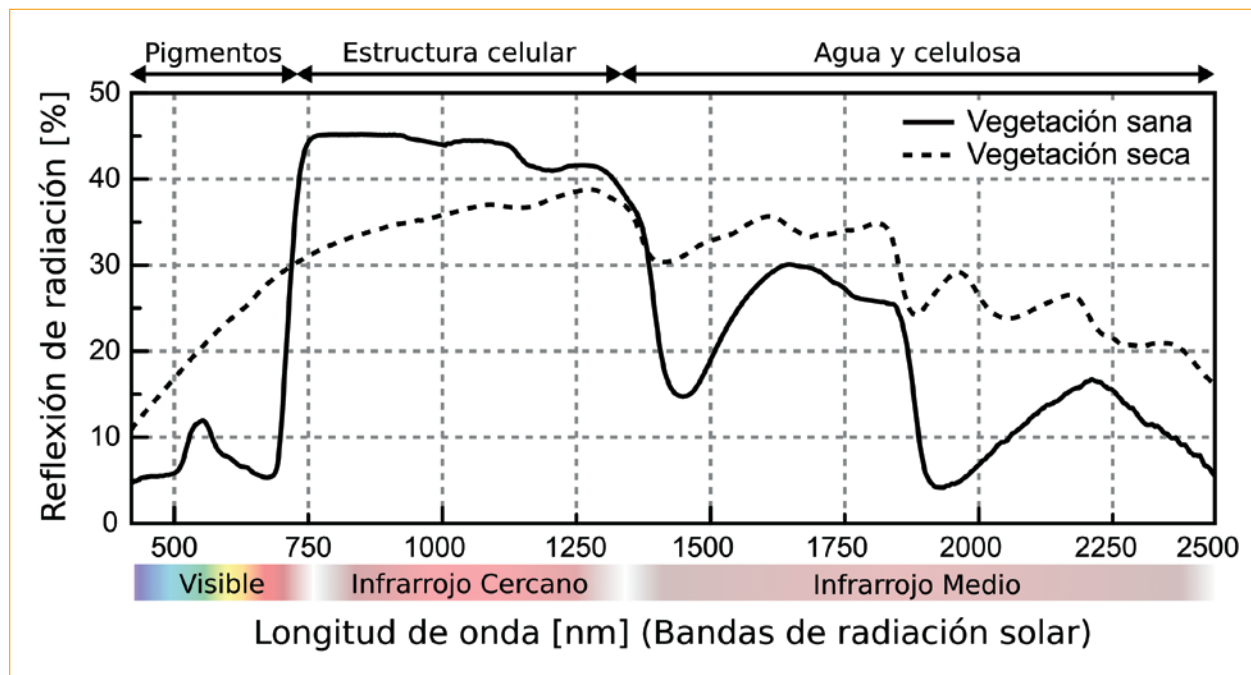


Figura 4. Firma de vegetación sana y vegetación seca formada por la radiación solar reflejada. Datos tomados de *USGS Spectral Library Version 7: U. S. Geological Survey Data Series*.

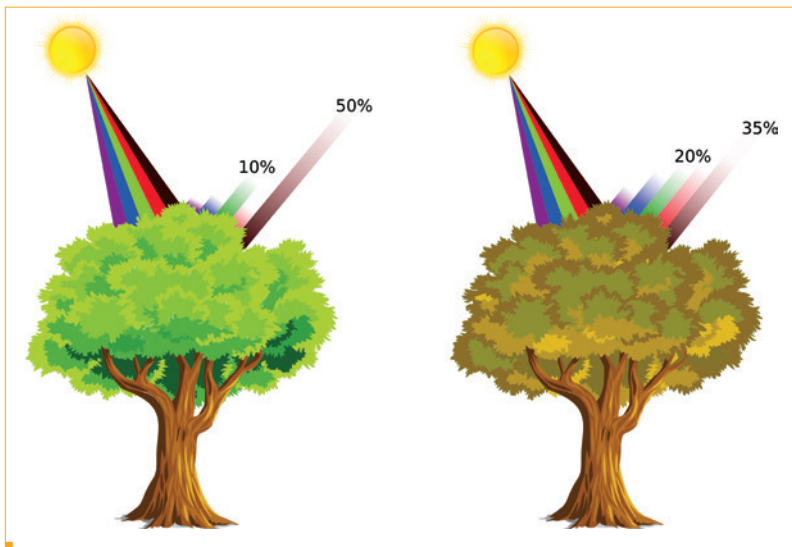


Figura 5. Bandas del espectro solar reflejadas en el follaje de un árbol sano en comparación con las bandas reflejadas por el mismo árbol, pero parcialmente seco.

Las bandas de colores provenientes del Sol que se muestran del lado izquierdo representan la radiación que incide sobre el árbol, mientras que las bandas de colores desvanecidas del lado derecho corresponden a la radiación solar reflejada. La cantidad de luz que se refleja en cada banda coincide con los porcentajes de reflexión de la **Figura 4**. De esta manera, la cantidad de pigmentos, la deshidratación, la falta de

nutrientes y las enfermedades de la vegetación modifican el espectro solar reflejado generando firmas espectrales únicas de las plantas.

■ Aplicaciones de las firmas espectrales

■ Existen muchas aplicaciones que encuentran utilidad al conocer la interacción de la luz solar con la vegetación. A lo largo del tiempo se han utilizado para analizar bosques, cultivos, pastizales, huertos urbanos y cultivos verticales. A continuación, se mencionan algunos ejemplos muy significativos para el desarrollo y mejoramiento de las condiciones de vida en nuestro planeta.

En la industria agroalimentaria se utilizan espectrorradiómetros (**Figura 6**) para medir el porcentaje de radiación espectral reflejada, con la ayuda de imágenes capturadas por aeronaves o drones. Las imágenes así capturadas son denominadas multispectrales o hiperespectrales, según la cantidad de bandas que se puedan observar. De este modo se estima matemáticamente la cantidad de clorofilas, que a su vez establecen los indicadores de crecimiento y salud de la vegetación.

Esta misma técnica puede usarse para medir los niveles de nitrógeno en cultivos de amplia extensión



Figura 6. Medición de las firmas espectrales de un cultivo. El espectrorradiómetro está sobre la espalda del hombre, que también está sujetando el cabezal de medición que se conecta al equipo mediante una fibra óptica. La joven está sujetando un material de alta reflexión para calibrar el equipo, previo a las mediciones de las firmas espectrales de la plantación. Fuente de la imagen: página web de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, Gobierno de México.

y así determinar las cantidades de nutrientes que requieren para mejorar la calidad y cantidad de producción, o bien se pueden detectar oportunamente brotes de plagas o enfermedades para frenarlas antes de que se expandan.

En los bosques las técnicas de análisis de firmas espectrales juegan un papel importante, pues proporcionan información crucial para la detección de posibles focos de incendios forestales, ya que la firma espectral de la vegetación permite identificar zonas con biomasa viva o muerta. Una vez iniciado un incendio, las imágenes hiperespectrales capturadas con satélites permiten cuantificar el daño y monitorear la recuperación de las áreas dañadas.

Conclusiones

La luz que viaja desde el Sol hasta la Tierra interactúa con la vegetación absorbiendo parte de ella y reflejando la restante. Esta interacción nos permite conocer y describir características de la vegetación de maneras diferentes mediante su firma espectral. Las diversas formas de representación de las plantas aumentan las técnicas aplicables al desarrollo sustentable de la producción y cuidados del medio ambiente. En particular, la información contenida en las firmas espectrales de las hojas abre una ventana para observar con detalle su interior y entender los pormenores de los cambios naturales de su composición, en beneficio de la preservación de todos los seres vivos a su alrededor.

Roberto Carlos Barragán Campos

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías,
Universidad de Guadalajara.
robertobarragan.gdl@gmail.com

Guillermo García-Torales

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías,
Universidad de Guadalajara.
garcia.torales@academicos.udg.mx

Referencias específicas

- Barragán, R. C., J. Castrellon-Urbe, G. García-Torales y A. Rodríguez-Rivas (2020), "IR characterization of plant leaves, endemic to semi-tropical regions, in two senescent states". *Applied Optics*, 59(17): E126-E133.
- Chuvieco, E. (2008), "Principios físicos de teledetección" (cap. 1), *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio*, Barcelona, Ariel Ciencia, pp. 43-85.
- Kokaly, R. F., G. P. Asner, S. V. Ollinger, M. E. Martin y C. A. Wessman (2009), "Characterizing canopy biochemistry from imaging spectroscopy and its application to ecosystem studies", *Remote Sensing of Environment*, 113(1): S78-S91.
- Manzo Delgado, L. y J. A. Meave (2003), "La vegetación vista desde el espacio: la fenología foliar a través de percepción remota", *Ciencia*, Academia Mexicana de Ciencias, 54:18-28.
- Oré, D. (2020), "Con jardines urbanos buscan salvar al colibrí en México", *Thomson Reuters*. Disponible en: <<https://www.reuters.com/article/medioambiente-mexico-colibries-idLTAKBN20J26M>>, consultado el 11 de mayo de 2024.
- Palou, N. (2017), "9 beneficios de los árboles urbanos", *La Vanguardia*. Disponible en: <<https://www.lavanguardia.com/vivo/ecologia/20170111/413239036420/arboles-urbanos-beneficios-ciudades-polucion.html>>, consultado el 11 de mayo de 2024.
- Serbin, S. P. y P. A. Townsend (2020), "Scaling Functional Traits from Leaves to Canopies", en J. Cavender, J. A. Gamon y P. A. Townsend (eds.), *Remote Sensing of Plant Biodiversity*, Suiza, Springer, pp. 43-82.



Ciencia en los Pantanos de Centla

La ciencia y la investigación científica se pueden realizar en espacios al aire libre, como las áreas naturales protegidas. A su vez, éstas necesitan del conocimiento que las ciencias aportan para que las actividades que ahí se realizan sean adecuadas y puedan lograr sus objetivos. A continuación se comparte la investigación científica realizada en un caso particular en el sureste de México.

Ciencia en la vida

La ciencia tiene un papel esencial para el beneficio de la sociedad, ya que ofrece soluciones en la vida cotidiana y permite la creación de productos, servicios, medios y herramientas que satisfacen las necesidades humanas. La investigación científica en las diferentes disciplinas de la ciencia es un pilar fundamental porque ayuda a mejorar la calidad de vida y el bienestar de las personas y a largo plazo permite el progreso de la sociedad y el desarrollo del país. En un sentido amplio, se puede afirmar que la ciencia y la investigación sirven para vivir mejor.

Comúnmente se tiene la idea de que la investigación científica se lleva a cabo en laboratorios y centros de investigación con personal en bata blanca y con microscopios. Esta idea es correcta, pero también es necesario saber que la investigación científica se desarrolla en espacios naturales al aire libre. En este tipo de lugares se puede realizar experimentación y encontrar la relación entre variables ambientales, localizar y entrevistar a las personas locales con mayor facilidad y entender cómo suceden los procesos y fenómenos naturales y sociales directamente en el lugar donde ocurren.

Vinculación de las ciencias con las áreas protegidas

Las áreas naturales protegidas resultan ser un espacio idóneo para llevar a cabo investigación científica, ya que cuentan con reglas claras para el acceso, recolección de datos y obtención de permisos, tienen líneas de trabajo definidas y son espacios donde los ambientes naturales no han sido alterados significativamente.

Al mismo tiempo, las áreas naturales protegidas requieren de información para tomar decisiones que permitan alcanzar los objetivos por los cuales fueron creadas y que ayudan a mantener el equilibrio ecológico. Así, la investigación científica se convierte en una herramienta que contribuye a la conservación biológica, porque las personas responsables de la gestión de las áreas naturales protegidas contarán con información valiosa para elaborar sus planes de manejo.

En México, las áreas naturales protegidas son un instrumento para conservar la biodiversidad y de ellas

se obtienen beneficios ambientales, sociales y económicos a través del desarrollo sustentable. Actualmente, cubren una importante porción del país, de modo que resultan representativas de los ecosistemas y especies más relevantes desde el punto de vista ecológico. Hay áreas naturales protegidas en las zonas costeras y oceánicas, en las montañas; cubren porciones de ríos y lagos, desiertos, selvas secas y húmedas, matorrales, manglares, bosques y pastizales.

En ellas se realizan diferentes actividades de conservación, como son la vigilancia, la implementación de proyectos productivos sustentables, la educación



ambiental, el turismo de naturaleza y el involucramiento de la población en acciones de conservación. De manera particular, en muchas de ellas se llevan a cabo proyectos de investigación científica desde distintas disciplinas. De este modo, las áreas naturales protegidas brindan la oportunidad para hacer ciencia, y esta ciencia, a su vez, sirve para gestionarlas; pero, ¿qué tanta ciencia y qué tipo de investigaciones se realizan? Para responder esta pregunta, se seleccionó la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla como sitio de estudio donde indagar cómo es la investigación que se ha llevado a cabo desde su creación (López-Jiménez y Fernández-Montes de Oca, 2021a). A continuación se muestran algunos resultados obtenidos que permiten entender cómo es la investigación en las áreas naturales protegidas.

La investigación en los Pantanos de Centla

La Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla es un área natural protegida que resguarda uno de los humedales más importantes de Norteamérica. Se localiza en el sureste de México, en Tabasco y Campeche, justo en la desembocadura en el mar de los ríos Grijalva y Usumacinta (véase la **Figura 1**), que son los ríos más caudalosos del país; de esta manera, el agua es un factor importante y hace que los

Decreto

Documento legal del gobierno que avala la creación de un área natural protegida.

humedales sean los ecosistemas más representativos. La vegetación acuática, como los popales (véase la **Figura 2**), los tulares y los manglares son el tipo de vegetación que cubre la mayor parte de su superficie, y la fauna se encuentra asociada a estos ecosistemas, donde habitan peces dulceacuícolas y marinos, reptiles como cocodrilos y tortugas, y aves acuáticas residentes y migratorias. La pesca artesanal es la actividad económica más importante, de la cual dependen en gran medida las 20 000 personas que ahí habitan, aunque también se dedican a la agricultura y la ganadería en menor escala.

Para determinar las investigaciones que se realizaron dentro de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, se localizaron las publicaciones científicas y académicas en revistas científicas y en libros al respecto. Esta búsqueda se realizó de manera electrónica y en bibliotecas, y se incluyeron artículos científicos, de divulgación, tesis, reportes de proyectos de investigación y memorias de congresos. Las publicaciones tenían que reportar trabajos realizados dentro del área natural protegida y haber sido publicadas a partir de 1992, que fue cuando se publicó su **decreto**. A su vez, cada publicación fue clasificada para conocer cuál fue el tema, el enfoque, el lugar y la forma en la que se realizó la investigación.

Con el resultado de esta clasificación, se conoció con más detalle qué tipo de investigación se reali-



Figura 1. Ubicación de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla.



Figura 2. Popales en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla. Fotografía: Alfonsina Hernández Cardona/Naturalista.

za en esta área natural protegida. Se localizaron 325 publicaciones científicas, donde los artículos y tesis representaron tres cuartas partes de las publicaciones. Con respecto al contenido, resultó interesante conocer que gran parte de estas publicaciones (65%) se centraron en estudiar la biodiversidad, y la mayoría (72%) lo hizo desde el enfoque de las ciencias biológicas. Igualmente, la mayoría de las investigaciones se realizó en una escala pequeña (68%); es decir, con claras referencias geográficas, sin cubrir la totalidad de la superficie del área natural protegida, y la mayoría (85%) únicamente con el fin de realizar un diagnóstico para comprender los diferentes rasgos estudiados, sin realizar experimentación, planeación o transferencia de conocimientos.

A partir de esta información, se puede decir que la investigación en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla se ha centrado en el enfoque biológico para describir los elementos naturales que integran a esta área natural protegida, donde los diagnósticos son las formas más frecuentes de hacer investigación. Muchas de las investigaciones están centradas en listados de especies: abundancia, estructura y distribución de los grupos biológicos relevantes en los humedales. Otras, caracterizan los tipos de vegetación, hábitats específicos o evalúan los impactos generados por las actividades humanas para conocer el grado de afectación o conservación de ciertos elementos biológicos.

Los grupos biológicos con mayor número de publicaciones son los moluscos, principalmente las almejas, los crustáceos y los peces dulceacuícolas, estuarinos y marinos; y, en algunas ocasiones, investigaciones particulares de especies como el robalo, el pejelagarto y las mojarra. En menor medida, hay investigaciones sobre aves, reptiles como el cocodrilo de pantano (véase la **Figura 3**) y la tortuga blanca, y algunos sobre mamíferos, dentro de los que destacan felinos, primates, murciélagos y el manatí. Diversos estudios se enfocan en invertebrados terrestres, entre los que destacan los de insectos y caracoles; otros pocos sobre hongos, y otros menos frecuentes sobre microorganismos como bacterias.

En cuanto a las plantas, se cuenta con investigaciones sobre listados amplios de **plantas vasculares** y



Figura 3. Cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*) en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla. Fotografía: Alva-Martínez, A. F./Naturalista.

plantas acuáticas, o más específicos, como de orquídeas, epífitas o **ribereñas-riparias** (véase la **Figura 4**). Igualmente, hay estudios sobre la cobertura y estructura de la vegetación, con énfasis en manglares, hierbas acuáticas y selvas bajas. En este mismo sentido, hay caracterizaciones de los hábitats del manatí, la tortuga blanca o de grupos de peces, que incluyeron algunos parámetros físicos del agua, el suelo y la vegetación terrestre y acuática de esos

Plantas ribereñas-riparias
Plantas que viven cerca de los ríos.



Figura 4. Flor de agua (*Nymphaea ampla*) en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla. Fotografía: Erika Cecilia Noguera Carrasco/Naturalista.

Plantas vasculares
Plantas que poseen hojas, tallos y raíces.



Figura 5. Ecosistemas de manglar en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla. Fotografía: Andrea Correa/Naturalista.

Ordenamiento pesquero

Conjunto de reglas para organizar la pesca.

hábitats. En cuanto a la funcionalidad ecológica, hay estudios sobre redes alimenticias, productividad, flujo y almacenaje de carbono en manglares (véase la **Figura 5**), integridad biológica en sitios específicos y algunas evaluaciones sobre los servicios ambientales de los ecosistemas acuáticos. Respecto al ambiente abiótico, las investigaciones aportan información sobre las características de los suelos y sobre las variaciones espaciales de la cobertura del suelo y de cuerpos de agua. Igualmente, hay investigaciones sobre escenarios climáticos, vulnerabilidad y modificación de la línea costera por inundación, aumento del nivel del mar e intrusión salina.

Sistema acuícola.

Infraestructura para cultivar organismos acuáticos.

Finalmente, hay investigaciones que evalúan los impactos por la contaminación del agua, incendios, la construcción de carreteras y la presencia de moluscos y peces exóticos. De la misma forma, ciertos estudios evalúan la distribución y concentración de contaminantes, como hidrocarburos y metales pesados en suelo, agua y organismos; y de estos contaminantes, hay estudios que los ligan con el riesgo por exposición para la población humana. Asimismo, se cuenta con estudios sobre parasitología de helmintos en peces.

Los listados biológicos y la estructura de los ecosistemas proporcionan información útil para la conservación y son la base para otro tipo de investigaciones, pero también es importante expandir la investigación hacia otras áreas de las ciencias. Además, la mayoría de las investigaciones están centradas en

temas ecológicos y son menos las investigaciones en las áreas sociales y económicas, o investigaciones integrales.

Aportaciones de las investigaciones en los Pantanos de Centla

El Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad (ccgs) contribuyó a realizar investigaciones dentro de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla con aplicaciones en la gestión territorial y en la creación de proyectos productivos sustentables basados en las características del territorio. Por una parte, se generó una propuesta para un **ordenamiento pesquero** sustentable basado en el conocimiento y participación de las personas que se dedican a la pesca (López-Jiménez y Fernández-Montes de Oca, 2021b). Esto tiene relevancia, ya que la pesca es la actividad más importante y se enfrenta a una serie de retos que, con el establecimiento de reglas y una coordinación entre las personas, pueden enfrentarse reduciendo los impactos y contribuyendo a la conservación de las especies. El ordenamiento pesquero surge de la participación de los pescadores, quienes aportaron conocimiento, experiencia en la pesca y propusieron ideas y soluciones (véase la **Figura 6**). De la misma manera, se promovió la creación de un **sistema acuícola** de peces nativos con una transferencia de tecnología y la participación de las personas benefi-



Figura 6. Participación del grupo de pescadores en la elaboración de las bases para crear un ordenamiento pesquero en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla. Fotografía: Leonardo Noriel López-Jiménez/ccgs.

ciarias del proyecto (López-Jiménez y cols., 2020a). A partir del conocimiento científico que aporta la acuicultura, se diseñó, construyó y se puso en marcha un sistema de cultivo de peces como alternativa económica a la pesca.

El ccgs aportó también para la generación de conocimiento sobre la biodiversidad y los ecosistemas. Por un lado, se actualizó el listado de plantas de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, incluyendo los cambios en los nombres científicos e integrando los estudios recientes sobre colectas botánicas (López-Jiménez y cols., 2020b). Por otro lado, se realizó una caracterización de los suelos y del clima a partir de bases de datos ambientales para apoyar en la toma de decisiones sobre riesgos geológicos, meteorológicos y climáticos derivados del cambio climático (Medrano-Pérez y cols., 2021). En cuanto a intervenciones, se realizó educación ambiental con pescadores para incentivar su participación en la toma de decisiones y de cooperación al momento de realizar proyectos sustentables (López-Jiménez y Fernández-Montes de Oca, 2020). De esta manera, se puede ver cómo la ciencia está fuertemente vinculada con las áreas naturales protegidas y sirve como apoyo fundamental para tomar decisiones y realizar emprendimientos enfocados en el desarrollo sustentable, así como para ayudar a mantener los servicios ambientales que esta área natural protegida brinda a la región.

Consideraciones finales

La producción científica es abundante para la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, pero hay que evaluar la aplicación o relevancia de estas investigaciones en la conservación biológica. En este sentido, aún hace falta incentivar y dirigir la investigación en las áreas sociales, económicas, pesqueras y políticas. Si bien las áreas naturales protegidas se crean a partir de un interés biológico, es necesario recordar que en ellas viven personas que realizan actividades y dependen de su relación con el ambiente natural. Así que, para mantener un equilibrio ecológico, la investigación científica también debe avanzar en las otras disciplinas. Para cerrar, las áreas

naturales protegidas brindan diferentes servicios a la sociedad, como lo es permitir que se realice investigación científica y, al mismo tiempo, esta investigación debe aportar elementos que permitan mejorar su gestión para promover el desarrollo sustentable.

Leonardo Noriel López-Jiménez

Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad.

leonardo.lopez@ccgs.mx

Referencias

- López-Jiménez, L. N. y A. Fernández-Montes de Oca (2020), "Pesca para todos: Educación ambiental para pescadores", *Ecopedagógica*, 2(4):26-34.
- López-Jiménez, L. N. y A. Fernández-Montes de Oca (2021a), "La investigación científica en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla", *Áreas Naturales Protegidas Scripta*, 7(2):1-24.
- López-Jiménez, L. N. y A. Fernández-Montes de Oca (2021b), "Bases para un ordenamiento pesquero en un humedal del sureste de México", *Ciencia y Mar*, 25(74):3-24.
- López-Jiménez, L. N., A. Maldonado-Romo, C. A. Álvarez-González, E. S. Peña Marín y A. Fernández-Montes de Oca (2020a), "Participación comunitaria en la transferencia tecnológica de un sistema acuícola de peces nativos", *Jaina. Costas y Mares ante el Cambio Climático*, 2(1):31-46.
- López-Jiménez, L. N., D. A. Jiménez-López, O. Castillo-Acosta, J. A. Gallardo-Cruz y A. I. Fernández-Montes de Oca (2020b), "Plantas vasculares de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, México", *Botanical Science*, 98(1):159-204.
- Medrano-Pérez, O. R., R. Payano-Almánzar y L. N. López-Jiménez (2021), "Caracterización geomorfológica e hidroclimatológica de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, México", *Acta Universitaria*, 31:e2846.

Lecturas recomendadas

- Ortega-Rubio, A., C. Jiménez-Sierra, L. Jiménez-Badillo, M. J. Pinkus-Rendón, V. J. Arriola-Padilla et al. (2015), "Prioridades de investigación para las áreas naturales protegidas de México", en A. Ortega-Rubio, M. J. Pinkus-Rendón e I. C. Espitia-Moreno (eds.), *Las áreas naturales protegidas y la investigación en México*, La Paz, Mérida y Morelia, México, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C., Universidad Autónoma de Yucatán y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, pp. 493-512.

Leticia Félix Cuencas, Samuel López Tejeida y Jesús Josafat de León Ramírez



Acuaponia, cultivos del pasado para la alimentación del futuro

La creciente demanda de alimentos es atendida mediante la intensificación de los sistemas productivos, lo cual repercute en la sobreexplotación de los recursos y degradación del ambiente. Ante esta situación, es necesario implementar nuevas estrategias productivas; en este sentido, la acuaponia se percibe como una alternativa por su cualidad de promover un mayor aprovechamiento de recursos.

Introducción

El vertiginoso crecimiento de la población humana trae consigo un constante desafío para satisfacer sus necesidades alimenticias. A través de los años, esta situación se ha visto reflejada en el continuo desarrollo e incremento de los sistemas de producción agropecuaria; este sector ha sido potencializado mediante la intervención de tecnologías que permiten elevar la producción en un área determinada. Sin embargo, dichos niveles productivos incrementan la explotación de los recursos naturales, ya que, al ser la explotación más rápida que la regeneración de los recursos, se origina un desbalance ecológico que acelera la degradación del ambiente.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) prevé que para el año 2050 la población mundial alcanzará 9 700 millones de personas, cifra que representa un 25% más de la cifra reportada en el primer bimestre del 2020. El incremento poblacional resultará en un aumento equivalente en la demanda de alimentos, lo que creará una mayor competencia por los cada vez más escasos recursos naturales; previendo esta situación, parte de la comunidad científica ha abordado la búsqueda de estrategias que permitan el uso óptimo de los recursos naturales, con el objetivo de brindar opciones productivas a los involucrados del sector agropecuario.

En este contexto, la acuaponia se ubica como una de las estrategias aplicable en la solución del problema de la generación de alimentos. La acuaponia consiste en la integración del cultivo de producción de peces (acuicultura) y plantas en



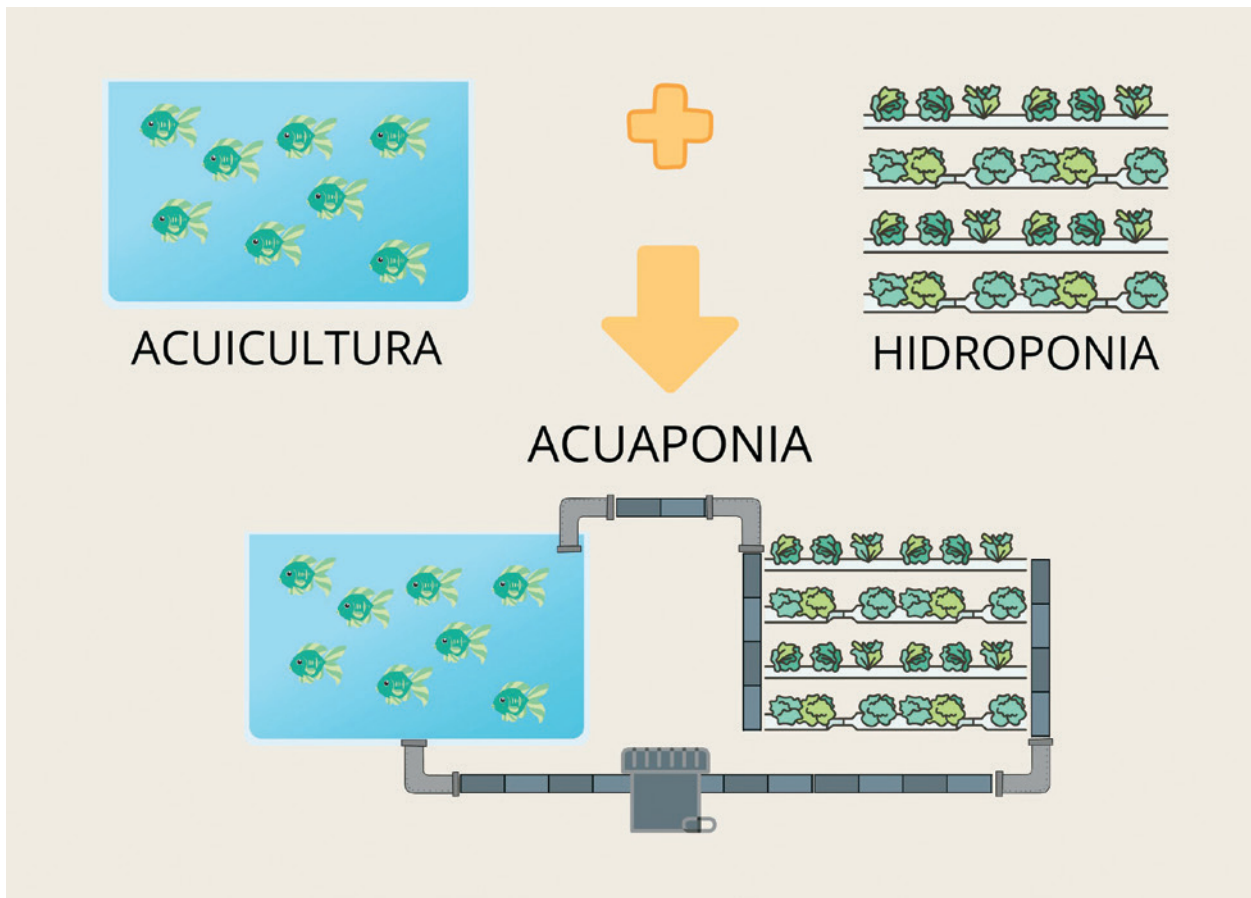


Figura 1. Aquí se representa la fusión de la acuicultura y la hidroponia para crear la acuaponia. Se muestra un ciclo cerrado donde los desechos de los peces nutren las plantas y éstas purifican el agua para los peces.

un medio acuoso (hidroponia), en un mismo sistema productivo de recirculación de agua y nutrientes (véase la **Figura 1**). En un sistema acuapónico el agua procedente del cultivo de los peces contiene residuos de la alimentación y metabolismo de éstos, de tal forma que los compuestos desechados por los peces son aprovechados como nutrientes por las plantas, las cuales a su vez realizan la limpieza del agua para su posterior reincorporación a los estanques de cultivo.

Asimismo, la conformación de un sistema acuapónico propicia el aprovechamiento integral de los recursos empleados, reduciendo la cantidad de residuos generados y la posterior liberación de los mismos tras la obtención de los productos de interés. Por ello, en años recientes la acuaponia ha tomado relevancia tanto en la investigación como en el ámbito comercial. Así pues, en el presente artícu-

lo se dan a conocer los orígenes y evolución de la acuaponia hasta nuestros días; además, se expone su situación actual y las perspectivas como estrategia productiva en la generación sostenible de alimentos.

■ **Historia**

■ Los cultivos integrados por peces y plantas no son un concepto nuevo. Existe evidencia de su empleo por civilizaciones antiguas en Asia, África y América Latina, en pueblos que, a partir de la observación de la naturaleza, replicaban la interacción de organismos vegetales y acuáticos, asociándolos en un mismo sitio para su cultivo (véase la **Figura 2**). Posteriormente, con el propio avance y desarrollo de las prácticas de cultivo, este tipo de técnicas fueron desapareciendo y dieron lugar a los sistemas de



Figura 2. Ilustración de los principales hitos en la evolución de la acuaponía, desde las prácticas de algunas culturas antiguas hasta su desarrollo moderno en el siglo xx.

producción centrados en la obtención de un tipo de organismo en particular, dejando a los cultivos constituidos por especies animales y vegetales relegados por cerca de 1 500 años.

Fue hasta la década de los setenta cuando un grupo de académicos retomó el concepto de cultivos que involucraban a organismos acuáticos y vegetales. El interés de dichos investigadores era el uso de plantas como filtros naturales para tratar y aprovechar el agua residual proveniente de la actividad acuícola. Pocos años después, más personas se unirían a la labor de ampliar las investigaciones y trabajos relacionados con este redescubierto concepto de producción. Ello resultaría en un avance significativo para la implementación de la acuaponía y a finales de los años ochenta se instaurarían los primeros sistemas de cultivos acuapónicos con características comerciales.

■ Acuaponía moderna

Posteriormente a su resurgimiento en los años setenta, la acuaponía ha incrementado su popularidad y ha sido implementada desde conformaciones simples aplicadas en los hogares para el autoconsumo, hasta construcciones encaminadas a la producción en escala industrial. En ambas escalas de manejo, los organismos acuáticos que destacan por su empleo son: la tilapia, la trucha, la carpa y el bagre. Por otro lado, las plantas que han sido mayormente utilizadas en acuaponía son: la lechuga, la albahaca, la acelga, la espinaca, el jitomate, el pimiento y el pepino.

Actualmente, la acuaponía ha sido adoptada tanto en países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo; sin embargo, pese a su diseminación alrededor del mundo, no existen cifras oficiales sobre su productividad anual. Como consecuencia de ello, sólo se conoce de manera general la presencia de

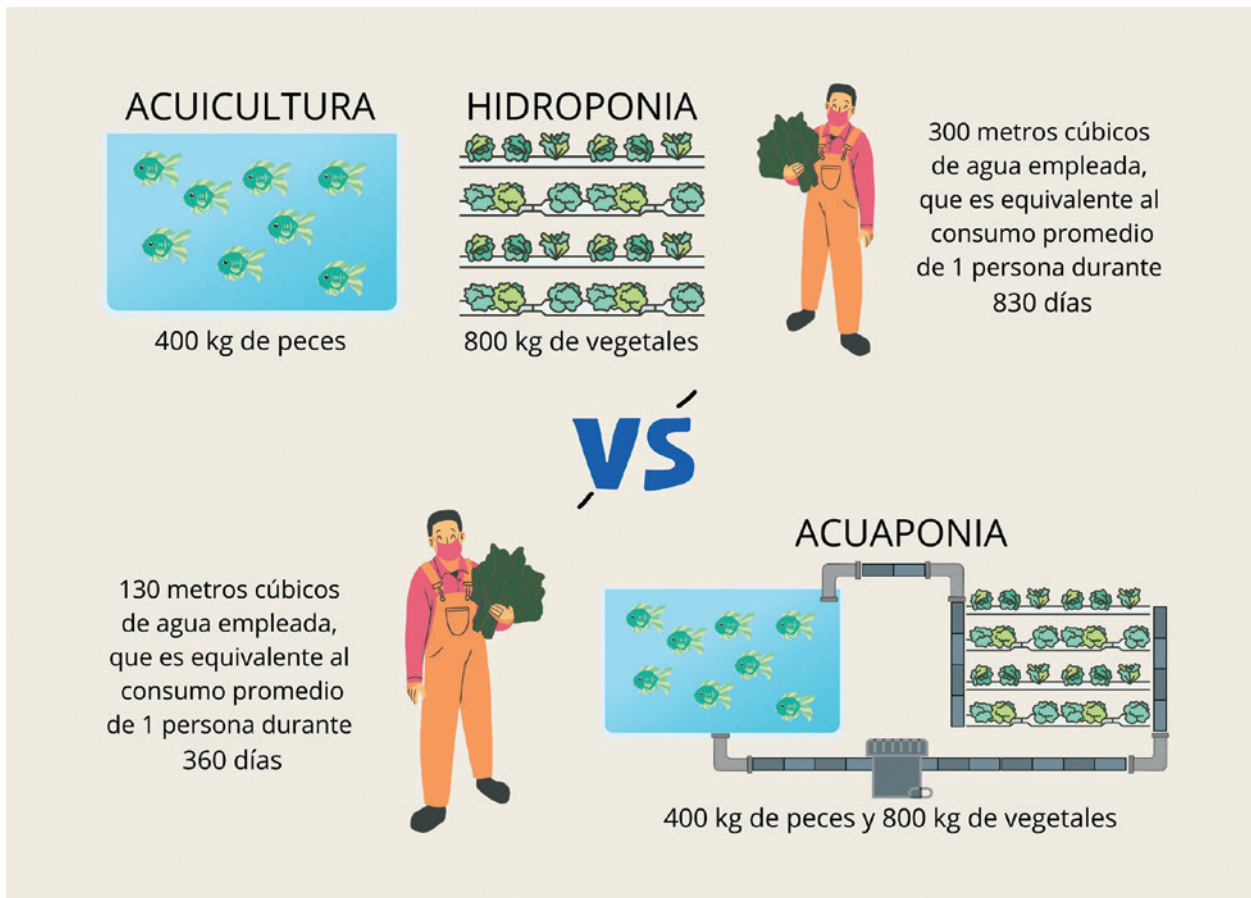


Figura 3. La acuaponía, al combinar dos sistemas independientes (acuicultura e hidroponía), logra un uso más eficiente del agua, reduciendo significativamente el consumo de ésta.

cerca de una treintena de empresas a nivel mundial, las que promedian una producción mensual de 400 kg de peces y 800 kg de vegetales (véase la **Figura 3**).

■ **Perspectivas**

Las ventajas de la acuaponía permiten ubicarla como una estrategia con el potencial de generar alimentos de manera sostenible; no obstante, aún presenta una serie de inconvenientes por remediar. Entre los desafíos que deben resolverse se puede citar la existencia de un mayor número de puntos críticos al requerir el cuidado y manejo de dos organismos diferentes. De igual manera, se complica el diseño y la infraestructura requeridos, así como el costo inherente al correcto funcionamiento del sistema.

Estos retos derivan de la complejidad de la integración y creación de condiciones propicias para los

organismos inmersos en estos sistemas, las cuales precisan de la intervención de individuos interesados en ampliar el conocimiento sobre las interacciones al interior de los cultivos, conocimiento que posteriormente ha de transformarse en desarrollos tecnológicos aplicables a los sistemas y que permitan impulsar la implementación de más unidades de producción.

Hoy en día, parte de las investigaciones sobre los sistemas acuapónicos han permitido establecer las combinaciones de peces y plantas, así como las densidades de siembra que permiten obtener rendimientos aceptables. Anexo a esto, se han comenzado a realizar estudios sobre la vinculación de más de una especie acuática y vegetal en cada ciclo de producción, ya que la implementación de policultivos en los sistemas podría contribuir no sólo al aprovechamiento de nutrientes, sino también a la diversificación de los organismos obtenidos.

En consecuencia, el incremento en la información concerniente a los cultivos acuapónicos podría contribuir a captar aún más la atención de instancias públicas o privadas para que se involucren en el desarrollo y promoción de trabajos que incentiven el empleo de estos sistemas.

■ Conclusiones

■ La acuaponía se ha convertido en sistema de generación de alimentos de gran interés, tanto para pequeños como para grandes productores, gracias a sus cualidades de aprovechamiento de espacio y recursos. No obstante, al igual que otras estrategias de producción emergentes, aún presenta interrogantes por resolver, mismas que actualmente ya son exploradas, con el objetivo final de difundir la utilización de los sistemas acuapónicos.

Leticia Félix Cuencas

Unidad de Producción Acuícola, Facultad de Ingeniería,
Universidad Autónoma de Querétaro.
lfelixcuencas@gmail.com

Samuel López Tejeida

Unidad de Producción Acuícola, Facultad de Ingeniería,
Universidad Autónoma de Querétaro.
samlopez06@gmail.com

Jesús Josafat de León Ramírez

Unidad de Producción Acuícola, Facultad de Ingeniería,
Universidad Autónoma de Querétaro.
leonjjrmz@gmail.com

Lecturas recomendadas

- FAO (2018), *El futuro de la alimentación y la agricultura: Vías alternativas hacia el 2050*, versión resumida, Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e2afea45-10be-4cab-a7e2-36508e77461b/content>, consultado el 6 de agosto de 2024.
- Mchunu, N., G. Lagerwall y A. Senzanje (2017), "Food sovereignty for food security, aquaponics system as a potential method: a review", *Journal of Aquaculture Research and Development*, 8(497):2.
- Palm, H. W., U. Knaus, S. Appelbaum, S. Goddek, S. M. Strauch et al. (2018), "Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature", *Aquaculture International*, 26(3):813-842.
- Somerville, C., M. Cohen, E. Pantanella, A. Stankus y A. Lovatelli (2022), *Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala: Cultivo integral de peces y plantas*, FAO: Documento Técnico de Pesca y Acuicultura núm. 589, Roma, FAO. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2eff5ca4-c831-423e-ba37-47b7882e3ca0/content>, consultado el 6 de agosto de 2024.
- Yep, B. y Y. Zheng (2019), "Aquaponic trends and challenges: A review", *Journal of Cleaner Production*, 228:1586-1599.

Rosa Virginia García Rodríguez y Libna Sulem Gallardo Beatriz

El uso tradicional de las plantas medicinales, ¿tiene sustento científico?

El uso de plantas como parte de la medicina tradicional se remonta a más de tres mil años de antigüedad. A pesar del paso del tiempo, este recurso natural sigue contribuyendo al beneficio de las personas. Sabemos que el desarrollo de la medicina moderna complementa y da sustento científico a esta alternativa terapéutica; no obstante, de manera popular esta información no siempre es considerada cuando se emplea medicina herbolaria.

Introducción

El uso de plantas medicinales ha sido indispensable a lo largo de la historia de la humanidad. Los indicios parten del año 1500 a. C., cuando grandes civilizaciones registraron su uso, descripción, clasificación y diferenciación en diversas especies. Las culturas mesoamericanas tuvieron también conocimientos avanzados en este sentido. Existe evidencia del papel primordial que las plantas medicinales tenían en los pueblos indígenas (véase la **Figura 1**), pues jardines botánicos especializados en plantas medicinales como el Ilhicamina (fundado por Moctezuma, 1440-1468) y el Tetzcotzingo (fundado por Netzahualcoyotl en 1420) fueron los predecesores del primer jardín europeo.

En 2015, Galván-Escobedo y cols., un equipo de arqueólogos mexicanos, publicó una investigación arqueobotánica realizada alrededor del Centro Histórico de la Ciudad de México (durante el periodo de 2002 a 2010). El objetivo era recuperar e identificar **macrorrestos botánicos** de la época prehispánica y los resultados demuestran que los aztecas utilizaban especies vegetales con fines medicinales, ceremoniales y alimenticios. Dichas variedades se han perpetuado en la historia de la humanidad y existe evidencia científica que sugiere que actualmente siguen siendo usadas con fines medicinales (véase la **Tabla 1**).

Macrorrestos botánicos

Elementos vegetales mayores a 0.25 mm y que pueden observarse a simple vista, aunque para su identificación sea necesario un microscopio (p. ej., restos de semillas o de madera).



Museo de la Universidad

*residuo
de la
distilacion*



*esta es la
superficie*

Museo

*esta es la
superficie
inferior*








*esta es la
superficie
inferior*





Figura 1. La cultura teotihuacana dejó en el Mural de Tepantitla (500 d. C.) una representación del Tlalocan, o paraíso de Tláloc, y figuras estilizadas de algunas plantas, como el pericón, el floripondio, el maíz, el cacao y sus usos medicinales o rituales.

Tabla 1. Ejemplos de plantas medicinales y alimenticias con potenciales efectos tóxicos

Plantas alimenticias		
	Nombre de la especie vegetal	Efecto tóxico
	Almendras (<i>Prunus dulcis</i>)	Cuando las <i>semillas</i> tienen sabor amargo, hay presencia de benzaldehído, que produce un compuesto cianhídrico altamente tóxico en niños.
	Manzana (<i>Malus domestica</i>)	Las <i>semillas</i> contienen glicósidos cianogénicos tóxicos; la ingestión de 50 semillas de manzana en una sola toma puede causar la muerte.
	Cerezo (<i>Prunus cerasus</i>). Especies de <i>Prunus</i> , como durazno, ciruelo, almendro	Las <i>hojas</i> y <i>semillas</i> de esta especie pueden contener glucósidos cianogénicos potencialmente tóxicos en altas cantidades.
	Frijol (<i>Phaseolus lunatus</i>)	Las <i>semillas</i> crudas contienen peligrosas cantidades de linamarina, que en altas dosis es muy tóxica.
Plantas medicinales		
	Nombre de la especie vegetal	Efecto tóxico
	Ruda (<i>Ruta graveolens</i>)	El <i>aceite esencial de la planta</i> contiene sustancias tóxicas.
	Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	El <i>aceite esencial de la planta</i> en altas dosis puede dañar los riñones y ser tóxico.
	Salvia (<i>Salvia officinalis</i>)	La <i>planta</i> contiene tejuna, sustancia que afecta el sistema nervioso.

Nota: Es importante señalar que el consumo tradicional de estas especies no produce efectos tóxicos; los ejemplos que aquí se describen dependen de la dosis en la que se consuman.

■ Plantas medicinales, “el pilar” de la medicina tradicional

■ La Organización Mundial de la Salud (OMS) precisa y define a la medicina tradicional como:

el conjunto de conocimientos, aptitudes y prácticas basadas en teorías, creencias y experiencias indígenas de las diferentes culturas, sean o no sean explicables; usados para el tratamiento de la salud, así como para la prevención, el diagnóstico, la mejora o el tratamiento de enfermedades físicas o mentales.

Por tanto, este sistema engloba todos estos conocimientos para poder revertir un síntoma o enfermedad y así manifestar un estado de salud primordial. La coexistencia de estos saberes se debe al traspaso activo del aprendizaje, el conocimiento y los procedimientos ancestrales.

La medicina herbolaria tiene una implicación primordial para el tratamiento de síntomas, signos y enfermedades. Frecuentemente, esta alternativa suele denominarse *medicina complementaria* y en muchas ocasiones representa la única opción para habitantes de comunidades indígenas. Ríos-Cortés (2023) comenta que el uso de plantas medicinales en estas entidades es muy variado, pues abarca desde su uso

para tratar trastornos digestivos y respiratorios, hasta afecciones de la piel (véase la **Figura 2**). En un estudio realizado por Alonso-Castro y cols. (2017) se entrevistó a profesionales de la salud de México y la información recabada reveló que el 54 % de ellos había utilizado plantas medicinales como terapia alternativa para diversas enfermedades; además, del total de los entrevistados, un 28 % había recetado plantas a sus pacientes.

Hoy día sabemos que más de la tercera parte de la población mundial utiliza plantas como remedio natural, así como que el 80 % de esta población ha utilizado en algún momento de su vida medicamentos de origen natural y tradicional. Según el Centro de Investigaciones de Alimentación y Desarrollo (CIAD), México es uno de los países con mayor biodiversidad vegetal en el mundo, pues se han contabilizado alrededor de 23 000 plantas, de las cuales 11 600 son endémicas y muchas de ellas se han utilizado desde tiempos prehispánicos para malestares como inflamación, gripe, diarrea, dolores generales, quemaduras, cáncer y diabetes, entre otros. Son grandes los esfuerzos que se han hecho en nuestro país para tratar de reunir información pertinente sobre las plantas medicinales. Existe un desarrollo constante y variado de investigaciones científicas so-



Figura 2. Distintas especies medicinales que comparten el mismo nombre común: dictamo.

bre estas especies. Una búsqueda en internet con las palabras “Plantas medicinales/México”, arroja aproximadamente 11 700 resultados rápidos, solamente del último año. La exploración y documentación recabadas hasta ahora demuestran que la medicina herbolaria tiene una importante influencia en la prevención y tratamiento de problemas de salud; además de ser una fuente importante de desarrollo e investigación para nuevos ingredientes activos de fármacos de uso común.

■ **Diferencias entre “planta” y “planta medicinal”**

■ Existe un gran número de especies vegetales (flora) que pueden clasificarse de muchas formas, especialmente por su aspecto, uso e interacción con el medio ambiente; por ejemplo, existen las alimenticias, ornamentales, industriales y medicinales. Son muchas las sustancias presentes en una especie vegetal, entre las que se encuentran componentes como *macronutrientes*, *micronutrientes* y sustancias útiles para la planta, como ácidos nucleicos, proteínas, grasas y lipoides. Las plantas generan **metabolitos secundarios** (fitoquímicos), como alcaloides, terpenos y flavonoides, entre otros. Es en estos metabolitos donde radica la importancia y uso de la especie como “planta medicinal”, ya que se ha demostrado que tales metabolitos, administrados en dosis adecuadas, producen efectos curativos en la prevención de signos y síntomas de enfermedades simples e incluso complejas.

Metabolitos secundarios
 Comuestos o moléculas orgánicas producidos por las plantas, que no están directamente involucrados en su desarrollo, crecimiento o reproducción.

Cosme-Pérez (2008) menciona que de las aproximadamente 260 000 especies de plantas que se conocen en la actualidad, sólo el 10 % se puede considerar como medicinal, ya que éstas se mencionan en diversos tratados médicos de fitoterapia, tanto modernos como de épocas pasadas donde se registra algún uso terapéutico. A la fecha, la investigación científica sobre el sustento de las especies de la herbolaria medicinal es muy poca; sólo el 15 % de las plantas existentes han tenido una evaluación fitoquímica o farmacológica (es decir, aislamiento, purificación y caracterización fitoquímica), y sólo 6 % ha sido validada y verificada con respecto a la actividad biológica o terapéutica adjudicada por

la población (Atanasov y cols., 2015). Considerando lo anterior, es claro que no todas las plantas pueden ser consideradas “medicinales”. El descubrimiento y desarrollo de fármacos basados en productos naturales representa una tarea compleja que exige un enfoque interdisciplinario altamente integrado; sin embargo, el reciente desarrollo científico, los avances y tendencias de la investigación indican claramente que los productos naturales están entre las fuentes más importantes de nuevos fármacos para el futuro.

■ **Trascendencia de las plantas medicinales en el desarrollo científico**

■ La naturaleza ha sido inteligente y nos ha abastecido de muchas sustancias químicas que han generado importantes fármacos en la historia de la humanidad. Montinari y cols. (2019) nos recalcan la importancia de la aspirina, un fármaco a base de ácido acetilsalicílico que procede de la corteza del *Salix alba* (sauce blanco), que en un principio se usaba para curar el dolor articular y posteriormente se comercializó como agente analgésico, antipirético y antiinflamatorio. Actualmente, la aspirina es el fármaco más usado en todo el mundo y ha demostrado salvar vidas por su prevención de enfermedades cardiovasculares. La aplicación de esta planta posiblemente tenga rendimientos para todo el milenio, pues su utilidad aún parece prometedora a la espera de completar ensayos de quimioprevención y reducción de demencia, entre otros. Ningún fármaco ha recibido tanta atención científica como la aspirina hasta ahora, ¡120 años después de su síntesis industrial!

Por su parte, Devereaux y cols. (2018) declara a la morfina como una molécula históricamente crítica en las neurociencias. Este alcaloide es producido por *Papaver somniferum* (opio) y desde su extracción y aislamiento, hace más de 200 años, sigue fascinando a los investigadores, quienes continúan buscando separar sus maravillosos efectos analgésicos de los efectos adictivos, de tolerancia y dependencia.

A lo largo de la historia, las plantas medicinales han sido parte indispensable del tratamiento y mejora de enfermedades. La aparición del covid-19

nos ha dejado muy claro que el uso de esta alternativa sigue estando en auge, pues una buena parte de las búsquedas terapéuticas durante la pandemia se orientó a los remedios naturales, enfocándose en plantas medicinales con usos antivirales, antiinflamatorios, de fortalecimiento inmune o de tratamiento de enfermedades respiratorias.

■ **Desafíos y consideraciones del uso de la medicina herbolaria: todo en exceso es malo**

■ La mayoría de los grupos de investigación enfocados en plantas medicinales, en un intento de aportar mayor conocimiento al campo, dirigen sus esfuerzos a identificar las sustancias responsables de la actividad biológica para así poder validar el uso tradicional y la seguridad del consumo. La versatilidad de los metabolitos secundarios presentes en las especies herbólicas abre una vertiente de efectos biológicos que pueden ser o no beneficiosos. En este respecto, incluso plantas de uso alimenticio pueden llegar a ser perjudiciales si se consumen en altas concentraciones. Así lo precisaba Paracelso cuando afirmó que “todas las cosas son veneno y nada es sin veneno” (“la dosis hace el veneno”), llegando a la conclusión de que cualquier sustancia, incluso el agua y el oxígeno, si se ingiere en grandes cantidades, puede llegar a ser perjudicial para un ser vivo.

Otra consideración imprescindible deberá ser la importancia de la identificación vegetal. En las últimas décadas el uso de plantas medicinales es más de tipo popular que étnico-tradicional. Los saberes ancestrales de los practicantes de la **etnomedicina** han ido en declive y ellos eran los que correctamente validaban, identificaban y nombraban la medicina herbolaria. Actualmente, en el estudio de las plantas medicinales, un paso imprescindible es la identificación taxonómica de la especie en estudio. Los especialistas botánicos asignan un nombre científico a cada planta (género y especie); es decir, “un nombre y un apellido”. Gracias a esta asignación de nombre botánico, una planta puede tener una identidad que es usada en cualquier parte del mundo y así evitar las dificultades y complicaciones que se suscitan en el uso tradicional, pues en ocasiones un mismo



nombre común puede ser compartido por distintos géneros y especies; un ejemplo es la planta conocida como “Díctamo” —usada para problemas ginecológicos, epilepsia o como antídoto para venenos—, nombre que se usa al menos para cuatro especies (*Dictamnus hispanicus*, *D. albus*, *D. pseudodictamnus* y *Oreganum dictamnus*) que, por supuesto, no tienen la misma composición química, ni el mismo uso popular en todas las regiones donde se localizan.

Asimismo, la migración de la población humana hace que se llegue a nombrar a algunas plantas sólo por su parecido con otras de diferente región. Algunas especies bien conocidas y ampliamente utilizadas son reemplazadas por otras de apariencia similar, pero con distintos efectos terapéuticos. El cáñamo (*Cannabis indica*) y la marihuana (*Cannabis sativa*) (véase la **Figura 3**) son plantas comúnmente confundidas a simple vista, y a pesar de que pertenecen al mismo género, cada una es una especie diferente, lo que significa que pueden tener características y usos distintos. Por si fuera poco, la marihuana también suele confundirse con algunas otras especies como *Datisca cannabica* (“falso cáñamo”), *Hibiscus cannabicus* (“cáñamo de la India”) y *Arce palmatus* (“arce japonés palmeado”), entre algunas otras. Existen especies que confunden incluso a expertos en el tema. La menta (*Mentha piperita*) y la hierbabuena (*Mentha spicata*) son tan parecidas e incluso despiden un olor característico tan similar que pueden

◀ **Etnomedicina**

Conocida como medicina tradicional, es un sistema de conocimientos basado en la observación y experimentación con plantas y animales para curar y prevenir enfermedades.

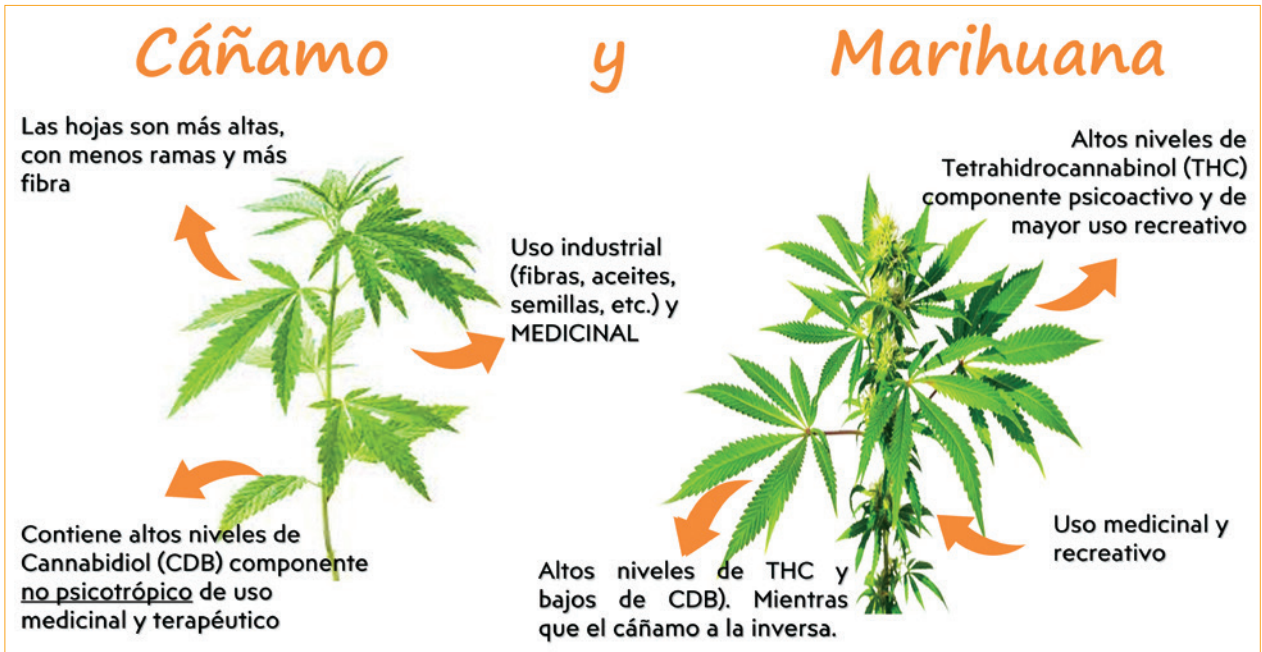


Figura 3. Diferencias entre el cáñamo y la marihuana.



Figura 4. Diferencias entre la “semilla de Brasil” y el “codo de fraile”.

hacer dudar a cualquiera. Aunque son plantas distintas, no hay riesgo al usarlas indistintamente, pues incluso a nivel poblacional la gente termina convencida de que son la misma planta.

Adicionalmente, no se debe olvidar que existen plantas con un alto potencial tóxico. Un caso po-

pular, con alta necesidad de identificación, diferenciación y validación, nos refiere al consumo de la “semilla de Brasil” y “codo de fraile” (véase la Figura 4). La primera, científicamente llamada *Bertholletia excelsa*, es un árbol que produce semillas en forma de cápsulas comestibles conocidas como nueces,

que tienen un sabor delicado y son una gran fuente de selenio y grasas insaturadas, además de ser utilizadas para enfermedades cardíacas. Por su parte, el “codo de fraile” (*Thevetia peruviana*) es un árbol con frutos que al madurar cambian de color verde a rojo y luego a negro, y que provocan efectos tóxicos en el corazón y causan severa irritación gastrointestinal. Ocasionalmente, se usan en sustitución de la semilla de Brasil por sus propiedades para quemar grasa y triglicéridos; sin embargo, la *T. peruviana* puede causar intoxicación, deshidratación y diarrea que puede llegar a ser letal. Las consideraciones anteriores nos hacen reflexionar en que las plantas medicinales pueden ser una opción terapéutica, siempre y cuando se utilicen con prudencia y tomando en cuenta los saberes científicos alcanzados que permiten conocer los efectos reales sobre el organismo, garantizando su eficacia y que sea seguro su consumo.

■ Conclusiones

■ Queda claro que la medicina tradicional a base de plantas medicinales ha trascendido desde tiempos prehispánicos, y la evidencia no sólo sugiere, sino comprueba, que han sido fuente de importantes fármacos eficaces y relevantes en la industria farmacéutica. No obstante, es importante entender que,

aunque existen muchos suplementos y fármacos que derivan de plantas, lo que es “natural” no siempre será totalmente seguro. La información e implicaciones del uso de plantas medicinales que hemos abordado en este texto, deben ser tomadas en cuenta antes de decidir usar un remedio natural, si es que no se es médico tradicional. El uso de productos herbolarios puede llegar a tener los mismos efectos benéficos que el consumo de fármacos elaborados por laboratorios farmacéuticos, pero también las complicaciones y reacciones adversas que se presentan con estos fármacos. Por todo esto, es necesaria la información y conocimiento al usar esta alternativa natural y sería ideal usarla bajo supervisión médica. El estar bien informado puede garantizar un beneficio para nuestra salud de manera natural y segura.

Rosa Virginia García Rodríguez

Doctorado en Ciencias Biomédicas.

Instituto de Química Aplicada.

rosagarcia02@uv.mx

Libna Sulem Gallardo Beatriz

Doctorado en Ciencias Biomédicas.

Instituto de Química Aplicada.

libna_sulem_88@hotmail.com

Referencias específicas

- Alonso-Castro, A. J., F. Domínguez, J. J. Maldonado-Miranda, L. J. Castillo Pérez, C. Carranza Álvarez *et al.* (2017), “Use of medicinal plants by health professionals in Mexico. *Journal of Ethnopharmacology*, 198:81-86.
- Atanasov, A. G., B. Waltenberger, E. M. Pferschy-Wenzig, T. Linder, C. Wawrosch *et al.* (2015), “Discovery and resupply of pharmacologically active plant-derived natural products: A review”, *Biotechnology Advances*, 33(8):1582-1614.
- Cosme Pérez, I. (2008), “El uso de las plantas medicinales”, *Revista Intercultural*, pp. 23-26.
- Devereaux, A. L., S. L. Mercer y C. W. Cunningham (2018), “DARK Classics in Chemical Neuroscience: Morphine”, *ACS Chemical Neuroscience*, 9(10):2395-2407.
- Galván-Escobedo, I. G., A. Montúfar-López, E. Usanga-Mortera, E. García-Moya y R. Esparza-López (2015), “Recuperación e identificación de macrorrestos arqueobotánicos en el museo nacional de las culturas, ciudad de México”, *Polibotánica*, 39:133-149.
- Montinari, M. R., S. Minelli y R. de Caterina (2019), “The first 3 500 years of aspirin history from its roots: A concise summary”, *Vascular Pharmacology*, 113:1-8.
- Ríos-Cortés, M. (2023), *Etnobotánica, fenología y perfil fitoquímico de Bacopa procumbens*, Colegio de Postgraduados: Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, tesis de doctorado, Puebla, México.

José Manuel Serrano-Serrano y Leticia M. Ochoa-Ochoa

Ranas que silban entre las piedras

Las ranas de dedos libres no son popularmente conocidas, aunque algunas habitan en ciudades de México. A pesar de que su canto puede ser reconocido por quienes viven alrededor de sus hábitats, suele atribuirse a grillos o incluso a seres mágicos. Lo más interesante de estas ranas es que las hembras cantan muy similar a los machos, lo que plantea retos interesantes para la biología, que por lo general sólo reconoce la importancia del canto en los machos.

En el imaginario colectivo, las ranas y sapos producen sonidos como “birip” y “croac”. Los ambientes sonoros nocturnos en las películas nacionales y extranjeras así lo han reforzado al construir incontables veces la escenografía sonora de un lago al lado de un bosque repitiendo una y otra vez los sonidos de ranas norteamericanas o europeas. Pero los sonidos que producen las ranas y sapos son bastante más diversos en las latitudes del centro y sur globales. Tanto es así que hay especies que producen chirridos o silbidos que suelen confundirse con el sonido de grillos o pájaros. Por ejemplo, en la Sierra Norte y Nororiental de Puebla las personas suelen confundir el chirrido de la diminuta rana chirriadora orejona (*Eleutherodactylus verrucipes*) con el tlaconete (*Bolitoglossa platydactyla*); pero si bien se sabe que ambos anfibios viven entre los cultivos, vegetación y paredes de las casas, el tlaconete es incapaz de producir sonidos (véase la **Figura 1**).

El canto de estas ranas es conocido por su onomatopeya: “tsurumpitpit”, nombre que lleva un cortometraje documental que revela la historia de esta confusión en comunidades totonacas.¹ En otra región al sur de Puebla, el canto de la rana fisgona deslumbrante (*Eleutherodactylus nitidus*) es atribuido a silbidos hechos por duendes que intentan confundir a los caminantes nocturnos. Estas confusiones son casi tan cómicas como enigmáticas. Asimismo, es sorprendente que muchas personas que viven en el centro de México están rodeadas por estas ranas pequeñas de dedos libres que habitan en sus patios y bosques cercanos, pero pasan tan desapercibidas que incluso no tienen un nombre coloquial. Los nombres que aquí

¹ Dicho documental se puede ver gratuitamente en YouTube: <<https://youtu.be/V2RJQD4xtRA>>.





Figura 1. Arriba: la rana chirriadora orejona, *Eleutherodactylus verrucipes*. Foto de Juan Manuel Díaz García. Abajo: la salamandra no pulmonada, *Bolitoglossa platydictyla*, conocida como tlaconete. Foto de José Manuel Serrano.

Estridulación

Es un mecanismo de producción de sonidos que resulta de frotar dos partes rígidas del cuerpo. Los artrópodos en los que mejor se conoce la estridulación son grillos, cigarras y escarabajos.

hemos utilizado para estas especies son traducciones al español de los nombres en inglés que utilizan investigadores extranjeros: ranas chirriadoras, ranas fisgonas o ranas ladronas. Dentro del lenguaje científico, las ranas silbadoras y chirriadoras se ubican en los géneros *Craugastor* y *Eleutherodactylus*. Pero en este texto nos enfocaremos sólo en las ranas de este último género.

¿Ranas que no suenan como ranas?

Entre los diversos tipos de ranas que habitan en México, las de dedos libres son de las más interesantes y enigmáticas. El nombre del género *Eleutherodactylus* significa dedos verdaderos o dedos libres en latín, que es la lengua que utilizan los científicos para nombrar a las especies biológicas. Por lo que *Eleutherodactylus* hace referencia a que los dedos entre sus cuatro patas no tienen membranas, como comúnmente se observan entre los dedos de las ranas acuáticas. Los dedos libres de estas ranas son indicio de las adaptaciones para la vida terrestre, ya que pueden reproducirse poniendo sus huevos en espacios húmedos formados por la hojarasca o en recovecos

entre las rocas fuera del agua. Esta estrategia reproductiva es conocida como desarrollo directo, porque las crías de estas ranas llevan a cabo la metamorfosis dentro del huevo y nacen completamente formadas, con patas y pulmones adaptados para la vida terrestre. Al no tener una etapa de vida acuática como renacuajos, estas ranas no realizan la metamorfosis que típicamente conocemos en los anfibios para convertirse en un adulto capaz de vivir fuera del agua.

En el caso de las ranas de dedos libres, le llamamos silbido a los cantos de tono y volumen modulado que se asemejan al sonido uniforme y relativamente corto de un pajarillo o pollo; y llamamos chirrido a aquellos cantos que con varias notas fragmentadas y prontamente enunciadas una tras otra, se escuchan como la **estridulación** aguda de un grillo. En la Fonoteca de Anfibios de México puedes escuchar los cantos de distintas especies de la familia de las ranas de dedos libres y de otros anfibios de México.²

La rana del Pedregal, en peligro de extinción

Entre mayo y agosto de cada año, las intensas lluvias provocan que la vida se levante y enrede en los pedregales del sur de la Ciudad de México. Entre las piedras, los cactus y el ruido de autos y camiones, sobresale una armonía de silbidos que pocas personas atinan a saber que proviene de una rana.

La rana del Pedregal (*Eleutherodactylus grandis*) es una de las pocas especies que viven exclusivamente dentro de los límites geográficos de la Ciudad de México (véase la **Figura 2**), donde habita en un área menor a 120 km². El problema es que, además de la limitada superficie que ocupa entre espacios altamente fragmentados, la rana del Pedregal enfrenta la pérdida de bosques, matorrales y pastizales nativos, además del suelo agrícola, una situación que la Ciudad de México ha experimentado en los últimos años (Aguilar y cols., 2022). Estas circunstancias revelan que tanto la rana del Pedregal como su hábitat se encuentran en peligro de extinción. Desafortunadamente, la existencia de esta rana pasa práctica-

² Para más información sobre la Fonoteca de Anfibios: <http://cantosanuros.fcien.unam.mx/>.



Figura 2. Un macho de la rana del Pedregal (*Eleutherodactylus grandis*) canta inflando de forma notable su saco vocal, el cual le ayuda a empujar el aire que se transforma en un fuerte silbido en el interior de su laringe. Foto de Miguel Ángel Sicilia.

mente desapercibida para la población humana que habita en el derrame del Pedregal del Xitle, donde se encuentran sus principales poblaciones.

Fue a finales de 1950, justo antes de que la mancha urbana de la ciudad creciera exponencialmente, cuando se descubrió que la rana del Pedregal solamente habita en la Ciudad de México y por lo tanto se trata de una especie distinta a otras ranas de dedos libres que habitan en el Eje Neovolcánico. Debido a la expansión urbana, una gran parte de su hábitat se transformó en calles y edificios, a tal grado que hoy en día sólo se sabe de su presencia en pocas áreas naturales protegidas del sur de la ciudad: la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, el Parque Ecoguardas y el Parque Ecológico de la Ciudad de México. Si consideramos que el volcán Xitle hizo erupción hace aproximadamente 2 000 años —que en tiempo evolutivo es apenas un pestañeo—, es posible imaginar que la rana del Pedregal podría estar presente en los pedregales de los otros siete volcanes ubicados en el sur de la Ciudad de México. Aunque no todos estos volcanes cumplen con los requisitos para esta posibilidad, pues sabemos que la rana del Pedregal prefiere vivir por debajo de los 2 800 metros de altitud.

En el año 2021, al investigar más sobre la ecología de la rana del Pedregal, pudimos confirmar que estos anfibios cantan solamente a partir de los últimos días de mayo y hasta mediados de agosto. Desafortunadamente, es casi imposible observarla

Recuadro 1.

Recientemente, investigamos cuál es el área en que suele desplazarse la rana del Pedregal y en qué meses es más factible encontrarla. Junto con la estudiante de biología Florencia Juárez, descubrimos que en observaciones realizadas en 20 noches sucesivas, las ranas se movieron menos de dos metros de distancia en promedio, y que pueden pasar noches sucesivas cantando en la misma roca; aunque en su mayoría, después de dos o tres noches continuas, desaparecen sin que sepamos dónde están.

fuera de los meses en que canta, pues es su sonido el que delata su ubicación. Hemos corroborado que la rana no habita en espacios del Pedregal donde el suelo es quebradizo, como el de tepetate, lo cual tiene bastante sentido considerando que si se mueven y habitan entre piedras es importante que la roca sea firme para que un rodamiento no las aplaste.

Además, es en los suelos con rocas grandes y firmes donde crecen mejor los matorrales, cactus, agaves y musgos, creando un microhábitat más propicio para mantener la humedad y propiciar la presencia de insectos de los que la rana puede alimentarse.

Lo más sorprendente que hemos observado sobre la historia natural en varios años de investigación, es que entre las muchas decenas de ranas del Pedregal que hemos encontrado, sólo hemos detectado una hembra. Y es que identificar el sexo en esta especie puede ser un poco incierto. La única manera en que podemos comprobar que la rana que atrapamos es hembra, es cuando observamos que lleva huevos en el interior de su cuerpo (véase la **Figura 3**). Es decir, si encontramos una hembra que recientemente depositó sus huevos en un nido, es probable que la confundamos con un macho. Este mismo problema se presenta en muchas de las otras 41 especies de este género que se conocen en México, pues no en todas las especies se conoce a las hembras, aunque se sabe que suelen ser más largas que los machos por unos cuantos milímetros.



Figura 3. Una hembra de la rana chirriadora mexicana (*Eleutherodactylus cystignathoides*) lleva varios huevos al costado de su cuerpo, por lo que la identificación de su sexo es fácilmente reconocible. Foto de José Manuel Serrano.

Recuadro 2

El canto de poblaciones distintas de ranas chirriadoras mexicanas suele presentar mayores diferencias que el de machos y hembras en una misma población, lo que nos ha llevado a afirmar que el canto es prácticamente indistinguible entre los sexos, al menos para el oído y capacidad de análisis acústico humanos. No obstante, en unos experimentos en campo, pudimos comprobar que cuando mostramos grabaciones de uno y otro sexo, las hembras responden con mayor volumen a las hembras, mientras que los machos responden de manera indistinta independientemente del sexo de los especímenes de las grabaciones. Estos procesos de comunicación entre los sexos de las ranas, con hembras activamente vocalizando, plantean que la reproducción no se lleva a cabo por procesos electivos, como se presume para muchas otras especies, sino que la reproducción en las ranas chirriadoras es un proceso de negociación entre macho y hembra (Serrano y Penna, 2018).

■ Silbidos de machos, ¿y hembras?

■ Ya sea croando, silbando o cantando, los coros repetitivos que forman típicamente los machos de ranas y sapos alrededor de cuerpos de agua son el preámbulo para anunciar a las hembras los sitios propicios para reproducirse. Los aglomerados coros de las ranas y sapos con reproducción acuática contrastan con los coros dispersos de las que tienen reproducción terrestre, como es el caso de las ranas silbadoras de los pedregales. En las ranas con reproducción terrestre, como las de dedos libres, los machos pueden estar a varios metros de distancia cantando alternadamente; a diferencia de los coros de ranas acuáticas, donde es apabullante el estruendo de los machos, que pueden cantar incluso uno encima de otro, lo que complica atinar quién lleva la batuta coral.

Las ranas silbadoras del Pedregal son un ejemplo de señalización coordinada a distancia, donde los machos no están agrupados y su dispersión es más bien azarosa entre piedras, arbustos y nopales. Fue en el caso de las ranas de dedos libres en el que el herpetólogo James Dixon escuchó por primera vez, en la década de 1950, que algunas hembras de la rana fisgona de Pátzcuaro (*Eleutherodactylus angustidigitum*, **Figura 4**) y la rana fisgona deslumbrante podían cantar de forma muy similar a los machos, pese a no tener un saco vocal prominente como el de los machos. En 1957 dicho investigador estadounidense afirmó que las hembras de ambas especies podrían estar cantando como una forma de facilitar su encuentro a distancia con los machos.



Figura 4. La rana fisgona de Pátzcuaro (*Eleutherodactylus angustidigitum*), una de las primeras especies de ranas donde se detectó que las hembras cantan, aunque los detalles de este fenómeno no se han estudiado a la fecha. Foto de Óscar Reyna Bustos.

Desafortunadamente, no hemos podido corroborar si las hembras de la rana del Pedregal cantan como lo hacen los machos, pero sí hemos logrado comprobar que las hembras de la rana chirriadora mexicana (*Eleutherodactylus cystignathoides*) cantan de forma muy semejante a los machos, distinguiéndose su chirrido por ser ligeramente más agudo en las hembras.

El silencio de los ecosistemas

Los coros de las ranas de dedos libres encaran circunstancias poco armoniosas y, al vivir dentro de ciudades, algunas de estas especies se enfrentan a obstáculos como los ruidos y luces. Aunque hay especies, como la rana fisgona deslumbrante y la rana fisgona mexicana, que pueden cantar durante la noche bajo luminarias y a un costado de avenidas transitadas por ruidosos camiones y autos sin el menor reparo aparente. En cambio, la rana del Pedregal y varias otras especies que se encuentran en ciudades no son tolerantes a las luces y ruidos urbanos, por lo que paulatinamente se han ido desplazando a espacios donde estos disturbios están atenuados por la distancia. Además, se pueden ver afectadas por los cambios en el terreno que genera la construcción de edificios o jardines artificiales, a los que tampoco son afines. Por esta razón, cada metro cuadrado que sigamos transformando sobre sus exclusivos hábitats, nos llevará paulatinamente a veranos cada vez más silenciosos.

En años recientes los científicos y ambientalistas han demostrado que los coros que la fauna genera dentro de su ambiente social (del que dependen para encontrarse y reproducirse) representan para nuestra especie un beneficio que no sólo nos complace y relaja, sino que nos permite recrear la sensación de saber en qué sitio del mundo y en qué momento del año nos encontramos. Estos sonidos biológicos que producen insectos, anfibios, aves, mamíferos, e incluso el viento sobre la vegetación y la lluvia, son parte del paisaje sonoro que nos ha acompañado, otorgando un valor cultural y sensorial del que dependemos para ubicarnos en el mundo. En otras palabras, cuando los ecosistemas son transformados, no sólo lo podemos percibir por los cambios en los

ciclos de lluvia y temperatura sobre los que los medios de comunicación nos advierten cotidianamente como resultado de la crisis climática, sino también por la pérdida de sonoridad. Son todos estos aspectos ambientales los que conforman y mantienen con vida a los ecosistemas y a nuestros sentidos. En México, 12 de las 42 ranas de dedos libres se encuentran bajo alguna categoría de riesgo de extinción y prácticamente son desconocidas para las personas, pero es muy probable que nuestros sentidos y modos de vida notarán su ausencia si una sola de ellas llega a desaparecer.

Agradecemos el apoyo del Programa de Becas Posdoctorales de la UNAM-DGAPA.

José Manuel Serrano-Serrano

Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera", Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

jose.rano@gmail.com

Leticia M. Ochoa-Ochoa

Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera", Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

leticia.ochoa@ciencias.unam.mx

Referencias específicas

Aguilar, A. G., M. A. Flores y L. F. Lara (2022), "Peri-urbanization and land use fragmentation in Mexico City. Informality, environmental deterioration, and ineffective urban policy", *Frontiers in Sustainable Cities*, 4:79047.

Serrano, J. M. y M. Penna (2018), "Sexual monomorphism in the advertisement calls of a Neotropical frog", *Biological Journal of the Linnean Society*, 123(2): 388-401.

Lecturas recomendadas

Tapia-Ramírez, G. y J. M. Serrano (2016), "Nuestros desconocidos vecinos: los anfibios del Pedregal", *Especies*, 25(2):16-19.

Cristian Cornejo-Latorre y Luz María Sil-Berra

Mamíferos, ¿qué son y desde cuándo?

Los mamíferos modernos, surgidos a partir del grupo *Synapsida* hace 323 millones de años, presentan una gran diversidad morfológica, ecológica y evolutiva. La comprensión de la historia evolutiva de este grupo es vital, pero también representa un gran reto debido al carácter gradual de su evolución y por la presencia de convergencias evolutivas. En el presente escrito se presenta una breve síntesis del panorama general del origen y la evolución de los mamíferos modernos.

Introducción

Seguramente alguna vez te has preguntado qué es un mamífero. La presencia de pelo y la alimentación de las crías con leche materna son las principales características que definen a estos animales; sin embargo, si pensamos en la delimitación de los mamíferos desde una perspectiva temporal, esta definición podría ser más compleja debido a una serie de procesos evolutivos que ocurrieron entre su origen y su diversificación.

Las entidades taxonómicas (clases, órdenes, géneros o especies) agrupan a conjuntos de individuos que se parecen entre sí, están evolutivamente emparentados y mantienen un patrón claro de ancestría y descendencia con respecto a otras entidades. En este contexto, los mamíferos pertenecen a la clase *Mammalia*, por lo que la respuesta a la pregunta “¿qué es un mamífero?” es sencilla si enlistamos las características exclusivas presentes en los **linajes** actuales. Sin embargo, esta respuesta está incompleta si no se considera el componente histórico.

Todos los organismos actuales son resultado de su historia evolutiva. Los linajes actuales se originaron a partir de linajes ancestrales. Este proceso puede incluir la modificación de características morfológicas, genéticas y conductuales a través del tiempo, como consecuencia de la interacción de fuerzas evolutivas que operan en distintos escenarios y en diferentes escalas espaciales y temporales. Así, la definición de qué es un mamífero resulta interesante e informativa y se enriquece al abordarla desde perspectivas tanto actuales como históricas.

Durante los últimos 250 mil años, la especie humana ha coexistido e interactuado de múltiples maneras con otras especies de mamíferos, ya sea por medio del

Linaje

Conjunto de poblaciones que mantiene un patrón de ancestría y descendencia a través del tiempo.



aprovechamiento directo de su carne, pieles u otros derivados; con la domesticación de ciertas especies para compañía, transporte y alimento; al competir por diferentes tipos de recursos, e incluso al compartir una amplia gama de patógenos, entre otros aspectos. Gracias a esta estrecha convivencia, hemos documentado su gran diversidad, distribución e importancia ecológica, social y económica.

Actualmente se reconocen 6 753 especies de mamíferos a nivel mundial, entre las que se cuentan 101 extintas y 19 que se han domesticado. Los mamíferos actuales se clasifican en dos grupos: *Prototheria* (monotremas: equidnas y ornitorrincos) y *Theria*; dentro de *Theria* se encuentran los *Metatheria* (marsupiales: canguros, koalas, tlacuaches, entre otros) y los *Eutheria* (mamíferos placentarios: primates, elefantes, ratones, murciélagos, entre otros). Se distribuyen en todo el mundo, desde las regiones tropicales hasta las polares, y desde la profundidad del mar hasta las altas montañas. Los más pequeños pesan sólo 1 o 2 g, como el murciélago abejorro (*Craseonycteris thonglongyai*) y la musaraña etrusca (*Suncus etruscus*); mientras que los más grandes, como la ballena azul (*Balaenoptera musculus*), pesan hasta 150 toneladas. Hay mamíferos de hábitos diurnos, crepusculares y nocturnos; marinos, terrestres, fosoriales y voladores; pueden ser carnívoros, herbívoros,

folívoros, insectívoros, omnívoros y hematófagos, y su reproducción es tan diversa que incluso algunos de ellos, como los equidnas y el ornitorrinco, ponen huevos. A pesar de esta gran diversidad de formas, tamaños y hábitos, los mamíferos comparten características que permiten incluirlos en un grupo evolutivo distinto con respecto a otros vertebrados; es decir, de aquellos animales que presentan una espina dorsal compuesta de vértebras como los peces óseos, anfibios, reptiles y aves.

■ Características de los mamíferos actuales

■ Además de la presencia de pelo y de glándulas mamarias que producen leche materna con la que alimentan a sus crías, todos los mamíferos actuales presentan, por lo menos durante alguna de las fases de su desarrollo, las siguientes características: músculos faciales, piel con músculos erectores y papilas dérmicas, glándulas sebáceas, sudoríparas y odoríferas, un cerebro con dos hemisferios, dentición decidua, un paladar secundario que separa el pasaje respiratorio de la cavidad bucal, un diafragma muscular, una epiglotis (lámina de tejido que tapa la tráquea al tragar para que los alimentos no entren al pulmón), una estructura pulmonar compleja, un corazón con cuatro cavidades, glóbulos rojos sin núcleo y la capacidad de regular y conservar su temperatura corporal (endotermia). Asimismo, con excepción de los monotremas que ponen huevos y los marsupiales que terminan su desarrollo en el marsupio, la mayoría de los mamíferos son placentarios; es decir, las crías se desarrollan dentro del útero materno y son alimentadas a través de la placenta.

■ Origen y evolución de los mamíferos

■ Una vez que se han abordado las principales características de los mamíferos actuales, es necesario reflexionar sobre cómo surgieron. Si bien muchas características anatómicas distintivas de los mamíferos actuales no se encuentran en fósiles, la evolución del esqueleto está bien documentada, incluyendo los cambios morfológicos en el cráneo y la mandíbula. A partir del registro fósil, se han inferido varios even-



Musaraña.

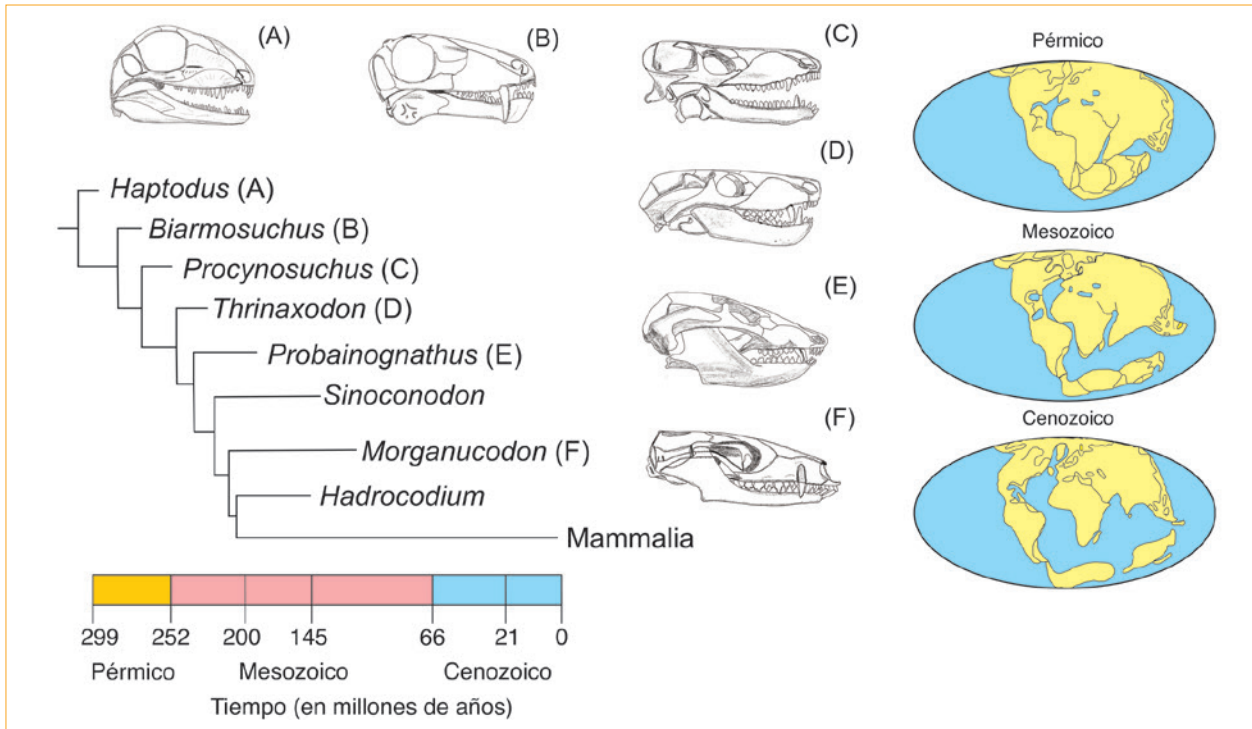


Figura 1.

tos macroevolutivos importantes para los linajes de mamíferos actuales y extintos (véase la **Figura 1**).

Hace unos 323 millones de años, durante el periodo Carbonífero, cuando la Tierra estaba conformada por el supercontinente Pangea, surgieron los *Synapsida*, el conjunto de organismos que ocupa el espacio entre el tiempo de origen y la diferenciación del grupo descendiente; es decir, de la clase *Mammalia*. El registro fósil sugiere que los sinápsidos fueron los primeros **amniotas** en diversificarse, llegando a ser el grupo más diverso y abundante durante el subperiodo Pensilvánico, también conocido como Carbonífero superior. Los primeros sinápsidos se caracterizaban por la presencia de una fenestra temporal (abertura situada detrás de las órbitas de los ojos), donde se insertaban los músculos de la mandíbula inferior, proporcionando una mayor fuerza a la mandíbula; esta fenestra se agrandó progresivamente en los sinápsidos posteriores.

A mediados del Pérmico, hace unos 270 millones de años, se origina un grupo de los sinápsidos, agrupados en el orden *Therapsida*, que se caracterizaba por sus dientes caninos grandes con el centro

del paladar rebajado, lo que sugiere que el conducto respiratorio estaba parcialmente separado de la cavidad bucal; mientras que el origen de los músculos de la mandíbula se desplazó hacia la caja craneana y el arco cigomático para una mordida más fuerte; asimismo, desarrollaron dos cóndilos occipitales que permitían un mejor control de los movimientos de la cabeza. Por otra parte, las patas traseras se sostenían de forma vertical, más como los mamíferos que como los reptiles. De este grupo, evolucionaron los cinodontes avanzados del Triásico medio y tardío (hace 247-237 millones de años), cuyos dientes maxilares tenían una fila lineal de cúspides y también una cúspide en el lado interno del diente. A partir de esta variación surgió el desarrollo de dientes maxilares complejos en los mamíferos, los que posteriormente se modificaron en los diferentes linajes de acuerdo con los tipos de alimentación. Los dientes de los mamíferos actuales se diferencian en incisivos, caninos, premolares y molares, en donde los dos últimos tienen múltiples cúspides; mientras que la mayoría de los tetrápodos tenían dientes uniformes de una sola cúspide. La evolución de ciertos caracteres craneales

Amniotas
Vertebrados que desarrollan cuatro membranas durante el desarrollo embrionario.

de los *Synapsida* (por ejemplo, la postura, la diferenciación de los dientes y los cambios en el cráneo asociados con la musculatura de la mandíbula) hacia los linajes actuales de mamíferos ocurrió de manera gradual.

El origen de los primeros mamíferos modernos se sitúa en el periodo Mesozoico, hace unos 220 millones de años, cuyos antepasados formaron parte de un diverso árbol evolutivo con aproximadamente 25 linajes que coexistieron con dinosaurios y otros vertebrados pequeños. Si bien las primeras formas mamíferoides no fueron abundantes en el Mesozoico, sí eran relativamente diversas ya que se encuentran representadas por unos 310 géneros. La **radiación adaptativa** temprana de mamíferos durante el Mesozoico está representada por una amplia diversidad de **clados** y **ecomorfos**. Aunque la mayoría de estos linajes se extinguieron antes del Cenozoico, la acumulación de varias innovaciones en los clados ancestrales de los marsupiales y placentarios fue fundamental para su posterior proliferación durante el

Cenozoico, luego del evento de extinción masiva del Cretácico-Paleógeno, que devastó el ambiente global y provocó la extinción de las tres cuartas partes de las especies de plantas y animales, incluyendo a los dinosaurios. En este contexto, una hipótesis plausible es que los mamíferos que sobrevivieron habrían desarrollado adaptaciones clave, tales como una placenta más eficiente y estrategias reproductivas especializadas. Así, estas innovaciones les permitieron explotar nuevos nichos ecológicos y posteriormente diversificarse, dando lugar a la amplia variedad de mamíferos que observamos en la actualidad.

El surgimiento y diversificación de los mamíferos modernos refleja otros aspectos interesantes: 1) la evolución de estructuras y caracteres ocurrió a diferentes ritmos o tasas de cambio; 2) no surgieron nuevos caracteres craneales. Por el contrario, muchos de ellos se fusionaron, una novedad evolutiva que dio lugar a un cráneo más fuerte en la transición hacia los mamíferos modernos, y 3) algunos elementos repetidos, como los dientes, se individualizaron

Radiación adaptativa

Surgimiento de una o más especies a partir de un ancestro común durante un intervalo relativamente corto y que por lo general ocupan distintos nichos ecológicos.

Clado

Conjunto de organismos que incluye al ancestro común y a todos sus descendientes.

Ecomorfo

Conjunto de linajes que muestran características morfológicas similares relacionadas con sus funciones en el ecosistema.



Tabla 1. Eventos que ilustran algunas de las transiciones evolutivas más importantes hacia los mamíferos modernos, desde el Paleozoico hasta el Cenozoico.

Era	Período	Tiempo en millones de años	Eventos evolutivos importantes en <i>Mammalia</i>
Cenozoico		0.0117	Especies y subespecies modernas; extinción de mamíferos por <i>Homo sapiens</i> .
	Cuaternario	2.59	Surgimiento de las especies modernas o de sus ancestros; extinción de la megafauna de mamíferos.
		5.33	Surgimiento de los géneros modernos.
	Neógeno	23.03	Surgimiento de las subfamilias modernas.
		33.9	Surgimiento de las familias modernas.
		56	Surgimiento de los órdenes modernos.
	Paleógeno	66	Radiación evolutiva de mamíferos marsupiales y placentarios.
Mesozoico	Cretácico	145	Surgimiento de <i>Monotremata</i> (prototerios), <i>Metatheria</i> (marsupiales) y <i>Eutheria</i> (mamíferos placentados).
	Jurásico	201	Mamíferos arcaicos y diversificación de los docodontos, así como la diversificación evolutiva de los eutriconodontos, multituberculados y cladoterios.
	Triásico	252	<i>Therapsida</i> , aparición de los primeros mamíferos y diversificación de los morganucodontes.
Paleozoico	Pérmico	299	Surgimiento de <i>Therapsida</i> , <i>Cynodonta</i> .
	Pensilvánico	323	Surgimiento de <i>Synapsida</i> .
	Misisípico	359	Surgimiento de <i>Amniota</i> .

para tener una función distinta en el proceso de alimentación. Además, los cambios morfológicos de los caracteres craneales en los mamíferos actuales están asociados con cambios adaptativos en su función o especialización. Por ejemplo, los primeros amniotas tenían un solo hueso transmisor del sonido en el oído medio, el estribo. En cambio, los mamíferos actuales tienen tres huesos: el estribo, el martillo y el yunque, que se originaron a partir de los huesos articulares y cuadrados de la mandíbula de tetrápodos. Por otra parte, en los mamíferos la mandíbula inferior está formada por un solo hueso, el dentario; mientras que en los reptiles está conformada por varios huesos. La separación de la mandíbula y los huesos del oído permitieron que el cráneo de los mamíferos se expandiera hacia los lados y hacia atrás, coadyuvando al aumento del volumen del cerebro y el consecuente desarrollo cognitivo. Asimismo, características como una caja craneal agrandada, la

fenestra temporal y un paladar secundario, son atributos que distinguen a la mayoría de los mamíferos con respecto a otros vertebrados.

En síntesis, la evolución de los mamíferos primitivos hasta los modernos incluye al menos seis eventos de diversificación ecológica y morfológica durante breves periodos (véase la **Tabla 1**), los cuales se enlistan a continuación: 1) la diversificación de los morganucodontes durante el Triásico; 2) la diversificación de los docodontos a mediados del Jurásico; 3) la diversificación de eutriconodontos, multituberculados y cladoterios a finales del Jurásico, así como el surgimiento de: 4) los monotremas; 5) metaterios, y 6) los euterios durante el Cretácico hasta la diversificación de estos dos últimos grupos biológicos durante el Cenozoico. Estos eventos dieron lugar al surgimiento de linajes con nuevas adaptaciones hacia entornos ambientales muy particulares. Por ejemplo, al comienzo del Cenozoico, hace

66 millones de años durante el Paleógeno, la radiación evolutiva de mamíferos marsupiales y placentarios coincidió con el evento de extinción masiva de los dinosaurios y con la radiación ecológica de las plantas con flores. Este escenario, es un claro ejemplo de cómo las nuevas condiciones ecológicas y ambientales ofrecieron oportunidades para la especialización de diferentes rasgos asociados con los tipos de alimentación en varios linajes de mamíferos.

Por otra parte, los patrones de diversificación en varios grupos de mamíferos actuales se ajustan a los modelos de desplazamiento competitivo y reemplazo, en donde la creciente diversidad de un clado provocó la disminución de otro debido a procesos de **exclusión competitiva**. Por ejemplo, diferentes linajes de multituberculados —un grupo extinto de mamíferos no placentarios que existió desde el Cretácico hasta el Oligoceno— fueron convergentemente muy similares a las ardillas y a otros grupos de roedores. Para ambos grupos, el registro fósil sugiere que en Norteamérica la diversidad de roedores aumentó a medida que disminuía la diversidad de multituberculados.

Exclusión competitiva

Hipótesis que predice que dos o más especies con requerimientos ecológicos similares no podrán coexistir por mucho tiempo, debido al uso de recursos similares.

■ **Conclusión**

Definir qué es un mamífero con base en las características diagnósticas de los linajes actuales de la clase *Mammalia* es relativamente sencillo. Sin embargo, establecer un punto de corte preciso para reconocer y diferenciar a los mamíferos actuales con respecto a sus formas ancestrales es mucho más complicado. Dicha dificultad se debe a la naturaleza gradual de la evolución del grupo que ocurrió durante más de 130 millones de años a partir de los sinápsidos, además de la presencia de convergencias evolutivas y la falta de información sobre las características morfológicas en diferentes linajes intermedios extintos. Con el advenimiento de la biología molecular, aunado a los avances tecnológicos y los nuevos hallazgos en el registro fósil en diferentes regiones del mundo, se están generando nuevas hipótesis sobre el origen y la evolución de los mamíferos modernos. La amplia disponibilidad de secuencias de ADN y otros marcadores genéticos, así como la continua mejora en las técnicas de paleogenómica han permitido reconstruir con mayor precisión el árbol evolutivo de los



mamíferos, revelando las relaciones evolutivas y el origen de los mamíferos placentarios modernos. Si bien estos avances continúan enriqueciendo nuestra visión sobre cómo los mamíferos evolucionaron desde sus ancestros sinápsidos hasta la diversidad que conocemos hoy, aún quedan muchas preguntas por resolver. El entendimiento del origen y evolución de los mamíferos modernos, en una escala temporal profunda, es fundamental para conectar los procesos evolutivos con los patrones modernos de biodiversidad. Es importante mencionar además la necesidad urgente de estudiar y proteger su diversidad, por lo que comprender mejor su historia evolutiva es crucial para asegurar su conservación futura y mitigar los impactos negativos que las actividades humanas ejercen sobre ellos.

Cristian Cornejo-Latorre

Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional Autónoma de México.
crisclat@gmail.com

Luz María Sil-Berra

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
luz_sil_berra@hotmail.com

Referencias específicas

- Burgin, C. J., J. P. Colella, P. L. Kahn y N. S. Upham (2018), "How many species of mammals are there?", *Journal of Mammalogy*, 99(1):1-14.
- Futuyma, D. J. y M. Kirkpatrick (2017), *Evolution*, EUA, Sinauer Associates.
- Grossnickle, D. M., S. M. Smith y G. P. Wilson (2019), "Untangling the multiple ecological radiations of early mammals", *Trends in Ecology and Evolution*, 34(10):936-949.
- Kemp, T. S. (2005), *The Origin and Evolution of Mammals*, Nueva York, Oxford University Press.
- Luo, Z.-X. (2007), "Transformation and diversification in early mammal evolution", *Nature* 450:1011-1019.
- Smith, F. A., R. E. E. Smith, S. K. Lyons y J. L. Payne (2018), "Body size downgrading of mammals over the late Quaternary", *Science*, 360:310-313.
- Vaughan, T. A., J. M. Ryan y N. J. Czaplewski (2013), *Mammalogy*, EUA, Jones & Bartlett Learning.
- Vaughan, T. A., J. M. Ryan y N. J. Czaplewski (2013), *Mammalogy*, EUA, Jones & Bartlett Learning.

Raúl Valle Marquina, Alejandro García Flores y Ortencia Colín Bahena

La fauna silvestre mexicana, un recurso biocultural

Desde el origen de las sociedades, los diversos grupos humanos han coexistido con la fauna silvestre de su entorno, generando múltiples interacciones socioecológicas y socioculturales. Una de las interacciones más relevantes en la relación humanos-fauna es la caza y el consumo de animales silvestres, la cual deriva en diferentes manifestaciones, especialmente en aspectos de alimentación y medicinas tradicionales, prácticas culturales vigentes en diferentes partes del mundo, incluyendo México.

México es considerado uno de los países con mayor diversidad biológica, pero también cultural: en el territorio nacional se distribuye el 10 % de toda la diversidad biológica del planeta y paralelamente tiene una gran diversidad cultural, con 68 agrupaciones lingüísticas y 364 variantes. La interacción entre las comunidades originarias y campesinas con la diversidad biológica que se distribuye en sus territorios, ha permitido el desarrollo de conocimientos para llevar a cabo distintas prácticas de uso y manejo de los recursos naturales. Sus modos de vida, economía y estrategias de subsistencia están estrechamente relacionados con la riqueza biológica, al aprovechar diferentes grupos de organismos que proveen bienes para cubrir necesidades materiales e inmateriales, entre ellos la fauna silvestre.

La riqueza de la fauna mexicana

En la literatura científica existen diferentes definiciones de fauna silvestre, pero podemos conceptualizarla como aquellos animales no domésticos que viven libremente y no necesitan del cuidado del hombre, refiriéndose a vertebrados como mamíferos, aves, reptiles y anfibios. La heterogeneidad ambiental en México ha propiciado que exista una variabilidad ecosistémica donde se han desarrollado y habita una gran diversidad de fauna. A nivel mundial, el país ocupa el quinto lugar en diversidad de vertebrados silvestres, superado sólo por Brasil, Colombia, Perú e Indonesia. De forma particular, en cuanto a riqueza de mamíferos se posiciona en el segundo lugar, con 564 especies; en reptiles ocupa también el



segundo lugar, con 908; es el quinto en anfibios, con 376, y tiene el décimo primer lugar en aves, con 1 150 especies registradas. Además de esta riqueza de especies, otro aspecto importante que caracteriza a la fauna mexicana es su alto grado de endemismo. Los anfibios, los reptiles y los mamíferos son los grupos de vertebrados con mayor porcentaje de especies que únicamente se encuentran en México.

Los animales silvestres también han establecido complejas interacciones ecosistémicas con las especies vegetales, pues participan en importantes procesos ecológicos como controladores biológicos, polinizadores y dispersores de semillas. Se estima que el 87 % de las especies de plantas con flores son polinizadas por fauna silvestre, siendo mayor su influencia en regiones tropicales (94 %) y templadas (78 %). Por ejemplo, los magueyes (*Agave* spp.), uno de los grupos más característicos y diversos de plantas en México, son visitados por insectos polinizadores y también por vertebrados como aves, murciélagos, roedores y ardillas.

Otras especies de fauna silvestre, al alimentarse de frutos, transportan semillas en su tracto digestivo, donde disminuyen su espesor y dureza, y una vez expulsadas germinan y generan una nueva cobertura vegetal. En el caso de los bosques tropicales de América, se estima que entre el 51 y 98 % de las semillas de especies de árboles presentes son dispersadas por vertebrados silvestres, principalmente mamíferos y aves. Por ejemplo, en las selvas secas mexicanas diversas especies de aves ayudan a la dispersión de semillas de árboles con importancia ecológica, cultural y económica, entre los que destacan los copales (*Bursera* spp.) y los cuajotes (*Bursera* spp.); mientras que en las selvas húmedas del sureste mexicano, mamíferos herbívoros como el tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*) son considerados los “jardineros de la selva”, pues tienen un papel dinámico en la dispersión y germinación de semillas a distancias kilométricas dentro de este ecosistema.

¿Todo lo que corre, se arrastra o vuela va a la cazuela?

La fauna silvestre juega un papel preponderante en diferentes manifestaciones socioecológicas y socio-

culturales de muchos grupos étnicos y mestizos del mundo, las cuales se han desarrollado y consolidado a través del tiempo por medio de las interacciones entre los animales y los humanos. Actualmente, el uso tradicional de la fauna silvestre es una práctica habitual en macrorregiones de Asia, África y Latinoamérica. Aunque los patrones etnozoológicos son usuales y generales, tienen diferencias acordes a condiciones socioculturales. Por ejemplo, en la región asiática el comercio de fauna silvestre se realiza a gran escala, ya que muchos animales son importantes en los sistemas de alimentación tradicional y a veces son consumidos porque se cree que tienen cualidades mágicas. Mientras que en África y Latinoamérica el aprovechamiento de los animales silvestres se da generalmente por mecanismos de subsistencia y como medios de fortalecimiento económico local. Sin embargo, también existe la connotación sociocultural de aprovechamiento o cacería asociada a cuestiones culturales, sociales e incluso psicológicas, ya que la cacería proporciona a los habitantes un estatus de jerarquía e importancia, aspectos poco explorados pero indispensables en el estudio de la relación humanos-fauna silvestre. Los animales silvestres también son proveedores de bienes con valor medicinal, materias primas para ornamentos y artesanías, herramientas, instrumentos o fauna de compañía, así como elementos intangibles culturales simbólicos; es decir, como personajes o figuras importantes en costumbres y tradiciones. Sin embargo, el principal uso tradicional es el alimentario. En algunas regiones tropicales, a pesar de ser entornos cada vez más cambiantes por la globalización y el mayor acceso a alimentos industrializados, la fauna silvestre sigue siendo parte del menú de los habitantes locales. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, se estima que al menos el 20 % de la proteína animal consumida en comunidades de 62 países del trópico proviene de carne silvestre, de manera destacada la de peces y mamíferos.

México transitó de ser un país rural a uno urbano en el siglo xx. Paralelamente, los patrones de alimentación de la población en general se han homogeneizado y hoy día dependen sobre todo de la

industria alimentaria y de ramas como la pecuaria, que permite el acceso a una diversidad de productos cárnicos derivados del pollo, res o cerdo. En este escenario, para los habitantes de las urbes es difícil imaginar consumir otro tipo de fuentes de proteínas, o se incomodan cuando escuchan que en otras regiones del planeta se consumen animales silvestres. No obstante, en las zonas rurales originarias y mestizas del país el uso de fauna silvestre como alimento es una práctica tradicional con continuidad histórica, que representa una alternativa accesible y culturalmente aceptable de proteína animal, principalmente en comunidades en las que existen superficies de bosques y selvas donde habitan diversas especies.

Cuando se investiga sobre recursos alimentarios en México, es común que se hable poco de la fauna silvestre; en comparación con las plantas, hongos e insectos, en cuyo caso se tienen estimaciones sobre el

número de especies consumidas en el país. En el caso de los vertebrados silvestres mexicanos es escasa la sistematización de información nacional. En una estimación preliminar producto de investigaciones sobre la etnozootología mexicana —disciplina que se encarga del estudio de la relación entre grupos humanos y fauna—, se tiene un cálculo de alrededor de 120 especies de vertebrados silvestres, entre los que destacan venados, pecaríes, armadillos, tejones, zorrillos, conejos, liebres, iguanas, cocodrilos, tortugas, codornices, chachalacas y palomas (véase la **Figura 1**).

Sobre la diversidad faunística con uso alimentario, se ha documentado que principalmente se consumen partes musculares; vísceras como intestinos, hígados, riñones, corazones o cerebros, además de subproductos, como huevos. Estos insumos alimenticios enriquecen la gastronomía local, dando variedad a sus ingredientes y a las diversas formas

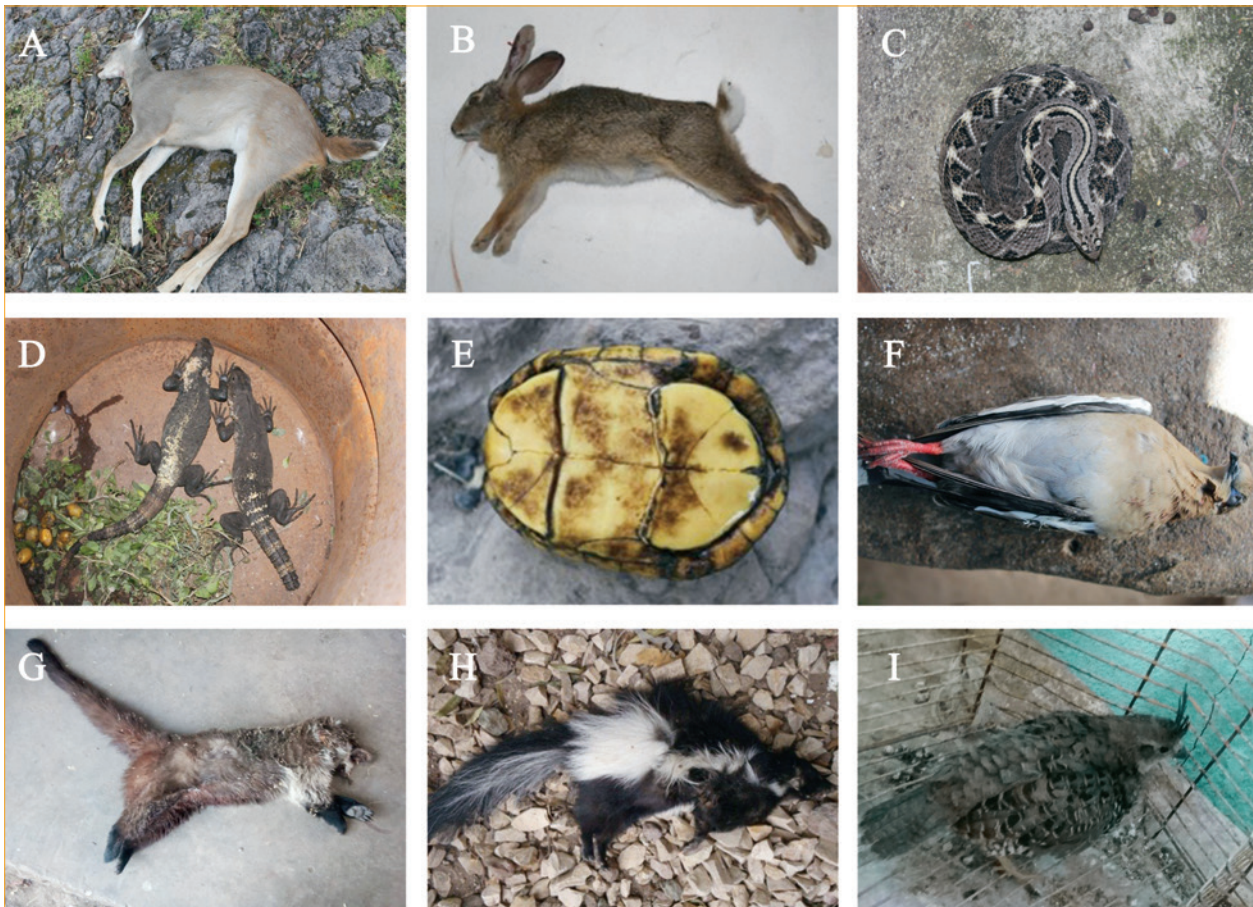


Figura 1. Ejemplos de fauna con uso alimentario en México: A) *Odocoileus virginianus*, B) *Sylvilagus* sp., C) *Crotalus culminatus*, D) *Ctenosaura pectinata*, E) *Kinosternon integrum*, F) *Zenaida* sp., G) *Nasua narica*, H) *Mephitis macroura*, I) *Philortyx fasciatus*. Fotografías de Raúl Valle Marquina.



Figura 2. Ejemplos de productos comestibles y platillos de fauna silvestre: A) carne de venado de cola blanca, B) huijota en comal, C) preparación de carne seca de venado, D) carne de iguana, E) guaxmole de venado, F) carne seca de venado con frijoles, G) codorniz en salsa verde, H) tejón en hojas de aguacate, I) conejo en salsa verde. Fotografías de Raúl Valle Marquina.

de preparación y cocción de los alimentos. Muchas especies de fauna silvestre se degustan en platillos como caldos, salsas, adobos, moles, tamales, carne frita, carne asada, carne seca, barbacoa, asadura o bistecs (véase la **Figura 2**). Estas formas tan variadas son reflejo de la importancia de la fauna silvestre en las comunidades mexicanas y como medios de resiliencia contra los cambios globales de alimentación e industrialización.

El principal insumo en la alimentación basada en la fauna silvestre es la llamada “carne de monte”, que generalmente se obtiene mediante técnicas y actividades de cacería tradicional, actividad a la que comúnmente se le define como extracción de fauna para satisfacer necesidades de autoabastecimiento, aunque ocasionalmente se pueden vender a nivel local y fortalecer el sistema económico fami-

liar. Estudios sobre la extracción de animales silvestres realizados en el sureste mexicano han registrado que el mayor porcentaje de presas cazadas se destina a la alimentación, y que las especies de talla grande y mediana son las que aportan mayor cantidad de “carne de monte”, tales como el venado de cola blanca (*Odocoileus virginianus*), el tejón (*Nasua narica*), pecarí de collar (*Pecari tajacu*), tepezcuincla (*Cuniculus paca*), sereque (*Dasyprocta punctata*), iguana (*Ctenosaura* spp.) o pavo ocelado (*Meleagris ocellata*) (Ramírez-Barajas y Calmé, 2015).

■ **El consumo de fauna silvestre más allá de la subsistencia**

■ En general, resultaría simplista considerar el aprovechamiento y consumo de fauna silvestre con fines sólo



Pecarí de collar.

de subsistencia, debido a la existencia de múltiples matices que determinan dicha ingesta. El consumo de la “carne de monte” como alimento está relacionado con numerosos procesos socioculturales, que en ciertos casos difícilmente pueden explicarse en términos tangibles. Por ejemplo, para diversos grupos rurales, el hecho de satisfacer necesidades alimenticias primarias no es la única motivación para cazar fauna silvestre, también se busca cubrir el deseo de la “carne de animales silvestres”, hecho que otorga un sentido de identidad cultural. En el contexto de la cacería tradicional mexicana, se ha documentado que entre los motivos principales de consumo de “carne de monte” se encuentra el gusto por el sabor, ya que es considerada saludable y nutritiva (Alcalá y De la Riva, 2016), así como porque tiene aparejada una serie de percepciones simbólicas, principalmente de “poder”. En el sureste del país, además del deseo por carne silvestre, la actividad de la cacería es un evento que fomenta la sociabilidad, lo que permite salir al monte, vivir experiencias de aventura, libe-

rar las presiones del trabajo y olvidar los problemas cotidianos (Ramírez y Naranjo, 2007). Asimismo, aspectos como tabúes, creencias y preferencias favorecen o desfavorecen el consumo de ciertas especies de fauna silvestre. Un ejemplo de ello se documentó entre los mayas de Naja, en Chiapas, quienes evitan la cacería y el consumo de armadillos por su olor, además de que se cree que se alimentan de serpientes venenosas y pueden transmitir el veneno a través de la carne (Guerra-Roa y cols., 2004); aspectos perceptuales que inciden directamente en la conservación de esta especie.

La ingesta de fauna silvestre también se encuentra relacionada con actividades rituales. Por ejemplo, en algunas comunidades mayas de la Península de Yucatán se realizan rituales como el *Loojil Ts'oon* (ceremonia de la carabina), con el fin de adquirir y renovar el permiso divino para la cacería, además del merecimiento de las presas por parte de los dueños de los animales. En esta práctica ritual, la carne del venado cola blanca o pecarí es un elemento en la

Enfermedad de filiación cultural

Padecimiento que afecta a la sociedad de una cultura específica. Por ejemplo, en diferentes pueblos de México, “el mal de ojo”, “el espanto”, “el empacho”.

ofrenda a las entidades protectoras de los animales que, una vez adquiridos en campo mediante su cacería, son degustados por los miembros de las comunidades (Santos-Fita y cols., 2015). La cacería ritual de venado para los huicholes es un asunto de prestigio para los hombres que la realizan y tiene un significado religioso importante, en tanto que su carne se utiliza para ofrendar en fiestas comunales (Neurath, 2008).

En los diferentes contextos culturales, el consumo de animales silvestres, además de contribuir en la nutrición de las personas —por ser una fuente de proteínas, grasas y micronutrientes—, también es parte de la medicina tradicional. De hecho, existe un

alto grado de superposición entre el uso alimentario y medicinal de la fauna silvestre, al grado de que en algunas ocasiones no se distingue uno de otro. En la medicina tradicional mexicana se registran hasta 163 especies animales para tratar en mayor medida enfermedades inflamatorias, respiratorias y gastrointestinales. En esta práctica cultural, la carne es la principal parte utilizada y la forma recurrente de dar los tratamientos es por medio de sopas o guisos, tanto para enfermedades de origen fisiológico como en el caso de aquellas que son de **filiación cultural**.

La cacería colectiva conocida como “batida” o “arreada” es una modalidad practicada por hombres organizados en grupos de 15 a 20 integrantes, los cuales se dividen en arreadores y tiradores. Los primeros tienen la función de movilizar a las presas haciendo ruido y con apoyo de perros, hacia la posición donde se encuentran los tiradores, quienes con armas de fuego dan muerte a las presas. Esta práctica es utilizada para la captura del venado de cola blanca, lo que permite la construcción de espacios para la socialización, esparcimiento, convivencia y cohesión comunitaria entre campesinos. Asimismo, en las expresiones de solidaridad practicadas en la lógica de reciprocidad campesina, el alimento es uno de los bienes que se comparte con mayor frecuencia para promover la socialización entre pobladores. Por ejemplo, en comunidades campesinas de la Sierra de Huautla en Morelos, el intercambio u obsequio de productos de fauna silvestre, como la carne, se concibe como un acto que fortalece los lazos sociales (Velarde y Cruz, 2015).

¿Paradoja de la conservación?

Aun con marcos legales restrictivos y medidas de conservación y manejo en cuanto al uso de la fauna silvestre, el consumo de su carne es una práctica cultural que forma parte de la realidad sociocultural en diferentes países, incluido México. El consumo de animales silvestres en comunidades rurales puede ser estigmatizado, generalmente por razones éticas fundadas en la empatía actual hacia la fauna silvestre, la cual ha sido impulsada por los modelos actuales de educación. Por otro lado, y dado que es una realidad,



Pavo ocelado.

la ingesta de carne de monte en muchas regiones del México rural parece representar una paradoja en el buen manejo y conservación de la biodiversidad, no sólo de la fauna silvestre, debido a las altas tasas de extracción, pues tales actividades representan una seria amenaza para las poblaciones de animales silvestres. Sin embargo, a la vez tienen importancia sociocultural y económica para esas comunidades. Por lo tanto, la participación local e integrativa de las comunidades, sus capacidades de organización y la orientación de los especialistas son elementos clave para el desarrollo de estrategias sostenibles de aprovechamiento de estos recursos, lo que a su vez puede fomentar el desarrollo de investigaciones para comprender los múltiples factores presentes en la compleja relación hombre-fauna silvestre.

Raúl Valle Marquina

Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
rvallemarquina@hotmail.es

Alejandro García Flores

Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
alejandro.garcia@uaem.mx

Ortencia Colín Bahena

Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
ortencia.colin@uaem.mx

Referencias específicas

- Alcalá, S. y G. de la Riva (2016), "Uso tradicional de fauna silvestre en las serranías del occidente del estado de Aguascalientes, México", *Etnobiología*, 14(2): 20-36.
- Guerra-Roa, M., E. Naranjo-Piñera, F. Limón y R. Mariaca-Méndez (2004), "Factores que intervienen en la regulación local de la cacería de subsistencia en dos comunidades de la Selva Lacandona, Chiapas, México", *Etnobiología*, 4:1-18.
- Neurath, J. (2008), "Cacería ritual y sacrificios huicholes: entre depredación y alianza, intercambio e identificación", *Journal de la Société des Américanistes*, 94(1):251-283.
- Ramírez, J. y E. Naranjo (2007), "La cacería de subsistencia en una comunidad de la zona maya, Quintana Roo, México", *Etnobiología*, 5:65-85.
- Ramírez-Barajas, J. y S. Calmé (2015), "Subsistence Hunting and Conservation", en G. Islebe, S. Calmé, J. Leon y B. Schmook (eds.), *Biodiversity and Conservation of the Yucatán Peninsula*, Nueva York, Springer International Publishing.
- Santos-Fita, D., E. Naranjo, E. Estrada, R. Mariaca y E. Bello (2015), "Symbolism and ritual practices related to hunting in Maya communities from central Quintana Roo, Mexico", *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 11:71-83.
- Velarde, S. y A. Cruz (2015), "La fauna silvestre y su relación con el bienestar de tres comunidades de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos", *Etnobiología*, 13:39-52.

Geodiversidad y biodiversidad en un Área Natural Protegida del Golfo de California

Este trabajo pone en valor el desarrollo de estudios geológicos dentro de las investigaciones de ciencia básica realizadas en las Áreas Naturales Protegidas, para conocer más acerca de la naturaleza en la superficie terrestre por medio de las interacciones en el tiempo entre la geosfera y la biosfera.

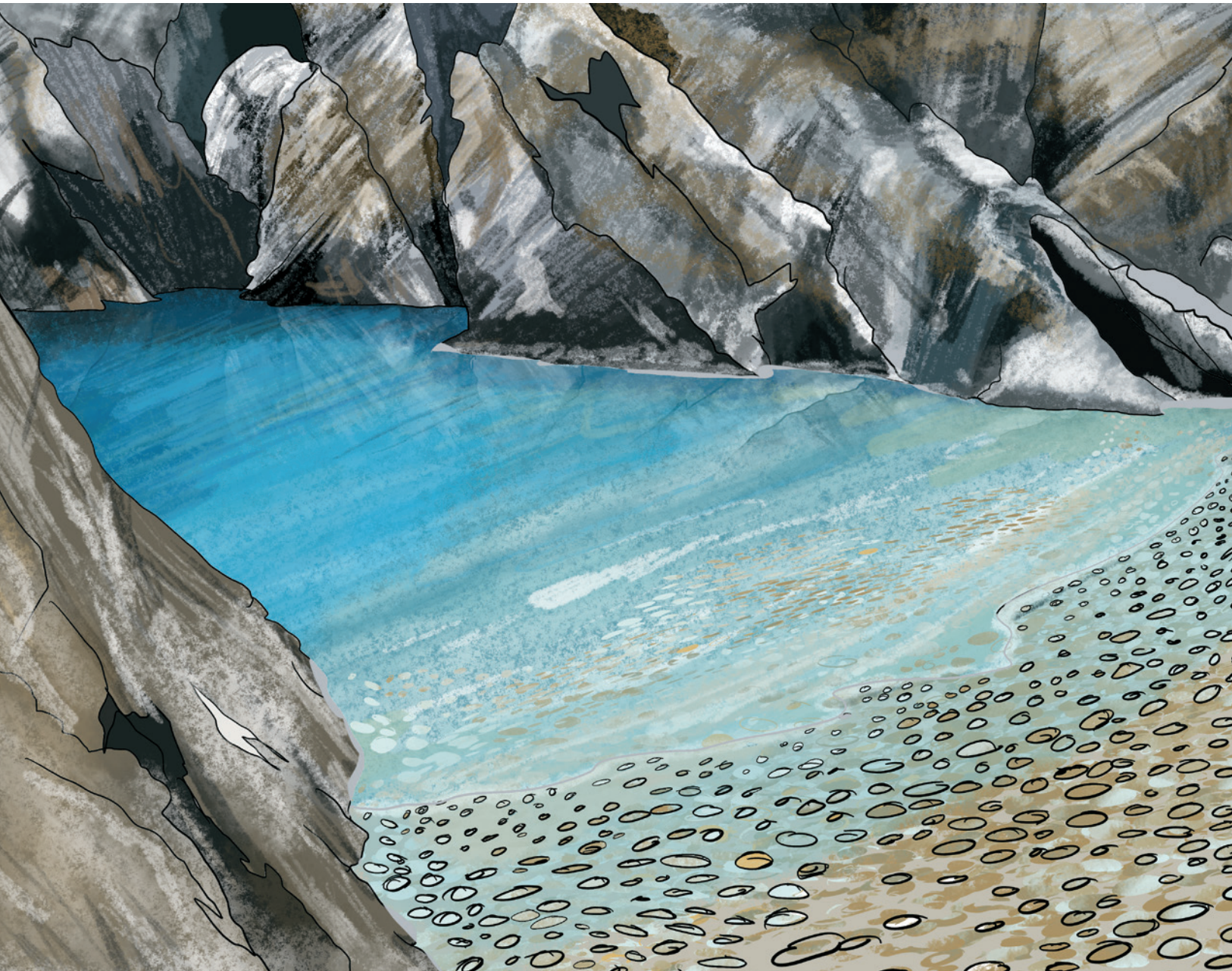
Siempre hemos sido admiradores de la naturaleza terrestre, por todos apreciada a la escala de sus paisajes, en especial ahí donde reina la vida. Es en estos escenarios donde indudablemente estamos de acuerdo en que es fundamental asegurar su preservación. Más aún ahora que el avance científico enfocado en el estudio integral de los organismos ha puesto en evidencia la importancia de su biodiversidad y su fragilidad ante nuestras actividades desarrolladas intensamente. En México, este principio ha sido objeto de un decreto gubernamental por medio del establecimiento de Áreas Naturales Protegidas (ANP), de acuerdo con el artículo 44 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). Las ANP del territorio nacional incluyen zonas con ambientes originales que no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano, o cuyos ecosistemas y funciones integrales requieren ser preservados y restaurados. Estas condiciones permiten que las ANP sean un laboratorio natural para el desarrollo de innumerables estudios científicos que aportan soluciones eficientes ante el impacto ambiental. Sin embargo, fuera del estado actual del conocimiento científico desarrollado sobre los seres vivos en las ANP, la investigación sobre las condiciones no biológicas es poca o nula. A tal grado que si bien conocemos de todas las especies presentes su abundancia, conectividad y función en los procesos ecológicos y evolutivos, desconocemos en qué tipo de sustrato rocoso ocurren, y podemos llegar a suponer que es similar en todas partes. Asimismo, a menudo ignoramos las relaciones que dicho sustrato tiene con la vida de esos lugares, restando importancia a su investigación y olvidando que las condiciones ambientales no

biológicas (en especial las rocas) sustentan la vida de los organismos.

Nuestro planeta es por excelencia el ente de mayor dimensión con el que todos tenemos contacto, inclusive ha sido planteado como un organismo (*Gaia: diosa primigenia que personifica la Tierra en la mitología griega*), donde la coexistencia de su esfera de piedra, de agua y de aire da cabida a la de vida, así como a nuestra existencia. Por lógica, debería ser un área natural a proteger, y el reto radica en lograr un consenso al respecto entre los pobladores.

La esfera de vida en la región del Golfo de California (véase la **Figura 1**) es una de las más ricas del planeta, ya que en sus más de 250 000 km² ocurre una extraordinaria diversidad biológica. Esta biodiversi-

dad incluye más de 400 especies de plantas (**Figura 2**) y más de 6 000 especies de animales, de las cuales 4 900 son de invertebrados y 857 especies son de peces endémicos (Brusca, 2010). En este mar, también conocido como Mar de Cortés (véase la **Figura 1**), convergen corrientes del océano Pacífico y los ríos Colorado, Sonoyta, Concepción, Sonora, Yaqui, Mayo, Fuerte, Sinaloa, Culiacán y San Lorenzo. El Golfo de California hoy presenta un tirante de agua que llega a los 3 000 metros en el sur y disminuye progresivamente hacia el norte, hasta ser inexistente al norte en el Alto Golfo. Todas estas características de la bio e hidrosfera en el Golfo de California ocurren en la peculiar porción de la esfera rocosa que cimienta al noroeste de México (véase la **Figura 1**).



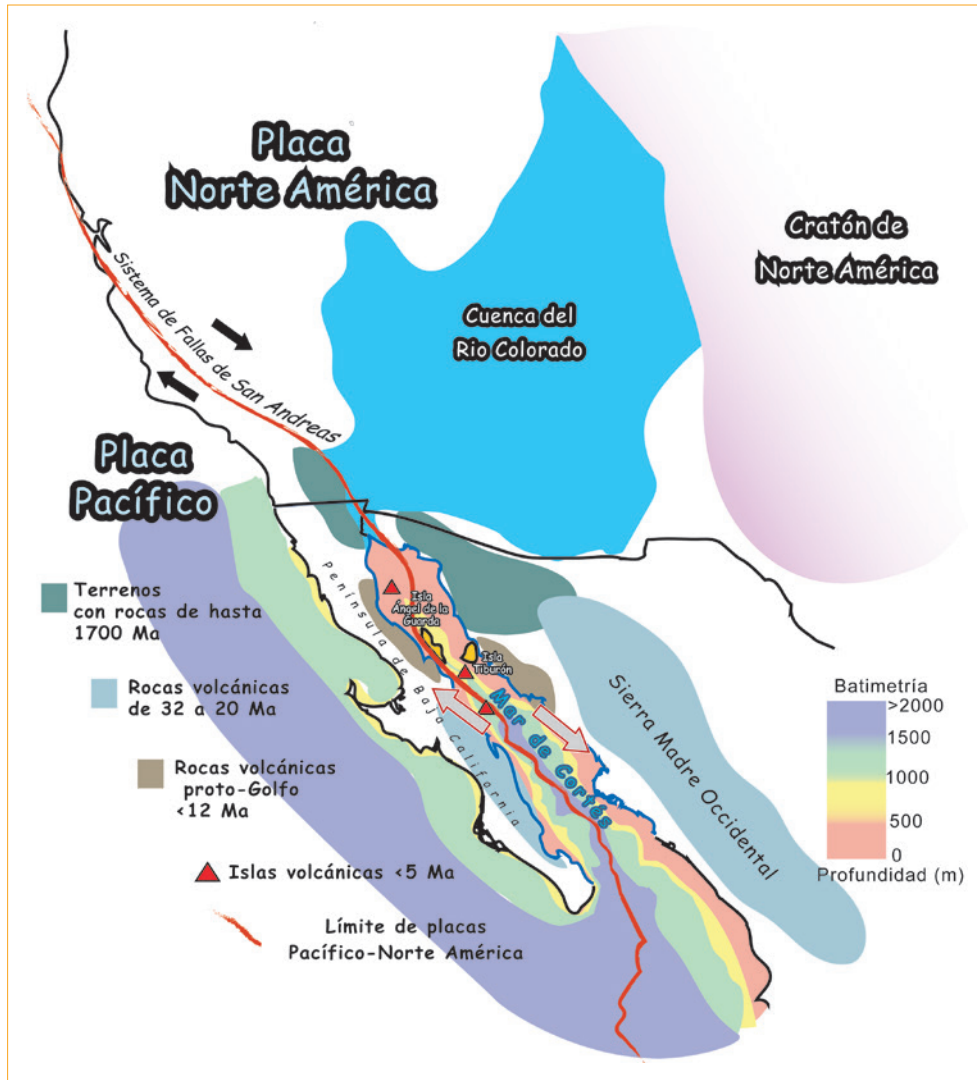


Figura 1. Mapa conceptual de la geodiversidad y la batimetría general en el Golfo de California. Se muestran las provincias con las rocas que conformaron al continente antes de su ruptura.

■ **Geodiversidad**

■ Cuando hablamos de “geodiversidad” el noreste de México y su Golfo de California son un buen ejemplo. Empezando con el origen de esta fascinante región que da cabida al Mar de Cortés, y que se debe al desarrollo de una ruptura del continente americano ocurrida hace 12 millones de años (Ma), durante un periodo de intenso magmatismo y fallamiento llamado Proto-Golfo de California, cuyos vestigios ocurren hoy en los márgenes este y oeste del golfo (**Figuras 1 y 2**). Entre los 6 y los 5 Ma, la evolución de ese sistema, conocido como *Rift*, construyó un nuevo límite de placas (véase la **Figura 1**), formando la península

de Baja California y separándola del resto de México a una velocidad de una decena de centímetros por año. Es así como el límite entre las placas Pacífico y Norteamericana (Pac-Nam) provocó un desgarre continental, permitiendo contar con la disponibilidad de una alta gama de vestigios rocosos (**Figuras 3, 4 y 5**). Es en ellos donde se atestigua la historia del fragmento de la esfera de roca que conformaba al continente, por medio del registro, desde hace 1 800 Ma, de distintos eventos que lo construyeron. En los ambientes para la formación de sus rocas no sólo se han encontrado los de la superficie terrestre, sino también los del subsuelo de hasta 10 km de profun-



Figura 2. Ejemplo de la diversidad de la flora en la Isla San Pedro Nolasco.

dad (**Figura 4**). Y todas estas piezas rocosas son la fuente de los sedimentos continentales que los ríos y corrientes transitorias han transportado a las cuencas del Golfo, acumulando más de 5 000 metros de sedimentos marinos desde los ~6 Ma. No obstante, lo amplio y variado de los rasgos geológicos del continente —es decir, la riqueza de su geodiversidad—, este principio es más evidente con las más de 900 islas del Golfo de California (**Figura 5**), que aunque

han sido decretadas como un área natural protegida desde 1978, se sabe muy poco de la historia que cuentan sus rocas (Case *et al.*, 2002).

A pesar de los pocos estudios existentes, es sorprendente el conocimiento de la formación de algunas islas. Por ejemplo, las rocas de la Isla San Pedro Nolasco, derivadas del enfriamiento de magmas a profundidad ocurrido hace 9 Ma, guardan relación con el Proto-Golfo de California (**Figuras 5 y 6**). De



Figura 3. Vista de la costa de Sonora desde la Isla el Venado. Se observan las rocas volcánicas en el margen oriental del Golfo de California, dentro de la Sierra el Aguaje, San Carlos, Nuevo Guaymas. Nótese la pequeña y variada vegetación en el suelo de la isla.



Figura 4. Isla el Venado en la costa de Sonora. Un origen continental bajo un ambiente de formación rocosa profundo a los 89 Ma. Se puede apreciar una cobertura vegetal desértica y variada en la parte superior de la isla.



Figura 5. Isla San Pedro Nolasco. Una sierra insular en el Golfo de California conformada por rocas formadas en el interior de la Tierra a los 9 Ma, durante el Proto-Golfo de California. Destaca una coloración más oscura en la parte media superior de la isla, ocasionada por la cobertura vegetal con una diversidad de flora que puede observarse en la figura 2.



Figura 6. Iguana de cola espinosa, endémica de la Isla San Pedro Nolasco en el Mar de Cortés (*Ctenosaura nolasensis*), sobre las rocas intrusivas de 9 Ma que sólo han sido reportadas en esa isla.

manera general, se sabe que estas áreas emergidas en el Mar de Cortés responden a dos tipos de origen: por un lado, el continental, que representa a las dos islas más grandes de México (Isla Tiburón e Isla Ángel de la Guarda), cuyo basamento cuenta con un registro

de cientos de millones de años y contiene rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, por lo que estos bloques corticales, aislados por las fallas transformantes del límite de placas, pueden considerarse como microcontinentes (véase la **Figura 1**); por otro lado,



Figura 7. Los autores (J. R. Vidal a la izquierda y L. A. Velderrain a la derecha) durante las investigaciones en el Golfo de California. Se aprecia la Isla San Pedro Nolasco en el horizonte de fondo.

un origen volcánico más joven, ligado con los centros de expansión del nuevo límite de placas, como la Isla San Luis (4 725 años antes del presente), la Isla Tortuga (1.7 Ma), o la Isla San Esteban (4.5-2.5 Ma) (Figura 1).

Finalmente, aunque invisible a nuestros ojos, una importante interacción y reacción directa con la porción de hidrosfera confinada en esta región, la provoca el volcanismo submarino presente de forma intermitentemente en el piso del Golfo. Es así como el escenario rebotante de vida que hoy conocemos como Golfo de California deriva del desarrollo del margen de placas Pac-Nam en el noroeste de México (Figura 1). Este desarrollo, que surgió del desgarre de un continente, está en una fase intermedia, y en el futuro probablemente el actual Golfo de California se convierta en una parte del océano Pacífico o en otro océano, mientras que la península de Baja California y la parte occidental de California se podrían convertir en un pequeño continente conformado por la gran “Isla de California”. ¿Será fortuito

lo vasto de la geodiversidad en el biodiverso Golfo de California?

Jesús Roberto Vidal Solano

Departamento de Geología, Universidad de Sonora.
roberto.vidal@unison.mx

Luis Alonso Velderrain Rojas

Departamento de Geología, Universidad de Sonora; Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora.
luis.velderrain@unison.mx

Referencias específicas

- Brusca, R. C. (ed.) (2010), *The Gulf of California: Biodiversity and Conservation*, Arizona, University of Arizona Press.
- Case, T. J., M. L. Cody y E. Ezcurra (eds.) (2002), *A New Island Biogeography of the Sea of Cortés*, Oxford, Oxford University Press.

Jessica Bravo-Cadena y Numa Pavón Hernández



La importancia de los servicios ecosistémicos

Los beneficios que los seres humanos obtenemos de los ecosistemas son denominados servicios ecosistémicos y actualmente vivimos una problemática ambiental global que genera la pérdida de estos beneficios. Es de gran importancia identificarlos, conocer su clasificación actual, su estado y tendencias de cambio, los factores que generan estos cambios y más aún saber qué hacer para conservarlos.

Para sobrevivir, los seres humanos necesitamos de los bienes y servicios que nos proporciona la naturaleza. ¿Alguna vez te has preguntado cuáles son esos bienes y servicios que recibimos de los ecosistemas?, ¿por qué es importante la conservación de la naturaleza? La respuesta a estas preguntas podría ser simple si se contesta tajantemente diciendo que de ello depende nuestra propia existencia; sin embargo, tenemos múltiples respuestas, los humanos somos tan diversos que nuestras percepciones cambian de acuerdo con nuestra cultura, lugar en donde vives, edad, género, calidad de vida, sistema de alimentación, educación, entre otros aspectos.

Por ejemplo, la percepción puede ser diferente entre quienes viven en zonas rurales de la que tienen los que viven en zonas urbanas. En las comunidades rurales la vinculación con los ecosistemas se define con mayor claridad, porque la distancia con respecto a los ecosistemas naturales es más corta. Las personas visitan los ecosistemas naturales, como los bosques, y recolectan alimentos, plantas medicinales, tierra, etc.; asimismo, conocen la ubicación de los manantiales, reconocen por nombre a las plantas y animales, entre otras cosas. Mientras que de las zonas urbanas los ecosistemas están frecuentemente alejados, por lo que las personas pueden considerarse desvinculadas de la naturaleza. Con todo y que muchos productos silvestres llegan a las ciudades para su venta, pocas veces la población tiene conocimiento sobre su procedencia. Este fenómeno incluso ocurre con migrantes que llegan a las ciudades desde las zonas rurales, donde con el tiempo se van perdiendo sus costumbres, se transculturalizan.

A todos los bienes y servicios que obtenemos de la naturaleza se les ha denominado “servicios ecosistémicos” (SE). Ecosistemas hay de muy diversos tipos,



desde los terrestres (que incluyen selvas y desiertos) hasta los acuáticos (de agua dulce o marinos), y los humanos podemos beneficiarnos de la existencia de todos ellos, a escala local y global. Algunos servicios ecosistémicos son muy fáciles de identificar, como los beneficios materiales o tangibles que obtenemos directamente de los ecosistemas, como la madera, las plantas medicinales, la tierra, entre otros; pero hay beneficios intangibles y de regulación que la población pocas veces identifica, tales como la captura del carbono, la regulación del clima, la filtración del agua, entre otros.

Los ecosistemas son tan importantes que se formó un panel de científicos dedicados a su estudio desde la perspectiva de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos. Este panel se conoce como IPBES, que significa “Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas”. La IPBES generó en 2019 un informe a nivel mundial donde propuso una nueva agrupación de los servicios ecosistémicos, su situación y su futuro. Esta reflexión que lees considera algunos aspectos incluidos en ese reporte.

Los servicios ecosistémicos tangibles, que percibimos directamente, son aquellos que podemos usar y que tomamos directamente de los ecosistemas; por ejemplo, la obtención de alimentos y agua para consumo humano o para nuestro ganado, el uso de energía obtenida directamente del ambiente o combustibles que se convierten posteriormente en energía. También se incluyen en esta categoría los materiales y recursos de asistencia, como son: plantas, animales, minerales, materiales de construcción o fibras, medicamentos, recursos bioquímicos y genéticos. Estos servicios, como ya se mencionó, son fácilmente identificados por la mayoría de los seres humanos, ya que los usamos diariamente y percibimos que provienen de los ecosistemas (véase la **Figura 1**).

Los servicios ecosistémicos que a menudo no se perciben directamente, porque son intangibles, son aquellos de regulación de procesos ambientales y los no materiales. En la categoría de regulación de procesos ambientales se encuentran: la creación y mantenimiento de hábitats de todas las especies de las que dependemos, la polinización, la dispersión de semillas,

la regulación de la calidad del aire, del clima, de la acidificación de los océanos, de la regulación de la cantidad, ubicación y distribución temporal del agua dulce y costera, la formación, protección y descontaminación de suelos y sedimentos, la regulación de riesgos y fenómenos extremos y la regulación de organismos y procesos biológicos perjudiciales (**Figura 1**). Estas categorías de servicios ecosistémicos son mucho más difíciles de valorar, pero, ¿te imaginabas que la ubicación y calidad de agua, del suelo y tu salud dependen de los servicios de regulación de procesos ambientales?

Entre algunos de los servicios ecosistémicos no materiales se encuentran, por ejemplo, el desarrollo de aprendizajes que se llevan a cabo en espacios naturales, o la inspiración que se genera al estar en contacto con la naturaleza. Actividades como el turismo de naturaleza, las experiencias físicas y psicológicas también están dentro de esta categoría, así como el ocio, la relajación y la recreación en contacto cercano con la naturaleza. Dentro de los servicios ecosistémicos no materiales, encontramos aspectos relacionados con la formación cultural y en esta categoría también está el servicio denominado apoyo a entidades, que agrupa la cultura, la cohesión social y el sentido de pertenencia, que pueden incluir experiencias religiosas o espirituales (**Figura 1**).

Finalmente, pero no menos importantes, se encuentran los servicios ecosistémicos de mantenimiento de opciones, los que incluyen la capacidad de los ecosistemas, hábitats, especies o genotipos para conservar las opciones que tenemos los seres humanos, para que en un futuro podamos mantener una buena calidad de vida.

Ahora que conoces la clasificación de los servicios ecosistémicos (materiales y de asistencia, de regulación de procesos ambientales y no materiales) reflexiona sobre la pregunta: ¿cuántos servicios ecosistémicos utilizas? La respuesta debería ser más clara. Como seres humanos dependemos totalmente de los ecosistemas, ya sea de manera directa o indirecta; de hecho, sin ellos no podríamos sobrevivir, así que la dependencia que tenemos hacia los servicios ecosistémicos debe ser conocida y resaltada.

La problemática ambiental global nos afecta directamente a todos y pone en riesgo a los ecosistemas,



Figura 1. Clasificación y tendencias de reducción de los servicios ecosistémicos. Las tendencias se analizaron usando datos del periodo 1970-2019. Las flechas rojas representan mayor tendencia al deterioro; el color naranja representa reducción, pero menos drástica, y el verde la estabilidad en el tiempo del servicio evaluado. (Elaboración propia con datos de IPBES, 2019.)

lo que podría generar la pérdida de los servicios ecosistémicos a largo plazo. Las actividades que los humanos hemos realizado a lo largo de siglos se han acelerado en los últimos 50 años. Algunos ecosistemas son más vulnerables que otros, pero todos están en riesgo por la deforestación, el cambio climático y la contaminación del agua, suelo y tierra. Actualmente, vivimos un cambio ambiental global que se

ha acelerado en los últimos años con las actividades antropogénicas, producto de diferentes impulsores directos o indirectos. Por ejemplo, con nuestro acelerado incremento de la población humana, se ha producido un aumento en la demanda de servicios ecosistémicos materiales y de asistencia. Además, se requieren más espacios para el desarrollo de asentamientos humanos —ya sea en zonas rurales o, con

Propágulos

Parte de una planta capaz de originar a un nuevo individuo.

mayor demanda, en zonas urbanas— y los bosques se están transformando en zonas agrícolas y ganaderas. Por otro lado, la biodiversidad se está explotando de manera insostenible. Las listas de especies en peligro de extinción son mucho más grandes de lo deseado, tanto en los ecosistemas terrestres como en los acuáticos. Sólo las diferentes actividades humanas son impulsoras directas de más del 50 % de los impactos negativos sobre la Tierra.

La contaminación en sus diferentes categorías y el cambio climático modifican patrones de consumo, disponibilidad y distribución de los servicios ecosistémicos, además de que aumentan los riesgos ambientales por fenómenos meteorológicos extremos, tales como sequías, heladas y lluvias torrenciales. También tenemos que destacar la acelerada pérdida de biodiversidad generada por la presencia de especies exóticas invasoras.

Es importante mencionar que los impulsores directos descritos que deterioran a la naturaleza están asociados a los llamados impulsores indirectos; por ejemplo, la deforestación y la sobreexplotación de la biodiversidad se relacionan indirectamente con nuestros patrones de consumo, las características de la población, las condiciones económicas globales y con las estrategias de mercado.

Otro aspecto fundamental por considerar son las instituciones de gobierno y las iniciativas que éstas establecen (gobernanza) en los diferentes niveles de organización social; es decir, la política pública y la toma de decisiones. Este aspecto afecta indirectamente al nexo naturaleza-sociedad. Aunado a esto se dan los conflictos sociales, la inestabilidad social y la desigualdad, que frecuentemente se relacionan con el uso y distribución de los recursos naturales y los servicios ecosistémicos.

Una vez que conocemos la clasificación de los servicios ecosistémicos y sus crecientes impulsores directos e indirectos de cambio, las siguientes preguntas que te compartimos para tu reflexión son: ¿cuál es el futuro de los servicios ecosistémicos?, ¿cómo podemos conservar los ecosistemas y mantener los servicios ecosistémicos?

En la evaluación de la IPBES del 2019, se comparó la tendencia de reducción en 17 de los 18 servicios

ecosistémicos evaluados en los últimos 50 años. Por desgracia, el escenario es desalentador. La reducción futura ha sido bien establecida en la disponibilidad de alimentos y de agua para consumo humano o para ganado, la creación y mantenimiento de hábitats de todas las especies de las que dependemos, la polinización y dispersión de semillas y otros **propágulos**, la regulación de organismos y procesos biológicos perjudiciales y el mantenimiento de opciones (**Figura 1**). Anualmente, se lleva a cabo una actualización de esta evaluación. Si pensamos en lo que esta



reducción traerá como consecuencia al bienestar humano, seguramente haremos todos un llamado de atención urgente para realizar acciones inmediatas dirigidas a conservar y restaurar los ecosistemas, y con ello asegurar los servicios ecosistémicos para las futuras generaciones.

Para responder la pregunta sobre qué podemos hacer para mantener y restaurar los servicios ecosistémicos, te invitamos a considerar dos preguntas más que ayudarán a tu reflexión: ¿en cuáles impulsores directos o indirectos tienes incidencia?; y, ¿en qué escala espacial, temporal o social puedes actuar? A partir de tus respuestas te será posible generar un plan de acción. Este plan debe considerar estrategias y actividades para reducir las presiones que generan los impulsores de cambio sobre la naturaleza y promover la restauración de los ecosistemas.

Actualmente, existen políticas públicas a nivel mundial, como las Metas de Aichi y los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, que a su vez impulsan acciones a nivel nacional y local. Por ejemplo, en México tenemos la Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México (ENBioMex) y el Plan de Acción 2016-2030 (Conabio, 2016), que pueden servirnos como guía para promover la conservación, la restauración y un manejo integral sustentable de los ecosistemas. Estos instrumentos se desarrollaron con base en el conocimiento de la biodiversidad y para la promoción de una conciencia ambiental. A su vez, el siguiente orden de gobierno, los estados, también están desarrollando sus propias estrategias de biodiversidad y planes de acción estatales, y en algunos casos también se han desarrollado programas municipales con un enfoque de desarrollo sustentable. ¿Conoces qué puedes hacer en tu hogar, tu localidad, tu ejido o tu municipio? Sin lugar a duda, consultar los documentos que te mencionamos te dará una mayor claridad para diseñar tu plan de acción.

Los seres humanos recibimos los beneficios de los ecosistemas y hemos podido modificarlos, tanto en el ámbito local de nuestro entorno como en la escala global o planetaria. Por lo tanto, tenemos la responsabilidad de realizar acciones de manejo integral que procuren su sostenibilidad a largo plazo. El manejo integral debe considerar que los servicios ecosistémicos son parte de un sistema complejo cuyo centro medular es el nexo naturaleza-sociedad. Aún nos falta mucho por entender sobre la naturaleza y nuestro papel como sociedad en el equilibrio ecológico; sin embargo, es importante seguir promoviendo la conservación de los ecosistemas para lograr el bienestar humano a largo plazo.

Dra. Jessica Bravo-Cadena

Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y Tecnm-Oriente del Estado de Hidalgo.
jessica_bravo@uaeh.edu.mx

Dr. Numa Pavón Hernández

Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
npavon@uaeh.edu.mx

Lecturas recomendadas

IPBES (2019), *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*, Alemania, IPBES Secretariat. Disponible en: <<https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>>, consultado el 17 de agosto de 2024.

Conabio (2016), *Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México y plan de acción 2016-2030*, México, Conabio. Disponible en: <<https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/12890.pdf>>, consultado el 17 de agosto de 2024.

Luis David Maldonado Bonilla

Los ribosomas y la clasificación de los seres vivos

El conocimiento de la diversidad biológica en nuestro planeta crece a diario. Los científicos en la actualidad interpretan la información genética en forma de ácido desoxirribonucleico para clasificar a los seres vivos y obtener datos de su historia evolutiva. Aquí te explicamos cómo la información genética que conforma a los ribosomas nos ayuda a clasificar seres vivos, sobre todo a las bacterias.

Introducción

La cantidad de especies en el planeta es tan grande e indescifrable que su número está aún en debate. Se estima que hay cerca de 9 millones de especies distintas (Conabio, 2020), sin contar las bacterias, cuyo número pudiera alcanzar un billón de especies (Locey y Lennon, 2016). Además del número, es abundante la diversidad de formas, tamaños y colores. Desde las más diminutas bacterias hasta ballenas colosales, desde gusanos transparentes hasta aves multicolores, desde escurridizos colibríes hasta el inmóvil pero imponente árbol del tule.

La gran diversidad biológica también se muestra en el hábitat, ya que tenemos seres vivos tanto en las profundidades del océano como en la montaña más alta, en el cálido trópico y en el gélido Polo Norte. Si consideramos también las diferentes fuentes de alimento y energía que tienen los seres vivos, la forma en que respiran o en que se reproducen, eso incrementa aún más la diversidad de especies.

Toda esta diversidad biológica empezó con LUCA (*last universal common ancestor*) o el “último ancestro común universal” (Rojas-Ortega y cols., 2020). LUCA habitó la Tierra hace más de 3 000 millones de años y a partir de él se derivaron otros organismos que a su vez fueron los ancestros de los animales, plantas y demás organismos del planeta “moderno”. Esta gran diversidad es producto de cambios ocurridos en millones de años, pero existen denominadores comunes: todos los seres vivos tienen información genética en forma de ácido desoxirribonucleico (ADN), todos tienen proteínas y ribosomas. El ADN está formado por nucleótidos, que son como los eslabones que se ensamblan entre sí para formar una cadena (que, de hecho, son dos). Los cuatro nucleótidos que forman el ADN son

distinguibles químicamente y los nombramos de manera abreviada A (adenina), G (guanina), T (timina) y C (citosina). A partir del ADN se producen mensajes de ácido ribonucleico (ARN), que es muy parecido al ADN, y que también tiene cuatro nucleótidos, pero uno es distinto. Los nucleótidos del ARN son A (adenina), G (guanina), U (uracilo) y C (citosina). Los mensajes de ARN se utilizan para producir las proteínas, que son las moléculas más versátiles de los seres vivos. Ellas realizan funciones de movimiento, transporte, digestión, soporte, inmunidad, etc. La versatilidad recae en su composición hecha de aminoácidos. Hay 20 aminoácidos distintos que se unen entre sí para formar a las proteínas, las cuales pueden tener unos cuantos aminoácidos o miles. Los ribosomas son las máquinas que tienen todos los

seres vivos para producir sus proteínas y se componen en su mayoría por ARN.

Ribosomas

Los mensajes de ARN que se forman a partir del ADN son leídos por los ribosomas, los cuales son estructuras moleculares muy grandes que se constituyen principalmente de ARN y que se distribuyen dentro de las células. Ellos pueden interpretar combinaciones de A, G, U y C como si fueran palabras, y a partir de esa lectura incorporan un aminoácido en particular para sintetizar la proteína. La lectura de los ribosomas para producir proteínas se conoce como traducción, que es un término muy ilustrativo, porque es de hecho un cambio de lenguaje: del



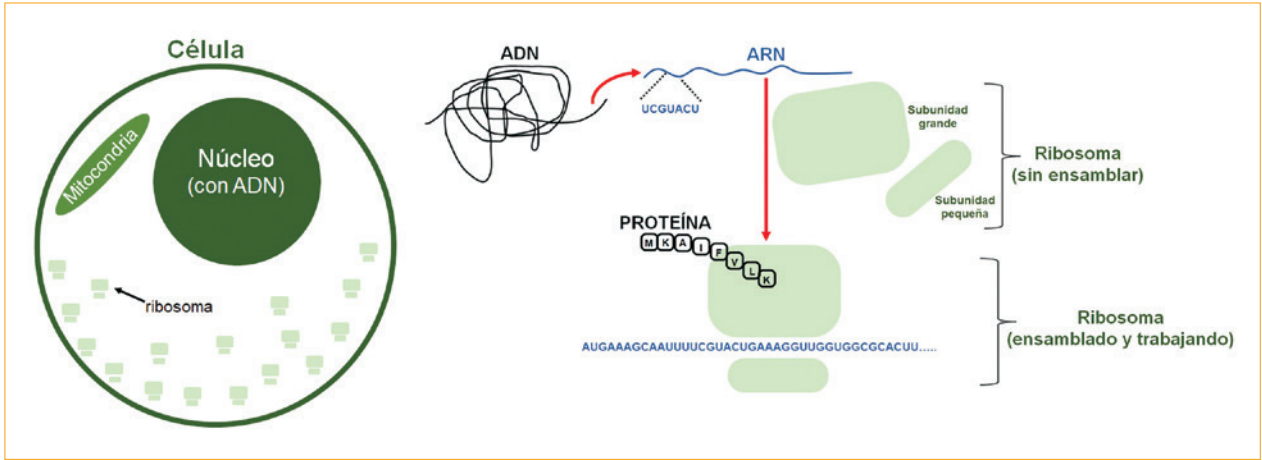


Figura 1. Los ribosomas sintetizan las proteínas. A la izquierda se muestra un esquema de la célula con sus ribosomas esparcidos dentro de ella. A la derecha vemos el proceso de traducción. Cada letra en un recuadro representa uno de los aminoácidos que forman a la proteína. Observa que el ribosoma sólo se ensambla cuando está sintetizando la proteína.

lenguaje de los nucleótidos al lenguaje de los aminoácidos. La **Figura 1** explica el proceso de síntesis de proteínas.

Los ribosomas también están hechos de ARN y proteínas. Los ARN que forman a los ribosomas se llaman ARN ribosomales (ARNr). En este artículo nos centraremos en ellos. Ahora bien, las bacterias –que son organismos unicelulares de 1 µm de longitud promedio– tienen ribosomas formados por dos subunidades, una grande y una pequeña (véase la **Figura 1**). La subunidad grande tiene dos ARNr distintos y la subunidad pequeña sólo un ARNr, que conocemos como 16S. En el caso de organismos eucariontes (animales, plantas, hongos), la subunidad grande tiene 3 ARNr distintos y la subunidad

pequeña un solo ARNr, que conocemos como 18S. Aunque el ARN es una cadena de nucleótidos enlazados uno tras otro, no quiere decir que los ARNr sean lineales, ya que se pliegan en sí mismos de forma similar al cable enredado del cargador de tu teléfono celular. Este plegamiento es necesario para darle forma al ribosoma funcional. En la **Figura 2** ilustramos el ribosoma de la mosca de la fruta y separamos sus constituyentes de ARNr.

■ **Variación del ARNr en los organismos**

■ Algunos nucleótidos del ARNr no pueden cambiar, porque si cambian, se modifica la estructura del ARNr, arriesgando la forma general del ribosoma y

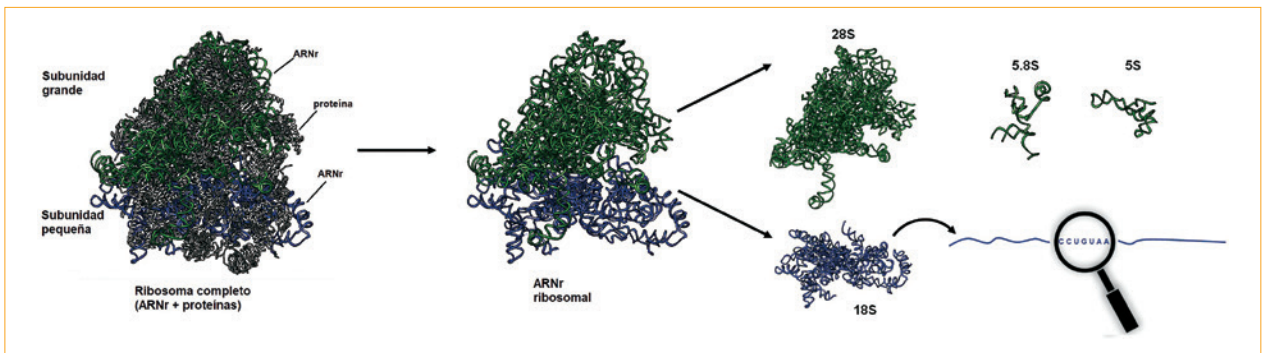


Figura 2. Estructura del ribosoma de la mosca de la fruta. De izquierda a derecha iremos descomponiendo el ribosoma en sus diferentes constituyentes. La subunidad grande tiene tres ARNr llamados 5S, 5.8S y 28S. La subunidad pequeña sólo tiene uno, llamado 18S, y al desenredarlo podemos ver sus nucleótidos dentro de la lupa. Esta figura está basada en la estructura del ribosoma de la mosca de la fruta. Información disponible en: <https://www.rcsb.org/> con el identificador 4V6W.

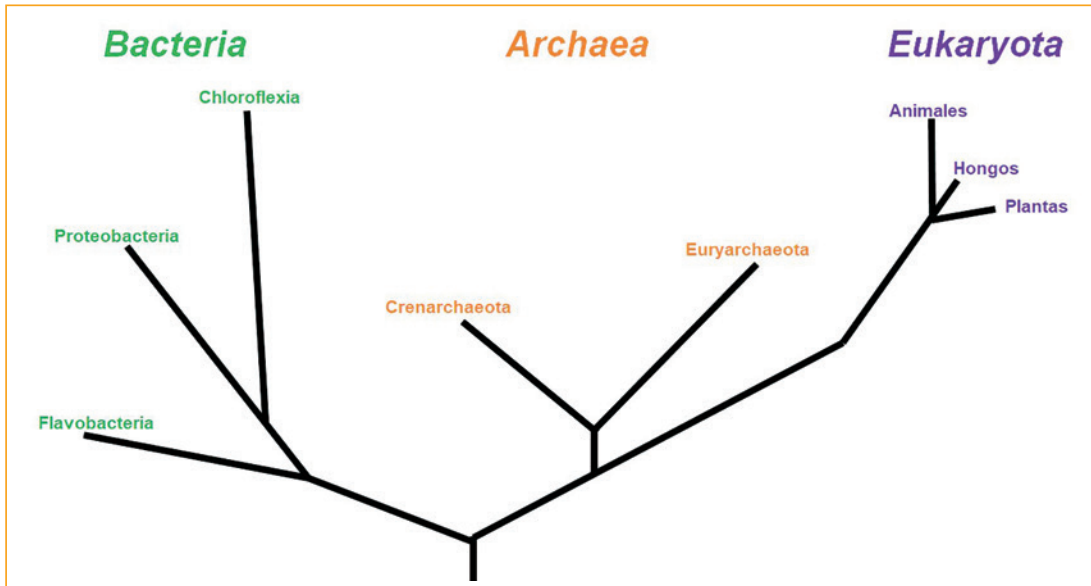


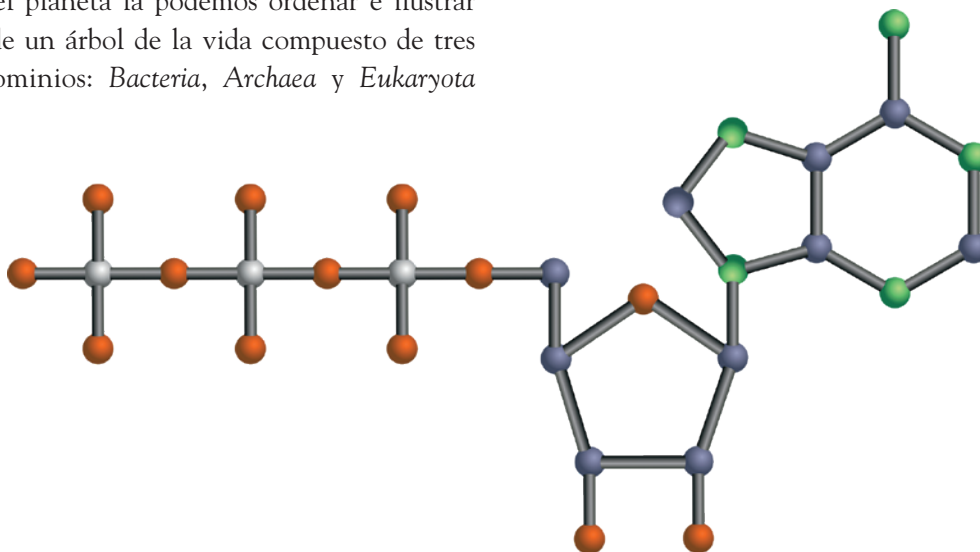
Figura 3. Árbol de la vida que muestra los tres dominios claramente separados. Muchos grupos de organismos se omitieron con el propósito de facilitar la ilustración.

por tanto su función. Sin embargo, pueden ocurrir cambios en el ADN que codifica a los ARN_r, y cuando éstos no son perjudiciales, se heredan a la progenie y se fijan en una población que, al paso de mucho tiempo, puede derivar en una nueva especie que presenta ese cambio en su ARN_r. Por lo tanto, existe una correlación directa entre las especies y su secuencia de ADN que codifica ARN_r, en especial el de la subunidad pequeña, ya sea la 16S o la 18S.

Gracias a estas consideraciones, el microbiólogo estadounidense Carl Woese propuso que la biodiversidad del planeta la podemos ordenar e ilustrar en forma de un árbol de la vida compuesto de tres grandes dominios: *Bacteria*, *Archaea* y *Eukaryota*

(Figura 3). Este árbol es producto de la determinación de la secuencia de nucleótidos de ARN_r y su posterior análisis (Woese, 2002). Hoy día existen bases de datos públicas de acceso libre a través de internet en donde los investigadores depositan las secuencias del 16S o 18S que obtienen en sus experimentos, de manera que existe un intercambio considerable de información en la comunidad científica.

Los científicos interesados en estos temas suelen comparar las secuencias de ADN de estos ARN_r,



así como la demás información genética relevante. Gracias a esas comparaciones, sabemos que hay fragmentos dentro de los ARNr que no han cambiado en el curso de millones de años y por lo tanto encontramos la misma secuencia en diferentes organismos; pero las diferencias, por muy sutiles que parezcan, son significativas para distinguir entre especies. Esto es particularmente importante para clasificar bacterias con la secuencia del ARNr 16S.

■ **El 16S como código de barras genético de bacterias**

■ Los científicos interesados en la biodiversidad utilizan secuencias de ADN para clasificar organismos. Las secuencias más recurrentes para este fin se conocen como códigos de barras genéticos, ya que la lógica detrás de su uso es similar a la de los códigos de barras de productos de supermercado. Al asignar un código de barras a un producto, van implícitas características como su tamaño, color, sabor, etc., y aunque haya productos parecidos, cada uno tiene su propio código de barras. Del mismo modo, los códigos de barras genéticos son secuencias características únicas para cada especie. El ADN que codifica el 16S

ADN ambiental
El que es recuperado a partir de una muestra tomada del medio ambiente. Puede ser agua de mar, aire, suelo, etcétera.

es el código de barras por excelencia de las bacterias. De hecho, el análisis de este gen le permitió a Carl Woese establecer que las arqueobacterias (*Archaea*), que inicialmente eran consideradas parte de las bacterias, se separaron de ellas formando un dominio aparte que vemos en la **Figura 3**.

Las bacterias son un grupo muy diverso, de importancia médica, agrícola, alimentaria, ambiental, etc., y clasificarlas es un primer paso para estudiarlas o proponer algún proceso biotecnológico basado en ellas. Además, muchas de las bacterias no crecen en condiciones de laboratorio, lo que impide su taxonomía siguiendo métodos tradicionales de microbiología. En este sentido es posible aislar **ADN ambiental**, y a partir de éste se detectan secuencias del 16S. Gracias al acceso libre a bases de datos y desarrollo de la informática para la biología (bioinformática), se pueden construir catálogos de códigos de barras genéticos de bacterias, que además de ayudar a clasificarlas y a descubrir nuevas especies, permiten a los científicos tomar decisiones para experimentos o procesos posteriores.

En la **Figura 4** se presenta una comparación de un fragmento de ADN del 16S de tres bacterias que

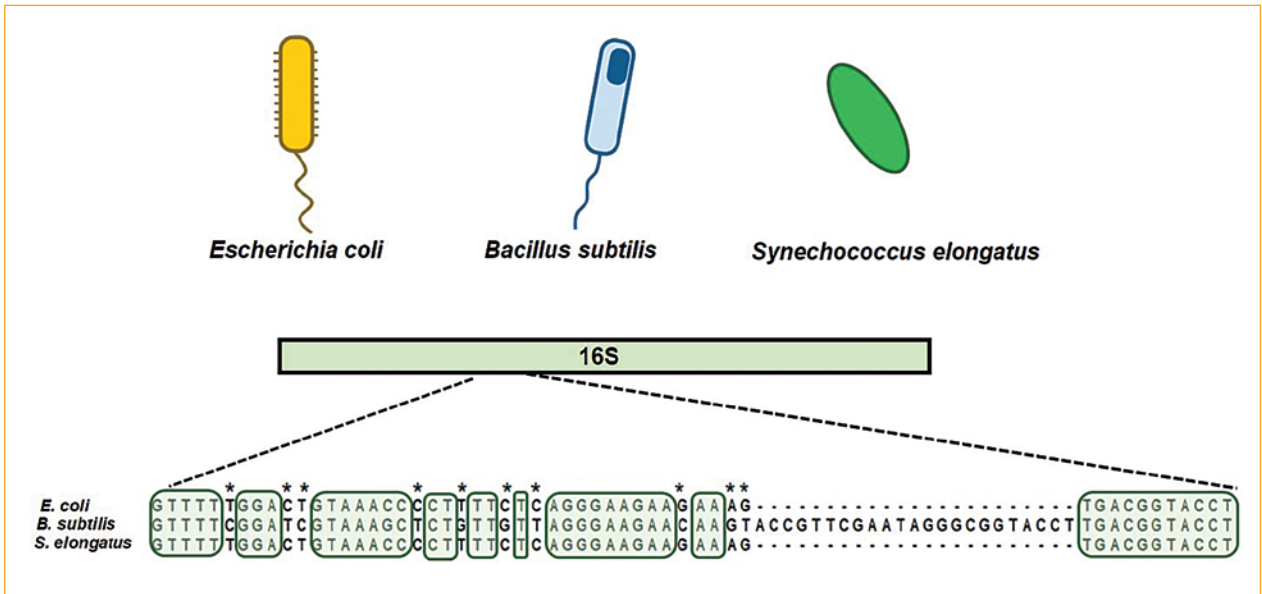


Figura 4. Comparación de un fragmento de la secuencia que codifica el componente 16S en las bacterias *E. coli*, *B. subtilis* y *S. elongatus*. Es notable que se conservan nucleótidos, pero también diferencias que se marcan con un asterisco (*) por encima de la secuencia; incluso el de *B. subtilis* es más grande. Las secuencias fueron tomadas de la base de datos de nucleótidos de Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI por sus siglas en inglés). Información disponible en: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>> con los números de acceso: X80721.1 (*E. coli*), NR_112116.2 (*B. subtilis*) y NR_074309.1 (*S. elongatus*).

no tienen mucha relación: *Escherichia coli*, que vive en nuestro tracto digestivo; *Bacillus subtilis*, que habita el suelo, y *Synechococcus elongatus*, que es acuática. Para comparar las secuencias se hace un alineamiento; es decir, se colocan las secuencias en renglones distintos, de tal forma que se obtengan el mayor número de coincidencias. El 16S se representa con el rectángulo verde y como tiene una longitud promedio de 1 600 nucleótidos, sólo se ilustra el alineamiento de una porción de las tres secuencias indicadas en la figura. En el fragmento de la secuencia se observa una gran similitud, pero también diferencias, las cuales son críticas para definir las como especies distintas. En resumen, cada especie de bacteria tiene su propio código de barras genético indispensable para su taxonomía y estudios de biodiversidad en el siglo XXI.

Conclusión

La diversidad biológica es tan vasta y desconocida que necesitamos estrategias que permitan una identificación y clasificación precisas de los seres vivos, y que al mismo tiempo usen las nuevas tecnologías de la información que nos facilitan el flujo y actualización de datos. El análisis de secuencias de ARNr cubre estos propósitos y es de particular utilidad en el caso de bacterias. Te invitamos a conocer más acerca de la diversidad biológica de tu comunidad, a ubicar las especies más representativas y así contribuir al conocimiento de la biodiversidad mexicana con el empleo de códigos de barras.

Luis David Maldonado Bonilla

Universidad del Mar, campus Puerto Escondido.
maldonado@zicatela.umar.mx



Referencias específicas

- Conabio (2020), “¿Cuántas especies hay?”. Disponible en: <<https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/cuantasesp>>, consultado el 17 de julio de 2024.
- Locey, K. J., y J. T. Lennon (2016), “Scaling laws predict global microbial diversity”, *Proceedings of the National Academy of Science of USA*, 113(21): 5970-5975.
- Rojas-Ortega, E., K. Vázquez, C. Segal-Kischinevsky y J. González (2020), “Del Big Bang al origen de la vida: aspectos básicos”, *Revista de Educación Bioquímica*, 39(3):83-95.
- Woese, C. R. (2002), “On the evolution of cells”, *Proceedings of the National Academy of Science of USA*, 99(13):8742-8747.

Susana Guerra y Enrique Castaño de la Serna

Los ARN no codificantes y su relación con el cáncer

Las secuencias de ARN que no son traducidas a proteínas se conocen como ácido ribonucleico no codificante (ARNnc). Los niveles de expresión de estos ARN pueden variar significativamente en diferentes condiciones, lo que está estrechamente asociado a enfermedades como el cáncer y puede ser utilizado como una herramienta muy prometedora para el diseño de tratamientos contra esta enfermedad. El siguiente artículo ofrece una breve revisión de los estudios recientes sobre los ARNnc en la oncogénesis.

Se trata del ácido ribonucleico (ARN) como lo conocemos o de un nuevo enfoque? Las técnicas recientes de secuenciación masiva (NGS), así como toda clase de estudios **ómicos** realizados a la fecha sobre el genoma humano, han demostrado que apenas el 2 % del ADN genómico se traduce a proteínas; mientras que el 98 % restante posee otras funciones, como las estructurales, de regulación y producción de ARN no codificantes, aunque en un inicio se empleó el término “basura genómica” pensando que no cumplían alguna función (Yao y cols., 2019). Estudios detallados han demostrado que la abundancia celular de transcritos no codificantes es aproximadamente cuatro veces mayor que la de los transcritos codificantes de proteínas (Saygili y cols., 2021). Estos transcritos presentan una importancia funcional dentro de las células, observándose incluso que aumentan en variabilidad con la complejidad de los organismos. Este hecho supone un cambio en la visión tradicional del manejo de la información génica, ya que durante mucho tiempo se consideró al ARN como un intermediario informativo entre una secuencia de ácido desoxirribonucleico (ADN) y la proteína a la que codifica; esto se conoce como el dogma central de la biología.

Las secuencias ARN que no son traducidas a proteínas se conocen como ácido ribonucleico no codificante (ARNnc). La transcripción de los ARNnc es iniciada por lo general por la ARN polimerasa II (Pol II), la misma enzima que transcribe los ARN mensajeros (ARNm), siendo los ARNnc productos de **exones** en muchos de los casos. Los ARNnc poseen promotores y elementos reguladores similares a los genes codificantes. La iniciación de la transcripción del ARNnc también requiere

Ómicos

Término que hace referencia a las disciplinas científicas que terminan en “ómica”, que estudian la totalidad de ciertos tipos de moléculas en los organismos. Ejemplos incluyen la genómica (estudio de los genes), la proteómica (estudio de las proteínas) y la transcriptómica (estudio de los ARN), entre otras.

Exones

Segmentos de ADN que contienen la información necesaria para codificar proteínas.



la unión de factores de transcripción específicos y generales al promotor del gen de ARNnc, facilitando la unión de la Pol II. La elongación de los ARNnc sigue mecanismos similares a los de los ARNm, incluyendo el acoplamiento de modificaciones co-transcripcionales, como una estructura de capucha en el extremo 5' (modificación en el inicio de la molécula de ARN que la protege y ayuda en su función). La terminación de la transcripción de ARNnc puede involucrar señales específicas en el ADN, como las secuencias de poliadenilación (adición de una cola de adeninas en el extremo 3' del ARN que ayuda a estabilizarlo y transportarlo), que son reconocidas por la Pol II y otros factores de terminación. Al igual que los ARNm, muchos ARNnc son poliadenilados en su extremo 3', aunque existen algunos que no reciben esta modificación y otros que carecen de un marco de lectura abierto que es la secuencia de ARN comprendida entre un **codón** de inicio (AUG) de la traducción y un codón de terminación. Esto significa que los ARNnc no codifican proteínas y su función

está relacionada con la regulación de la expresión génica y otros roles no codificantes dentro de la célula.

Los ARN no codificantes (ARNnc) se dividen en dos tipos según su tamaño: ARNnc pequeños, que contienen menos de 200 nucleótidos, y ARNnc largos, con más de 200 nucleótidos (véase la **Figura 1**). Los ARNnc largos son la mayor subclase de ARNnc y juegan un papel crucial en muchos procesos dentro de las células, como el control del ciclo celular, regulando la transición entre las diferentes fases del ciclo para asegurar una proliferación adecuada y prevenir la formación de tumores; en la diferenciación celular (la manera como las células se especializan); actuando como reguladores que determinan la especialización de las células; en el metabolismo, influyendo en rutas metabólicas esenciales para la producción y uso de energía; en la protección contra enfermedades, participando en la regulación de genes supresores de tumores y oncogenes implicados en el cáncer, y en la respuesta a infecciones virales, interviniendo en la defensa antiviral mediante la

Codón

Secuencia de tres nucleótidos en el ARN mensajero (ARNm) que especifica un aminoácido particular o una señal de parada durante la síntesis de proteínas.

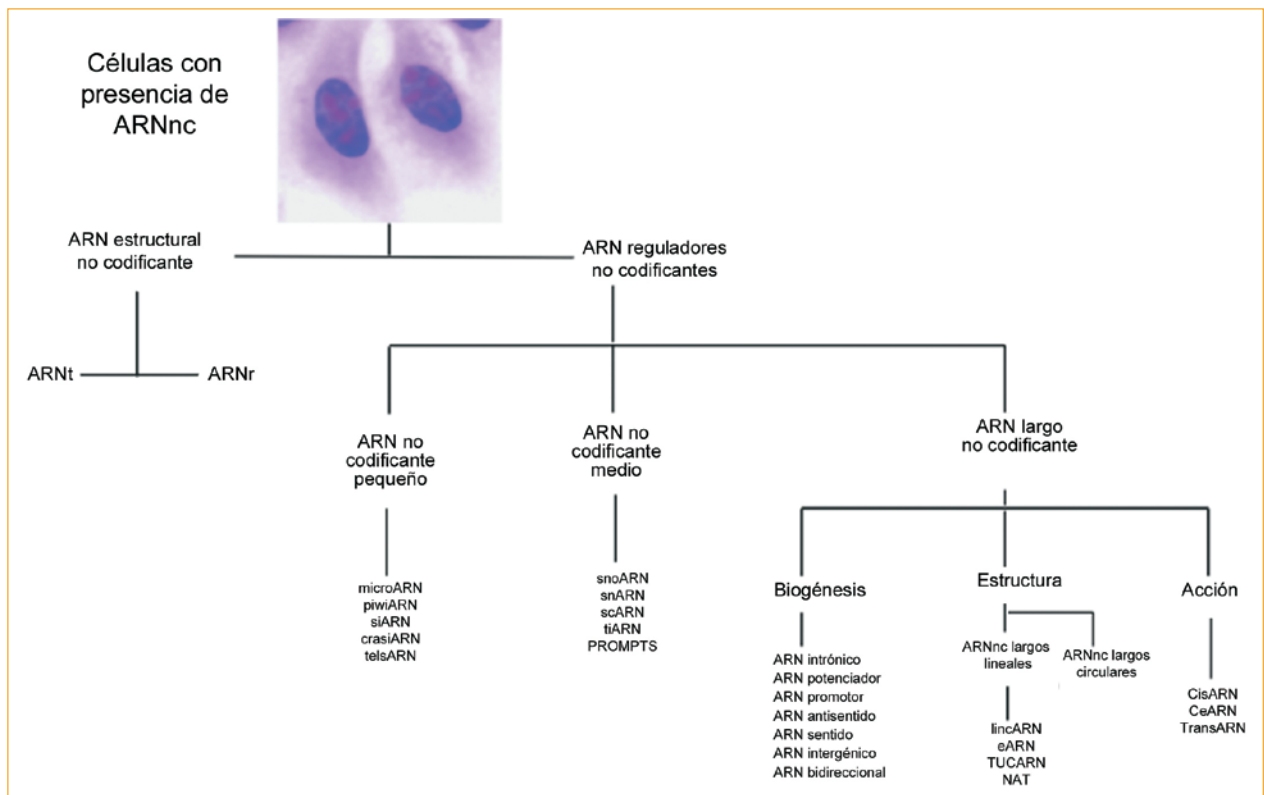


Figura 1. Clasificación de los ARNnc largos no codificantes. Figura de células HeLa teñidas con DAPI en azul para ver ADN y Pyronina gama en rosa para ver ARN total. El esquema representa la jerarquía y clasificación de los ARNnc largos en clases y subclases según su acción, biogénesis y estructura.

regulación de genes relacionados con la respuesta inmune y bloqueando la replicación de virus dentro de las células. Además, un gran número de investigaciones ha demostrado que los ARNnc largos pueden modular la transcripción, las modificaciones epigenéticas (cambios en la expresión genética sin alterar la secuencia de ADN), la estabilidad de las proteínas/ARN, la traducción y las modificaciones **postraduccionales** (Dahariya y cols., 2019). Por tanto, la capacidad de los ARNnc para interactuar con una serie de especies moleculares es un principio requerido para comenzar a entender su función (véase la **Figura 2**).

La desregulación en la expresión de los ARNnc largos a menudo está asociada con las mutaciones, y les confiere a estas moléculas la capacidad tanto de promover como de inhibir la expresión de oncogenes, los cuales son responsables de la transformación de células sanas en cancerígenas. Esta estrecha asociación vincula a los ARNnc largos de manera significativa con el desarrollo, la progresión y el pronóstico de diversas enfermedades humanas, en

particular, varios tipos de cáncer. Estas enfermedades se caracterizan por una expresión y función anormal de oncogenes y genes supresores de tumores, lo que altera el control normal del ciclo celular y contribuye a su patogénesis (Sánchez-Calle y cols., 2018).

La mayoría de las pruebas realizadas en los diversos tipos de cáncer se encuentran asociadas a las regiones codificantes; sin embargo, las secuencias no codificantes conservadas suelen estar expresadas diferencialmente y poco analizadas. Estudios han revelado que los ARNnc largos desempeñan un papel importante al regular la proliferación celular, la apoptosis, la migración, la invasión y el mantenimiento durante el desarrollo del cáncer. Dichos ARNnc ejercen su función mediante mecanismos de inhibición de la transcripción del ARN mensajero (ARNm) o la unión a proteínas específicas para bloquear su función. De esta manera, se pueden considerar como una herramienta molecular que ejerce efectos terapéuticos clínicos contra los tumores; además, se ha evidenciado su participación en la remodelación

Postraduccionales
Modificaciones químicas, como la fosforilación, glicosilación, ubiquitinación, que sufren las proteínas después de su síntesis en el ribosoma y son cruciales para la funcionalidad y regulación de las proteínas.

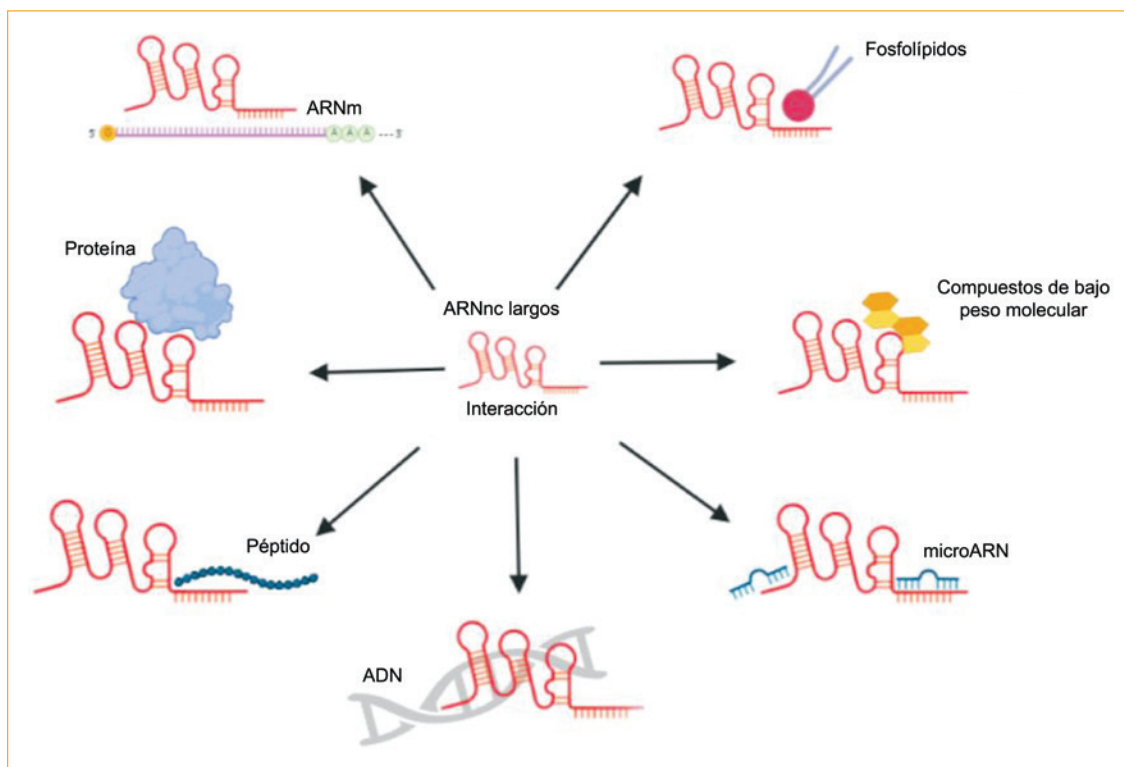


Figura 2. Interacciones de los ARNnc largos. Los ARNnc largos pueden interactuar con diversas moléculas celulares, incluyendo ARNm, fosfolípidos, proteínas, compuestos de bajo peso molecular, péptidos, ADN y miARN. Estas interacciones permiten a los ARNnc largos no codificantes modular una variedad de procesos celulares importantes.

Metástasis

Proceso por el cual las células cancerosas se diseminan desde el sitio original del tumor a otras partes del cuerpo, formando nuevos tumores en órganos distantes.

del microambiente tumoral y la **metástasis** tumoral (Jiang y cols., 2019).

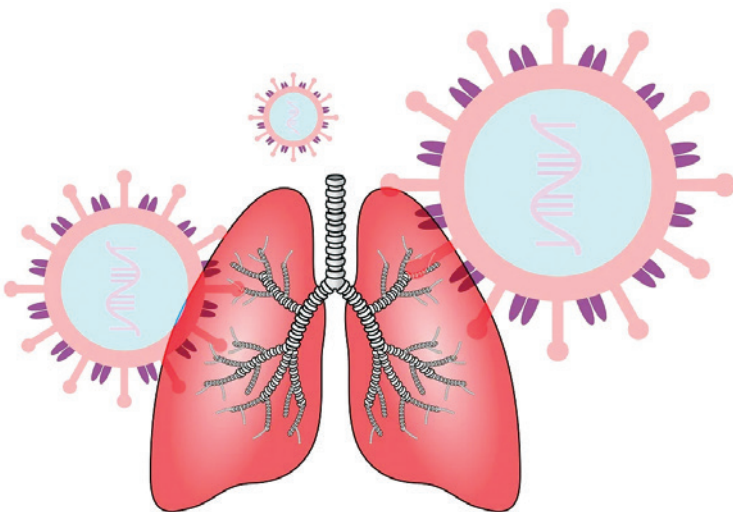
En este contexto, dos de los ARNnc largos más estudiados son MALAT1 y H19. El MALAT1 (Metástasis Asociada a la Transcripción del Adenocarcinoma Pulmonar 1) participa en distintos procesos de la regulación postranscripcional, como el procesamiento del alternativo empalme del ARNm, mecanismo muy importante para la diversidad genética y que puede tener implicaciones directas en el inicio y en el desarrollo de varios tipos de cáncer. Por otro lado, el ARNnc H19 interactúa con distintos factores de transcripción, entre ellos la proteína de dominio de unión a metil-CpG 1, MBD1 (Proteína 1 de Unión al ADN Metilado), provocando su activación y, a su vez, a ciertos genes asociados con el cáncer, como los MYC específicamente c-MYC. Éste a su vez modificará al supresor de tumores p53, un factor de transcripción que activa la expresión de múltiples genes relacionados con la detención del ciclo celular y la apoptosis (Chiu y cols., 2018).

Otro ejemplo de ARNnc largo involucrado en el desarrollo y la progresión del cáncer es HOTAIR. En el cáncer de mama este ARNnc largo se encuentra en niveles altos. HOTAIR se une al gen BRCA1, un supresor de tumores, lo que trae como resultado que las células epiteliales se vuelvan cancerosas. Además, la expresión aumentada de este ARNnc largo conlleva a su vez a una mayor expresión de la proteína Bcl-w, conocida por promover la proliferación celular y la

invasión de células tumorales; esto contribuye al crecimiento y diseminación del cáncer de mama. También se ha encontrado que los niveles de este ARNnc largo están aumentados en cánceres de hígado. En estos casos, actúa como una esponja para microARN (miRNAs), como miR-23b-3p, lo que significa que los atrapa y regula positivamente la actividad de ciertas proteínas. Una de estas proteínas es ZEB1, que juega un papel importante en la invasión y migración de las células cancerosas del hígado (HCC). Además, este ARNnc ayuda a que las células pasen de un estado celular llamado epitelial a otro llamado mesenquimal, lo que favorece la propagación del cáncer.

Otro ARNnc largo implicado en la progresión del cáncer pancreático es HOTTIP. Niveles elevados de HOTTIP se han asociado con una mayor proliferación celular y metástasis tumoral, al regular los niveles de la proteína HOXA9 a través de la activación de la vía Wnt/ β -catenina. HOXA9 es un miembro de la familia de genes HOX, que son reguladores maestros del desarrollo embrionario y la diferenciación celular. En el cáncer, la sobreexpresión de HOXA9 puede contribuir al crecimiento tumoral y la progresión al influir en la expresión de genes asociados con la proliferación celular y la invasión metastásica. La vía Wnt/ β -catenina es crucial en la señalización celular y juega un papel fundamental en el control del crecimiento y la diferenciación celular. En condiciones normales, esta vía está estrictamente regulada para mantener el equilibrio celular adecuado; sin embargo, en el cáncer, puede producirse una activación excesiva de esta vía, lo que conduce a la proliferación celular descontrolada y la progresión tumoral.

Además, se ha demostrado que la inhibición de HOTTIP induce la apoptosis, activando la actividad de caspasa 3/8. Las caspasas son enzimas clave en la cascada de la apoptosis, o muerte celular programada. La caspasa 3/8, específicamente, desempeña un papel crucial en la ejecución de la apoptosis, mediante la fragmentación del ADN y la desintegración celular. Por lo tanto, la activación de la caspasa 3/8 mediante la inhibición de HOTTIP podría representar una estrategia terapéutica potencial para detener la proliferación celular y reducir la progresión del cáncer de páncreas.



El ARNnc NEATI también está implicado en la progresión del cáncer de próstata al promover la proliferación celular y la invasión tumoral y actuar como un regulador clave de la expresión génica. Este ARNnc actúa como una esponja para los microARN miR-34a-5p y miR-204-5p, los cuales normalmente funcionan como reguladores negativos de la enzima ACSL4. La sobreexpresión de NEATI conduce a una disminución de la actividad de estos microARN, lo que resulta en un aumento de los niveles de ACSL4. Esto, a su vez, incrementa la expresión de los genes transportadores ABC, como ABCG2 y ABCC4, que están asociados con la resistencia al docetaxel y otros agentes quimioterapéuticos en las células de cáncer de próstata.

Además, estudios recientes han revelado que NEATI está regulado por el receptor de estrógeno alfa (ER α) en los tejidos de cáncer de próstata. Esta interacción con el ER α puede desempeñar un papel crucial en la promoción de la progresión del cáncer al modular la actividad de NEATI en las células cancerosas de la próstata. Estos hallazgos sugieren que NEATI no sólo contribuye a la resistencia a la quimioterapia, sino que también desempeña un papel importante en la proliferación y la invasión tumorales, así como en la progresión general de la enfermedad en el cáncer de próstata.

En la **Tabla 1** y la **Figura 3** se muestran los ARNnc mencionados, así como otros ejemplos de ARNnc largos adicionales, relacionados con procesos cancerígenos.

La investigación sobre los ARNnc largos ha revelado su participación en las seis características fundamentales del cáncer: mantenimiento de la señal proliferativa, evasión de los supresores de crecimiento, **inmortalidad replicativa**, invasión, metástasis y mantenimiento de la **estabilidad genómica**, así como resistencia a medicamentos. Su expresión específica en tejidos y células, así como su detección en fluidos biológicos, los convierte en marcadores diagnósticos efectivos para diferentes subclases de tumores y en la predicción de respuestas terapéuticas adecuadas. Por lo tanto, el estudio de los ARNnc largos representa una herramienta muy prometedora para el diseño de tratamientos avanzados contra diferentes tipos de cáncer.

Algunos ejemplos de dichas aplicaciones en el diagnóstico de cánceres son: H19, detectable en fluidos corporales, que puede diferenciar efectivamente a los pacientes con cáncer gástrico de los controles sanos, así como entre diferentes etapas de la enfermedad. Por otro lado, HOTAIR, presente en la saliva de pacientes con carcinoma de células escamosas oral, se ha identificado como un candidato ideal para el diagnóstico no invasivo, ya que se ha observado que el aumento del nivel circulatorio de HOTAIR está asociado con una mayor mortalidad en pacientes con cáncer de colon rectal.

Estos resultados indican que los niveles anómalos de ARNnc largos en fluidos corporales y tejidos

Inmortalidad replicativa
Capacidad de las células para dividirse indefinidamente, evitando la senescencia o muerte celular, característica típica de las células cancerosas.

Estabilidad genómica
Mantenimiento de la integridad y la correcta secuencia del ADN en una célula.

Tabla 1. ARN no codificantes largos relacionados con procesos cancerígenos.

ARNnc largos	Función en el cáncer	Tipo de cáncer
PCGEM1	Activación de genes relacionados con el crecimiento celular e inhibición de la apoptosis.	Próstata
HOTTIP	Interacción con el gen HOXA1E, promoviendo el crecimiento celular y la metástasis.	Páncreas
PTENP1	Marca para su degradación al mRNA asociado al supresor de tumores PTEN.	Colon
GAS5	Bloquea la expresión de genes de respuesta a glucocorticoides causando la inhibición de la apoptosis.	Mama
HOTAIR	Modifica la cromatina promoviendo la metástasis.	Mama, colon, hígado y ovario
MALAT1	Su sobreexpresión se relaciona con la aparición de metástasis. Asociado con diagnósticos de baja supervivencia.	Pulmón, próstata, mama, colon, hígado, leucemia Pulmón, hígado y colon
HUCL	Estimula la proliferación celular.	Colon e hígado

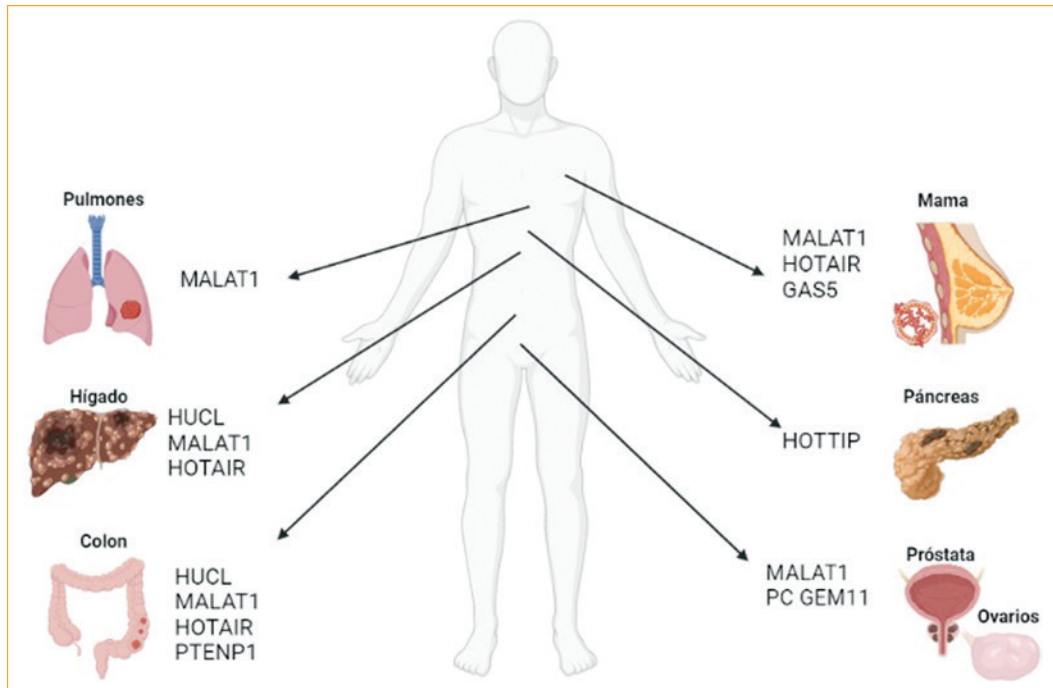


Figura 3. Varios ARNnc, según lo reportado en cánceres de diferentes tejidos.

son características estables asociadas con el cáncer y pueden ser el objetivo de posibles intervenciones terapéuticas. De hecho, interferir con los niveles desregulados de los ARNnc largos tanto *in vitro* como *in vivo* ha demostrado normalizar efectivamente las anomalías celulares asociadas con el cáncer. Actualmente, los diversos tipos de cáncer tienen un enorme impacto en la población, al ser una de las principales causas de morbilidad y mortalidad entre las enfermedades no transmisibles. La **Tabla 2** muestra algunos ejemplos de usos de ARNnc en el diagnóstico de diversas enfermedades (Zhang y cols., 2024).

Susana Guerra

Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas, Centro de Investigación Científica de Yucatán.
susanaguerragomez@gmail.com

Enrique Castaño de la Serna

Autor de correspondencia
Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas, Centro de Investigación Científica de Yucatán.
enriquec@cicy.mx

Referencias específicas

Dahariya, S., I. Paddibhatla, S. Kumar, S. Raghuwanshi, A. Palapati y R. K. Gutti (2019), “Long non-coding RNA: Classification, biogenesis and functions in blood cells”, *Molecular Immunology*, 112:82-92.

Chiu, H. S., S. Somvanshi, E. Patel, T. W. Chen, V. P. Singh *et al.* (2018), “Pan-cancer analysis of lncRNA regulation supports their targeting of cancer genes in each tumor context”, *Cell Reports*, 23(1):297-312.e12.

Jiang, M.-C., J., J.-J. Ni, W.-Y. Cui, B.-Y. Wang y W. Zhou (2019), “Emerging roles of lncRNA in cancer and therapeutic opportunities”, *American Journal of Cancer Research*, 9(7):1354-1366.

Yao, R. W., Y. Wang y L.-L. Chen (2019), “Cellular functions of long noncoding RNAs”, *Nature Cell Biology*, 21(5):542-551.

Sánchez-Calle, A., Y. Kawamura, Y. Yamamoto, F. Takeshita y T. Ochiya (2018), “Emerging roles of long non-coding RNA in cancer”, *Cancer Science*, 109(7):2093-2100.

Saygili, H., Bozgeyik, I., Yumrutas, O., Akturk, E., y Bagis, H. (2021), “Differential expression of long noncoding RNAs in patients with coronary artery disease”, *Molecular Syndromology*, 12(6):372-378.

Zhang, Y.-J., L. Zhan, X. Jiang y X. Tang (2024), “Comprehensive review for non-coding RNAs: From mechanisms to therapeutic applications”, *Biochemical Pharmacology*, 224:1-20.

Tabla 2. Ejemplos representativos de ensayos clínicos que exploran biomarcadores de ARNnc en cáncer, enfermedades cardiovasculares, enfermedades infecciosas y trastornos neurodegenerativos.

NCT número	Tejido	ARNnc	Alcance actual del estudio
Cáncer			
NCT02618538	Cáncer de mama	miARN	Exploración de las alteraciones significativas de los miARN circulantes en el plasma de pacientes con cáncer, en comparación con controles sanos emparejados.
NCT03830619	Cáncer pulmonar	ARNnc largos	Estudio del potencial del ncARN del exosoma sérico como biomarcador para el diagnóstico del cáncer de pulmón.
NCT04464122	Tumores neuroendocrinos	circARN (ARN circulares)	Nuevos biomarcadores de circARN a partir de plaquetas educadas en tumores que se pueden utilizar para diagnosticar y evaluar la respuesta al tratamiento en neoplasias neuroendocrinas pulmonares y gastroenteropancreáticas.
Enfermedades cardiovasculares			
NCT03049254	Múltiples condiciones cardiovasculares	miARN	Estudio de biomarcadores sanguíneos que predicen la aparición de la enfermedad, la progresión y la probabilidad de arritmia.
NCT03170830	Infarto agudo de miocardio	circARN-Uck2	Evaluación de la importancia diagnóstica de circARN-Uck2 en el infarto agudo de miocardio
NCT03076580	Micardiopatías	miARN, ARNnc largos	Realización de un estudio multiómico de pacientes con miocardiopatías para identificar factores de riesgo genéticos y biomarcadores secuenciales para el diagnóstico y pronóstico de miocardiopatías.
Enfermedades neurológicas			
NCT04509271	Enfermedad de Alzheimer	miARN	La investigación de biomarcadores de miARN para el diagnóstico del deterioro cognitivo leve debido a la enfermedad de Alzheimer tiene como objetivo mejorar las estrategias de detección e intervención precoz.
NCT03152630	Demencia	ARNnc largo	La investigación del diagnóstico precoz y el pronóstico de la demencia vascular tiene como objetivo mejorar nuestra comprensión de esta afección y mejorar los resultados de los pacientes.
NCT05341453	Atrofia muscular espinal	ARNnc largo	Estudiar el efecto de la fisioterapia y la hipoterapia en niños con atrofia muscular espinal, con eficacia evaluada, en parte, mediante la medición del ARNnc largo en sangre.
Enfermedades infecciosas y sepsis			
NCT03280576	Sepsis	miARN	Examinar los niveles de miARN obtenidos del plasma, los exosomas circulantes y las células sanguíneas mediante secuenciación de nueva generación para comprender los efectos epigenéticos en los niveles plasmáticos de progranulina.
NCT05398952	Fatiga postviral, miocarditis viral	miARN, ARNnc largo, circARN	Investigar la presencia de biomarcadores circulantes de ARNnc en individuos que experimentan síntomas persistentes posteriores a la Covid-19 con el objetivo de descubrir nuevos biomarcadores de diagnóstico y pronóstico.

Exosoma
Pequeñas vesículas extracelulares secretadas por las células que contienen proteínas, lípidos y material genético.

Plaquetas educadas
Plaquetas que han sido modificadas o influenciadas por el microambiente tumoral, y que pueden promover la progresión del cáncer y la metástasis.

Multiómico
Enfoque integrador que combina datos de varias disciplinas ómicas, como genómica, transcriptómica, proteómica y metabolómica, para obtener una visión más completa y holística de los procesos biológicos y enfermedades.



De actualidad

Desde la UAM

Noticias de la AMC

Jenny Noemí Muñoz Montes de Oca, Héctor Romero Morales y José Javier Reyes Lagos

De estetoscopios a dispositivos inteligentes: una revolución del monitoreo materno-fetal

El monitoreo fetal es un procedimiento que se realiza a las mujeres durante el embarazo para evaluar la salud del feto. Desde estetoscopios hasta modernos equipos médicos, el monitoreo fetal ha evolucionado con la tecnología. El monitoreo materno-fetal 4.0 permite revisar el estado del feto y la madre de forma continua durante el embarazo, al enviar información al hospital y ayudar a los médicos con un diagnóstico oportuno.

Introducción

El avance tecnológico ha impactado en casi todas las áreas del desarrollo humano y la comunicación inalámbrica ha revolucionado la forma en que aprendemos, interactuamos y hacemos negocios en todo el mundo. Asimismo, los servicios de salud han evolucionado a sistemas más avanzados, conectados y enfocados en las necesidades de cada paciente. Este nuevo sistema se llama *Healthcare 4.0*.

El sistema *Healthcare 4.0* podría sonar como algo lejano, pero gracias a los avances tecnológicos su uso en un futuro cercano es cada vez más real. Su implementación supondría llevar los servicios de salud de alto nivel a las comunidades más alejadas. De esta forma, los profesionales especialistas en medicina podrían ayudar a la gente que más lo necesita y mejorar su calidad de vida.

La pandemia de Covid-19 incentivó el uso de la tecnología en múltiples áreas. Por ejemplo, las personas empezaron a tomar clases en línea y a trabajar desde su casa, lo que tomó un papel importante en el ámbito académico e industrial, respectivamente. En el área de la salud, el aumento de contagios y la saturación de hospitales provocaron rezagos en la atención de otros padecimientos y condiciones; por ejemplo, el seguimiento médico de mujeres durante el embarazo. Las restricciones de movilidad, los tiempos prolongados entre consultas, así como la posibilidad de contraer la infección, generaron un aumento en los índices de estrés, ansiedad y

depresión en las futuras mamás, lo que, de acuerdo con estudios científicos, conlleva a un mayor riesgo de parto prematuro (Kahankova y cols., 2023).

El monitoreo materno-fetal es el seguimiento continuo o intermitente de la frecuencia cardíaca fetal y las contracciones uterinas durante el embarazo, el trabajo de parto y el nacimiento. Este seguimiento permite a los profesionales de la medicina conocer la salud del feto, detectar alguna complicación y, en general, evaluar el progreso del embarazo. Para ello, se utilizan dispositivos electrónicos para medir simultáneamente tanto la actividad eléctrica del corazón del feto, como las contracciones uterinas de la madre (ACOG, 2009) El monitoreo materno-fetal ha presentado una evolución que ha ido de la mano de la tecnología médica. Como se muestra en la **Figura 1**, este desarrollo ha sido dividido en cuatro etapas:

- **Monitoreo fetal 1.0.** Fue el primer acercamiento al monitoreo fetal. Se originó mediante la auscultación médica intermitente, utilizando el estetoscopio. A su vez, la salud del feto era evaluada mediante su movilidad en el vientre. Este acercamiento únicamente permitía confirmar la presencia de latido cardíaco en el feto y la detección de ritmos cardíacos anormales.
- **Monitoreo fetal 2.0.** La introducción del monitoreo electrónico revolucionó los métodos de evaluación de la salud del feto. Específicamente el diagnóstico de patologías como defectos congénitos, desprendimiento de placenta, sufrimiento fetal, contracciones uterinas anormales, o disfunción uterina, pueden realizarse a lo largo del em-

barazo y en el trabajo de parto mediante el uso de equipos fijos de ultrasonido y cardiotocógrafos. Actualmente, el monitoreo fetal 2.0 se implementa en la mayor parte de los hospitales de segundo nivel de atención.

- **Monitoreo fetal 3.0.** Algunos equipos médicos de monitoreo remoto han sido recientemente introducidos en el mercado debido a la creciente tendencia de crear sistemas de monitoreo portátiles. Algunos ejemplos de ellos son los equipos de ultrasonido *doppler* y *electrocardiógrafos fetales*, que pretenden brindar un panorama general de la salud del feto a través de la monitorización y registro de la frecuencia cardíaca fetal. En conjunto con la telemedicina, su uso pretende disminuir los riesgos de movilidad y gestionar la atención hospitalaria.

El monitoreo fetal 4.0 es una propuesta ambiciosa que implementa el conocimiento adquirido a través del monitoreo electrónico fetal para el desarrollo de sistemas automáticos e inteligentes que permitan el diagnóstico y seguimiento de pacientes a distancia. Actualmente, el seguimiento fetal está atravesando la era 3.0, en la cual diversos dispositivos remotos de evaluación materno-fetal han sido introducidos al mercado, lo que ha permitido una monitorización continua del estado de salud de la mamá y del feto (Kahankova y cols., 2023). La transición del monitoreo 3.0 al 4.0 incluirá la digitalización de la información y el uso extensivo de la inteligencia artificial para obtener diagnósticos más precisos, mejorar los esquemas de prevención de complicaciones

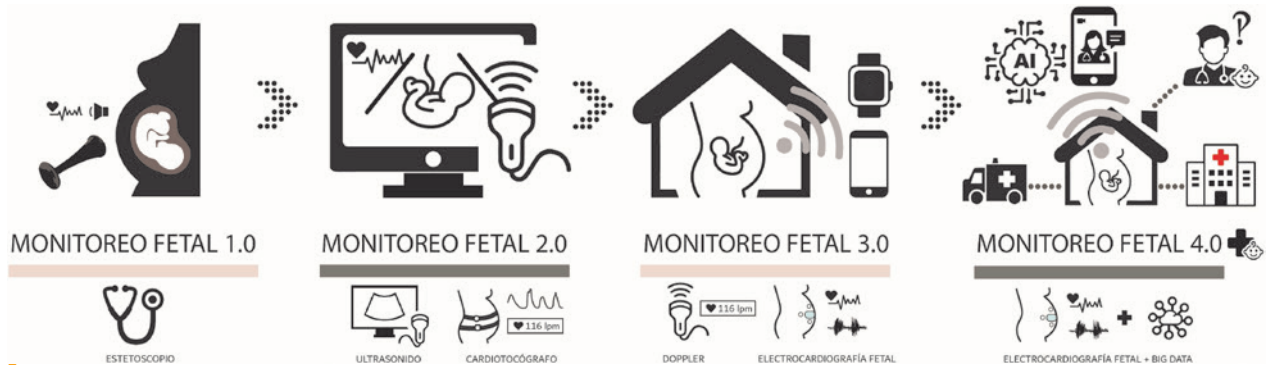


Figura 1. Evolución de los sistemas de monitoreo fetal y las tecnologías empleadas en cada una de las etapas.

y tener un sistema personalizado para la atención de las pacientes.

En un futuro cercano, la tecnología médica podría desarrollar dispositivos médicos portátiles que monitoreen constantemente la salud del feto y de la madre durante el embarazo, utilizando equipos inalámbricos cómodos y discretos que se conecten a internet y transmitan la información directamente a los profesionales de la salud. Siguiendo la tendencia conocida como “internet de las cosas”, que se refiere a múltiples dispositivos conectados a internet que pueden interactuar entre sí, tal como los asistentes de voz pueden encender la televisión o apagar la luz en una habitación. La información generada por los dispositivos de monitoreo podría utilizarse para tomar decisiones clínicas de forma oportuna, emitir alertas en caso de problemas y predecir posibles complicaciones en el embarazo. Así, podríamos imaginar un dispositivo médico portátil que las mujeres utilicen de forma constante durante el embarazo, similar a los relojes inteligentes, para enviar información importante sobre su salud al médico tratante.

■ **Desventajas del método tradicional**

■ En la actualidad, para llevar un seguimiento del embarazo se utilizan principalmente dos técnicas: la ultrasonografía y la cardiotocografía. La ultrasonografía es un método que permite obtener imágenes del feto y medir su ritmo cardíaco para detectar posibles enfermedades. Aunque es sencilla, se necesita un especialista para manejar el equipo e interpretar las imágenes. Además, a pesar de ser una herramienta valiosa para el control prenatal, la exposición continua a energía ultrasónica impide su uso para el monitoreo continuo del embarazo (Kahankova y cols., 2023). Por otro lado, la cardiotocografía detecta las contracciones uterinas, a través de los cambios en el contorno abdominal materno, y mide la frecuencia cardíaca fetal. Al ser un método no invasivo y seguro, ha sido aceptado rápidamente en la práctica clínica para el monitoreo materno-fetal durante el trabajo de parto. No obstante, la medición requiere una colocación correcta de los sensores y también es influenciada por el movimiento fetal y la



respiración materna. A su vez, su uso en mujeres embarazadas obesas ($IMC > 34$) no es confiable, pues la distancia entre el útero y la piel donde se colocan los sensores podría generar mediciones poco confiables (Euliano y cols., 2007).

■ **El presente y el futuro del monitoreo fetal**

■ En la actualidad, los expertos buscan nuevas técnicas seguras y no invasivas para medir el estado de salud del feto. Una de estas técnicas se llama fonocardiograma, que consiste en escuchar los latidos del corazón del bebé desde fuera del vientre de la madre. Este método es económico y fácil de usar. Dentro del útero, el corazón del bebé produce señales eléctricas que pueden ser detectadas desde la superficie del

vientre materno. La electrocardiografía fetal registra estas señales y proporciona información sobre el ritmo cardíaco tanto del feto como de la madre. Al observar la actividad eléctrica del corazón, los expertos pueden detectar si hay falta de oxígeno en el feto (lo que se llama hipoxia). Además, los mismos sensores pueden usarse para registrar la actividad eléctrica muscular uterina de la madre (electrohisterograma o electromiograma uterino), lo que proporciona información sobre el estado de ambos durante el parto y el seguimiento del progreso del trabajo de parto (Escalante-Gaytán y cols., 2019).

La electrocardiografía fetal y el electrohisterograma son técnicas que permiten medir la actividad eléctrica del corazón del feto y las contracciones del útero de la madre. Estos métodos son seguros, dado que no emplean radiación y son cómodos para la paciente. Además, pueden ser utilizados en mujeres con un alto índice de masa corporal. Los

resultados obtenidos mediante estas técnicas pueden ser usados para detectar problemas en el feto como la falta de oxígeno. Actualmente, los expertos están desarrollando y probando algoritmos de aprendizaje automático y herramientas de física estadística e ingeniería biomédica para mejorar el monitoreo fetal. El objetivo es predecir y comprender, desde un punto de vista médico, complicaciones, como el parto prematuro o el estrés fetal. A pesar de los avances en esta área, la implementación de estas técnicas aún es limitada debido a la complejidad del problema y a cuestiones como la privacidad de los datos del paciente. Sin embargo, se espera que en un futuro cercano los proveedores de atención médica puedan garantizar la seguridad de la información del paciente gracias a los avances en ciberseguridad. La **Figura 2** muestra una comparación entre las estrategias para el monitoreo fetal que se usan en la actualidad y el *Healthcare 4.0*.



Figura 2. Comparación entre las estrategias de monitoreo fetal actuales y la propuesta del Healthcare 4.0.

El monitoreo fetal 4.0 promete ser un sistema de evaluación continua de la salud materno-fetal para la detección temprana de enfermedades. Adicionalmente, la atención continua y remota podría implicar cambios para evitar la saturación de los servicios de salud, y permitiría llevar la medicina a comunidades lejanas. Este sistema innovador busca usar las ventajas del mundo interconectado gracias al internet, así como las nuevas tecnologías inteligentes, que permitan la detección de anomalías, brindando un enfoque personalizado para las pacientes. Una primera etapa de la introducción del monitoreo fetal 4.0 pudiera darse en hospitales de referencia, como el Instituto Nacional de Perinatología o en hospitales privados; sin embargo, se espera que la infraestructura de salubridad pueda aprovechar estas herramientas para hacer más accesible los servicios de salud.

Aunque aún existe camino por recorrer, la introducción de dispositivos médicos comerciales para el monitoreo remoto marca el inicio de una nueva era en el cuidado de la salud. Esta nueva era requiere los esfuerzos conjuntos de profesionales en ingeniería

biomédica, involucrados en el diseño de instrumentos, algoritmos de ciencia de datos y telemedicina. Su objetivo es generar dispositivos seguros, eficientes y orientados al paciente, utilizando tecnología de punta. Esto, aunado a los crecientes desarrollos de tecnologías con inteligencia artificial, ciberseguridad e incluso dispositivos portátiles, demuestra que lo mejor está por venir.

Jenny Noemí Muñoz Montes de Oca

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.
jenny.munoz@inaoep.mx

Héctor Romero Morales

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.
hector.romero@inaoep.mx

José Javier Reyes Lagos

Facultad de Medicina, Universidad Autónoma del Estado de México.
jjreyesl@uaemex.mx

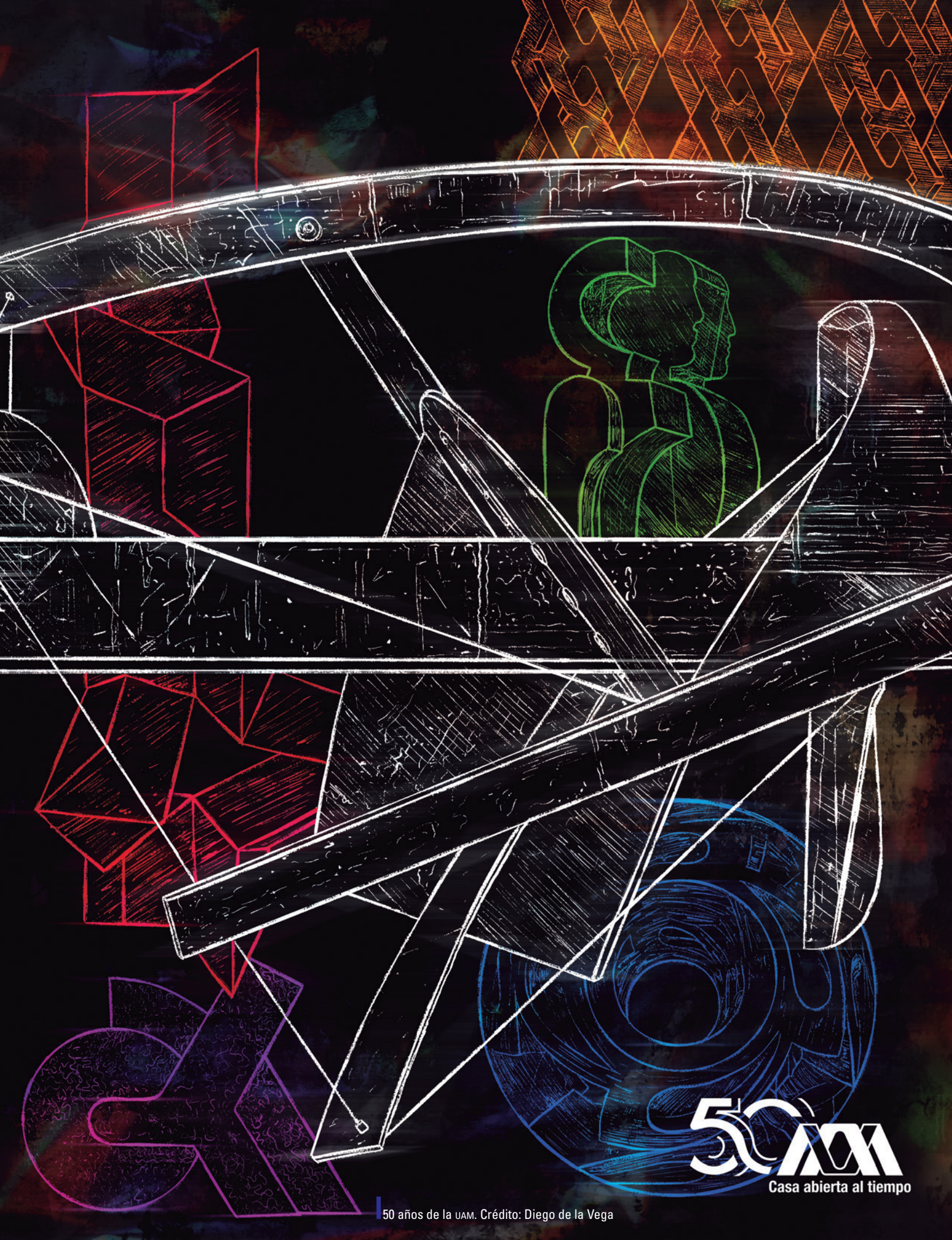
Referencias específicas

American College of Obstetricians and Gynecologists (ACOG) (2009), "ACOG Practice Bulletin No. 106: Intrapartum Fetal Heart Rate Monitoring: Nomenclature, Interpretation, and General Management Principles", *Obstetrics and Gynecology*, 114(1): 192-202.

Escalante-Gaytán, J., C. Esquivel-Arizmendi, C. Ledesma-Ramírez, A. Pliego-Carrillo, M. García-González y J. Reyes-Lagos (enero de 2019), "Utilidad de la electrohisterografía como técnica de monitorización uterina en el ámbito clínico: revisión bibliográfica", *Ginecología y Obstetricia de México*, 87(1):46-59.

Euliano, T. Y., M. T. Nguyen, D. Marossero y R. K. Edwards (2007), "Monitoring contractions in obese parturients: electrohysterography compared with traditional monitoring", *Obstetrics & Gynecology*, 109(5):1136-1140.

Kahankova, R., K. Barnova, R. Jaros, J. Pavlicek, V. Snašel y R. Martinek (2023), "Pregnancy in the time of covid-19: towards fetal monitoring 4.0", *BMC Pregnancy and Childbirth*, 23(1):33.



50 años
UAM
Casa abierta al tiempo

50 años de la UAM. Crédito: Diego de la Vega



Celebrando 50 años de la Universidad Autónoma Metropolitana

La Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) fue creada en 1974 como una propuesta innovadora y alternativa en educación superior en la Ciudad de México. Actualmente, cuenta con cinco unidades universitarias, independientes entre sí, que ofrecen modelos educativos distintos. Cada unidad cuenta con tres divisiones académicas que agrupan a áreas de conocimiento afines, las cuales, a su vez, están organizadas en departamentos. El personal académico es mayoritariamente de tiempo completo, integrado por profesoras y profesores. En cuanto a la docencia, ofrece tres trimestres al año. Los órganos personales duran en el cargo cuatro años sin posibilidades de reelección y las decisiones académicas son tomadas por los órganos colegiados. Después de 50 años, la UAM ha graduado a cerca de 200 000 estudiantes de licenciatura y 18 000 de posgrado. Cuenta con 2 600 profesores de tiempo completo, de los cuales el 63 % tiene doctorado y 1 268 pertenecen al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores.

■ Diez lustros y un sueño: la UAM y la quimera de la transdisciplina

■ Los aniversarios son motivo de reflexión, de renovación, de propósitos y de espíritu de cambio, especialmente cuando se es joven. La UAM, con sus diez lustros, es una institución en ciernes (compárese con la decana Universidad de Al Quaraouiyine, fundada por Fátima al-Fihri, que, con 233 lustros, supera por 30 a la milenaria Universidad de Bolonia). En la antigua Roma, los *lustra* eran ceremonias quinquenales para reforzar la cohesión y la moralidad del ejército y las ciudades. Incluían la *suovetaurilia*, oblación en la que se inmolaban un cerdo (*sus*), una oveja (*ovis*) y un toro (*taurus*). Mi contribución aquí no sacrifica a nadie, pero sí demanda un nicho para una entidad híbrida que aún no ha podido cobrar forma plena en múltiples lugares de la UAM, en particular en la División de Ciencias Sociales y Humanidades de la Unidad Cuajimalpa: la transdisciplina.

Tocaré sólo los momentos inicial y actual de su historia, pues sus similitudes brindan una oportunidad para aprender de ella. En sus inicios, la promesa de la “página en blanco” resultaba seductora; el entusiasmo suplía a la cafeína y los intercambios de correos iniciaban a las 6 a.m. y continuaban hasta las 2 o 3 del día siguiente, pues los planes curriculares “¡debían ser entregados, ya!”. La etapa no estuvo exenta de fricciones y, como siempre, lo urgente eclipsó a lo importante. Aunque mucho se dijo acerca del aprendizaje, el modelo de enseñanza no disciplinar fue soslayado, aun cuando ya conocíamos sus ventajas y sumábamos expertos en sistemas universitarios y en el sistema modular.

En la investigación, las líneas rectoras de la Universidad, que abarcaban temas de gran relevancia como la sustentabilidad, el cambio tecnológico y el cambio climático, no lograron integrar las disciplinas de manera efectiva. Algunos planteamos la idea de que la transdisciplina —que promueve redes abiertas de conocimiento— implicaba, en cierta medida, la movili-

dad de académicos entre departamentos y fuera de la Universidad. Nos dimos a la tarea de crear esquemas de flujos de migración y ciclos rotativos que contemplaran las diferentes funciones sustantivas, pero la idea fue rechazada en favor de una organización más tradicional y disciplinaria.

En cuanto a la difusión, los primeros años de la Unidad Cuajimalpa continuaron el modelo de una universidad consumidora, más que productora de cultura (socialmente comprometida y con impacto social).

Hoy, buscando recuperar la coherencia y articulación funcional de la docencia, la investigación y la difusión de la cultura, superar las inercias del sistema organizativo y promover una planeación académica integral y colectiva, nuestra universidad ha realizado cambios legislativos. El más importante, en el artículo tercero de su Reglamento Orgánico establece: “El área académica es el espacio colectivo donde se integran, promueven y desarrollan las funciones de docencia, investigación y preservación y difusión de la cultura, a partir de las especificidades de la planeación y programación aprobadas por los órganos colegiados y personales”.

Este movimiento ofrece una nueva oportunidad para desarrollar un enfoque acorde a nuestros tiempos. Nos toca procurar que la idea de la transdisciplina cobre plena forma y no siga el camino que en opinión de Aristóteles habrían seguido los fósiles: eran entelequias fracasadas, ideas puras que habían equivocado el camino en su entrada al mundo material. Tengo confianza en que la juventud de nuestra institución sabrá imponerse a la vejez de sus académicos y juntos sabremos dar respuesta cabal y robusta a las exigencias del siglo XXI.

Los posgrados de cbs-Iztapalapa como detonador de la investigación

Las aportaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana han sido de gran importancia para la construcción y fortalecimiento de nuestro país al contribuir al desarrollo de la sociedad y proporcionar a los estudiantes la oportunidad de desarrollar habilidades de pensamiento crítico, además de ayudarlos



Visualización de las interconexiones que produce la transdisciplina, ejercicio diario en la Unidad Cuajimalpa. Crédito: Microsoft Designer y Diego de la Vega.

a comprender mejor el mundo, así como fomentar un sentimiento de pertenencia. La creación de los diferentes posgrados en la División de CBS (Ciencias Biológicas y de la Salud) de la UAM Iztapalapa (UAMI) ha sido clave para el desarrollo y consolidación de la investigación, además de fortalecer nuestra labor docente como profesorado.

En septiembre de 1974, cuando inició labores nuestra Unidad, estaban diseñados los planes y programas de estudio de las licenciaturas que serían impartidas en nuestra División. Ya en ese tiempo se tenía contemplado el tener programas de posgrado. El 17 de septiembre de 1974 se estableció un convenio de colaboración en docencia e investigación entre el Departamento de Biología de la Reproducción de la División de CBS-I y el Departamento de Biología de la Reproducción del entonces llamado Instituto Nacional de la Nutrición (INN), el cual fue firmado por el arquitecto Pedro Ramírez Vázquez, Rector General de la UAM, y el doctor Salvador Zubirán Anchondo, fundador y Director General del INN, con el fin de impartir la maestría en Biología de la Reproducción. Fue así como en enero de 1975 se inició el primer posgrado aprobado en la UAMI, la maestría en Biología de la Reproducción Animal. El convenio permitió que los alumnos realizaran su trabajo experimental en el INN. Los primeros graduados de toda la UAM fueron dos egresadas de esta maestría en 1979.

En 1979 fue aprobada la maestría en Biología Experimental, de la cual soy la primera egresada. Nuestra generación estaba conformada por profesores jóvenes y entusiastas que estábamos adscritos al Departamento de Ciencias de la Salud. Las **UEA (unidades de enseñanza-aprendizaje)** eran impartidas en su mayoría por destacados investigadores de otras instituciones, y sólo algunas por profesores de nuestra División. Los laboratorios de investigación se habilitaron de forma que el trabajo experimental se pudo realizar en las instalaciones de la Unidad, un gran logro que favoreció el desarrollo de la investigación. El doctorado en Biología Experimental fue aprobado en 2001, atendiendo una necesidad de los egresados de la maestría.

Doce años después, en 1991, se aprueba la maestría en Biotecnología; en este momento las condi-

ciones en nuestra División eran totalmente diferentes. Se contaba con profesoras, profesores y líneas de investigación consolidadas, laboratorios habilitados, así como profesorado joven lleno de entusiasmo, que regresaba de su doctorado en el extranjero, por lo que además de contar con un posgrado de gran demanda, se fortaleció la investigación en este campo del conocimiento. En 1997, el doctorado en Biotecnología fue aprobado y fue el primer programa integrado de maestría y doctorado en la División.

En 1994 se aprobó el doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud. Fue elaborado en forma conjunta por las divisiones de Ciencias Biológicas y de la Salud de las Unidades Iztapalapa y Xochimilco, originalmente como doctorado en Ciencias Biológicas. En 2011 se incorporaron al mismo doctorado la División de Ciencias Naturales e Ingeniería de la Unidad Cuajimalpa; más tarde, en 2017, se incorporó la Unidad Lerma. La integración de todas las divisiones de ciencias biológicas en el doctorado ha permitido una mayor integración entre las unidades, además de proyectos en conjunto y optimización de la infraestructura; y, en consecuencia, investigación de calidad.

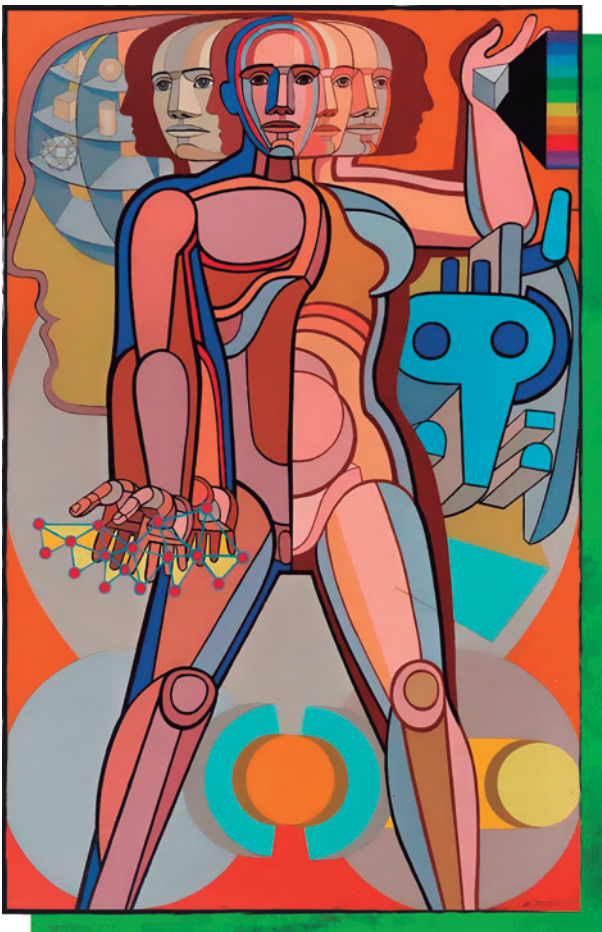
La maestría en Biología se aprobó en 2001, lo cual vino a complementar el abanico de propuestas de posgrado en el área biológica, enfocada en el conocimiento, conservación y uso sustentable de los recursos naturales mexicanos. La colección de mamíferos y el herbario metropolitano, iniciados al comienzo de las labores de la UAM, han apoyado al posgrado, además de que a través del trabajo de investigación de los alumnos se ha incrementado el número de ejemplares en cada uno de ellos.

El posgrado en Energía y Medio Ambiente, nivel maestría y doctorado, elaborado en forma conjunta por la División de Ciencias Biológicas y de la Salud-I y la División de Ciencias Básicas e Ingeniería-I fue aprobado en 2012. Su objetivo es contribuir al desarrollo de soluciones a los problemas que enfrenta el medio ambiente. Este posgrado ha permitido la integración y el trabajo colaborativo entre las dos divisiones.

Una de las funciones fundamentales de la Universidad, además de la formación de recursos humanos,

UEA

Unidades didácticas de la UAM cuyo objetivo es planificar el proceso de enseñanza y aprendizaje del alumnado, donde se plantea un problema real, así como la carga teórica necesaria para poder actuar y resolver el problema planteado.



Estudio del mural Omnisciencia (1986) de Arnold Belkin, que se encuentra en el edificio S de la UAM Iztapalapa. Crédito: Arnold Belkin y Diego de la Vega.

es propiciar la generación de nuevos conocimientos a través de la investigación. Mediante la investigación el proceso de aprendizaje se vitaliza y los posgrados han sido el detonador de una mayor investigación, en cantidad y de calidad, en nuestra institución, lo que nos ha permitido contar actualmente con 138 miembros del profesorado reconocidos por el Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores: nueve candidatos, 81 de nivel I, 33 de nivel II y 15 de nivel III, siete de los cuales son investigadores eméritos.

La ciencia requiere un sistema educativo de calidad, con el cual contamos en la UAM. Debemos estar abiertos a la actualización de las estructuras curriculares y a la apertura de nuevas áreas de conocimiento con el fin de seguir creciendo como universidad y para impartir posgrados pertinentes.

■ **Lerma, una unidad biodiversa**

■ La Unidad Lerma de la UAM se asienta sobre lo que fuera parte de un gran lago, donde se establecieron los pueblos matlazinca, mazahua y otomí. Este pasado lacustre es parte de la identidad de la Unidad, que reconoce la recuperación de los humedales como parte de su responsabilidad intrínseca.

El Gobierno Federal ofreció a la UAM 25 hectáreas de terreno agrícola en el Municipio de Lerma, Estado de México, para establecer una unidad universitaria. En mayo del 2009, por iniciativa del Rector General, doctor José Lema Labadie, el Colegio Académico aprobó la creación de la Unidad Lerma, con lo cual se convirtió en la primera fuera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, para ofrecer un espacio al creciente número de aspirantes, muchos de los cuales provenían del Estado de México. Las divisiones aprobadas para conformar la nueva unidad fueron: Ciencias Básicas e Ingeniería (CBI), Ciencias Biológicas y de la Salud (CBS), y Ciencias Sociales y Humanidades (CSH). El doctor Francisco F. Pedroche fue elegido como primer rector y junto a la primera y los primeros directores de división adaptaron e implementaron el modelo educativo de la unidad, creado por la Comisión Lerma, el cual está basado en cinco ejes rectores: transdisciplina, sustentabilidad, innovación, tecnología y tradición social UAM.

Aunque las unidades de enseñanza-aprendizaje (UEA) iniciales estaban organizadas en módulos, los programas de estudio de las divisiones de CBS y CBI se modificaron para atender el rezago en los alumnos, manteniendo los ejes integradores del conocimiento desarrollados en las UEA del trimestre impartidas por equipos de profesores. Otro aspecto del modelo Lerma los constituyen las UEA optativas interdivisionales, así como un innovador trimestre interdisciplinario obligatorio, los cuales han generado un acercamiento y colaboración entre alumnos de las tres divisiones que el alumnado considera una de las fortalezas de su formación.

La sustentabilidad de una construcción monumental de concreto encima del suelo orgánico profundo, característico de los humedales, ha representado un reto difícil, pero desde la fundación de la

Unidad, los terrenos agrícolas en que se localiza han sido colonizados por árboles de capulín y por álamos, que a su vez han dado alimento y refugio a decenas de especies de aves y a algunos mamíferos que han encontrado en las áreas no desarrolladas de la Unidad un refugio urbano de biodiversidad. Hoy, como parte del Acuerdo 02/23 del rector de la Unidad, doctor Gabriel Soto Cortés, se establece un apoyo para el desarrollo del proyecto “La UAM Lerma, patrimonio de humedales, de flora, fauna, arte y cultura”, en función del cual los profesores de las tres divisiones y alumnos de distintas carreras colaboramos en un esfuerzo común para conocer, conservar y aprovechar el espacio natural de la Unidad con nuestros distintos saberes y experiencias, guiados por una perspectiva interdisciplinaria.

Tres lustros son pocos para consolidar una Unidad; ésta continúa su proceso de definición e integración en el contexto socioambiental en el que se encuentra. La incorporación de nuevos profesores y

profesoras a la aún reducida planta académica y la construcción y puesta en marcha de la infraestructura para investigación, docencia y vinculación dictarán en parte la dirección que tome su desarrollo.

Los doctorados en Ciencias de la División de CBI-Iztapalapa

En septiembre de 1974, la Unidad Iztapalapa abrió sus puertas a la primera generación de estudiantes. En los primeros años el profesorado se dedicó íntegramente a diseñar e impartir los contenidos de los cursos plasmados en los planes de estudio de las licenciaturas. La investigación tuvo que esperar, pues, salvo los investigadores teóricos que no requerían de computadoras o laboratorios, el resto no contaba con la infraestructura necesaria para llevar a cabo sus proyectos. Completar el programa de construcción de aulas, laboratorios de docencia e investigación y cubículos para los profesores le tomó a la Unidad una década.



Vista panorámica de la UAM Lerma, en cohabitación con los humedales de la zona. Crédito: Rurik List Sánchez.

En buena parte de los departamentos de Ciencias Básicas e Ingeniería (CBI), el personal académico se componía de un pequeño grupo de doctores, un grupo más amplio de maestros en ciencias y un conjunto numeroso de jóvenes con licenciatura. A medida que la docencia se estabilizó y la infraestructura en laboratorios y equipo se incrementó, se acordó fortalecer académicamente la planta del profesorado e impulsar la investigación. De esta manera se comenzaron a aprobar en 1979 algunos programas de maestría, los cuales iniciaron con un puñado de estudiantes, muchos de ellos y ellas profesores o ayudantes del profesorado de la UAM. Cabe señalar que en ese momento eran pocos los programas de posgrado que se ofrecían en el país y la mayoría se concentraban en el Cinvestav y en la UNAM.

En 1982 se presentó a consideración del Colegio Académico, máximo órgano colegiado de la UAM, el primer doctorado de la Universidad: el doctorado en Ciencias de CBI-Iztapalapa. Era un programa orientado a la investigación en el que no había cursos obligatorios ni exámenes generales. Lo importante era trabajar, al menos tres años, en un proyecto doctoral dirigido por un miembro del profesorado de tiempo completo con el grado de doctor y con publicaciones en el tema del proyecto. El primer año el estudiante se familiarizaba con la bibliografía y los antecedentes académicos de su proyecto y, al término del primer año, presentaba a consideración de un jurado tanto los objetivos como los resultados preliminares obtenidos para su evaluación. A esta presentación se le denominó *examen predoctoral*. Al término de los tres años, el estudiante podía solicitar su examen de grado con la entrega de la tesis doctoral, siempre y cuando contara con un artículo aceptado en una revista con arbitraje estricto, en el que se presentaran los resultados obtenidos. El jurado del examen estaba integrado por cinco especialistas en el tema, dos de ellos ajenos a la UAM.

La aprobación del plan de estudios no fue sencilla ya que en ese momento se consideró prematuro, pues había la impresión de que no se contaba con el número de doctores necesario para sostener el programa a largo plazo. Sin embargo, cuando el director de CBI comentó que para entonces ya había 60

doctores en la División, la resistencia desapareció. Este plan de estudios estuvo vigente de 1983 a 2002, periodo en el que se doctoraron 303 personas. El solo hecho de tener un programa de doctorado impulsó la formación de doctoras y doctores en la división y el fortalecimiento de la investigación. Asimismo, incrementó la colaboración entre los departamentos, lo que favoreció la interdisciplina y la integración del profesorado de la División.

En 2002, presionados por el incremento del número de posgrados disciplinarios en el país, el Consejo Divisional de CBI creó el Programa Divisional de Posgrado, el cual incluía cinco posgrados disciplinarios con dos niveles: el primero se componía de la maestría; el segundo, del doctorado, que se iniciaba con la aprobación del examen predoctoral. El doctorado se mantuvo como un programa de investigación. Actualmente, el posgrado divisional de CBI se compone de ocho maestrías y seis doctorados, y de 2005 a 2023 se han graduado 505 personas con doctorado. Todos los programas fueron calificados en su momento como consolidados por el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del Conacyt. En particular, el doctorado en Ciencias Matemáticas se clasificó en la categoría de internacional en 2019. Sin embargo, se pagó un costo con este cambio, pues la interdisciplina en los proyectos doctorales se redujo, al igual que la colaboración entre departamentos.

El siguiente reto para hacerlos más competitivos e innovadores a nivel nacional es flexibilizarlos y fortalecerlos con la incorporación de grupos de investigación afines de toda la Universidad.

■ La línea del tiempo divisional: División de Ciencias y Artes para el Diseño-Azcapotzalco (1974-2024)

■ El cargo y las competencias de director de División en nuestra Universidad está claramente perfilado en el corpus jurídico de la UAM; cada director participa en los tres niveles de cuerpos colegiados y preside el correspondiente Consejo Divisional. Interviene en todos los asuntos de gobierno: el académico-administrativo, el presupuestal, las contrataciones del profesorado y, de manera especial, la oferta de estudios en licenciatura, maestría y doctorado.

Desde 1974 la División de Ciencias y Artes para el Diseño-Azcapotzalco (CyAD) ha tenido 14 gestiones en su Dirección. Las primeras 12 se desarrollaron completas: cuatro años, doce trimestres, lo que hace 48 años y 144 trimestres; la penúltima gestión se interrumpió pues su titular fue designado secretario de la Unidad Azcapotzalco, y la gestión actual fue recientemente designada. Desde entonces se ha ofrecido capacitación para profesionales de la Arquitectura, Diseño Industrial y Diseño de la Comunicación Gráfica, con una planta de profesores proveniente de diversas instituciones educativas y profesionales en los primeros ocho o diez años, hasta que, paulatinamente, se fueron incorporando egresadas y egresados de la propia UAM, casi todos con nivel de licenciatura.

La División tardó veinte años en ofrecer estudios de maestría y doctorado, de 1974 a 1994, por una sencilla razón: no contaba con la cantidad de profesoras y profesores con el grado de maestría y doctorado necesarios para este propósito.

En 1994 (quinta gestión) se propuso el Programa de Posgrado en Diseño, coloquialmente conocido como “Posgrado Paraguas”, que reunía toda la planta académica divisional con grado y diversos enfoques académicos que permitieron agruparlos en seis líneas de investigación: Diseño y Estudios Urbanos, Diseño y Planificación y Conservación de Paisajes y Jardines, Diseño y Desarrollo de Productos, Diseño Bioclimático, Diseño y Visualización de la Información, y Diseño para la Rehabilitación, Recuperación y Conservación del Patrimonio Construido.

El programa estuvo estructuralmente constituido por un coordinador general y un Comité de Posgrado que incluía a los responsables de cada una de las líneas de investigación como cargo honorífico. Se iniciaron las actividades académicas de ingreso y egreso, y años después se modificó. De esta manera, el Posgrado Paraguas contribuyó a mejorar la escolaridad de la División y operó durante 21 años, hasta 2015. Ese año el Colegio Académico aprobó la modificación y autorizó la creación de seis posgrados independientes. Luego de ocho años de operación, 2016-2024, los planes y programas de los posgrados

divisionales requieren adecuaciones y modificaciones, una actividad pertinente para la gestión actual.

Celebramos, pues, los 50 años de actividad académica, docente y de preservación de la cultura de la Universidad.

La sección “Diez lustros y un sueño: la UAM y la quimera de la transdisciplina” fue escrita por el doctor Mario Eugenio José Casanueva López; el apartado titulado “Los posgrados de CBS-Iztapalapa como detonador de la investigación” contó con la redacción de la doctora María Concepción Gutiérrez Ruiz; la sección “Lerma, una unidad biodiversa” es aportación del doctor Rurik List Sánchez; “Los doctorados en Ciencias de la División de CBS-Iztapalapa” es aportación de la doctora Patricia Saavedra Barrera, y “La línea del tiempo divisional: División de Ciencias y Artes para el Diseño-Azcapotzalco (1974-2024)” es de la pluma del doctor Francisco José Santos Zertuche, todas y todos adscritos a la Universidad Autónoma Metropolitana.

Mario Eugenio José Casanueva López

UAM Cuajimalpa.
casa@cua.uam.mx

María Concepción Gutiérrez Ruiz

UAM Iztapalapa.
mcgr@xanum.uam.mx

Rurik List Sánchez

UAM Lerma.
r.list@correo.ler.uam.mx

Patricia Saavedra Barrera

UAM Iztapalapa.
psb@xanum.uam.mx

Francisco José Santos Zertuche

UAM Azcapotzalco.
fjsz@azc.uam.mx

Lectura sugerida

Revista *Siempre* (21 de agosto de 1974), “Universidad Autónoma Metropolitana”, entrevista del periodista Jacobo Zabludovsky al arquitecto Pedro Ramírez Vázquez, Archivo Histórico de la UAM.

Noticias de la Academia Mexicana de Ciencias



Ceremonia de inicio del LXV Año Académico de la AMC

El pasado 21 de agosto se llevó a cabo la ceremonia de inauguración del LXV Año Académico de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC) en el Auditorio Alfonso Caso de la UNAM.

El doctor José Seade Kuri, presidente de la AMC, estuvo acompañado por el doctor Leonardo Lomelí Vanegas, rector de la Universidad Nacional Autónoma de México; el doctor José Antonio de los Reyes Heredia, rector general de la Universidad Autónoma Metropolitana; el doctor Ismael Herrera Revilla, decano de los expresidentes de la AMC; la doctora Julia Carabias Lillo, integrante del Patronato de la AMC; la doctora Gabriela Dutrénit Bielous, coordinadora de la Comisión de Derechos Humanos de la AMC y por la doctora Esther Orozco Orozco, también integrante del Patronato de la AMC.

En el acto se dio la bienvenida a 64 miembros regulares de nuevo ingreso y, de manera especial, al doctor Donald B. Dingwell, investigador de la Universidad de Múnich, Alemania, quien ingresó como miembro de la AMC en 2022.

El rector de la UNAM realizó la declaratoria inaugural del LXV Año Académico de la AMC y expresó: "Que sea un año muy fructífero y que sus actividades se desarrollen con el más alto espíritu académico y científico, en beneficio de la sociedad mexicana".



Gabriela Dutrénit Bielous, Julia Carabias Lillo, José Seade Kuri, Leonardo Lomelí Vanegas, José Antonio de los Reyes Heredia, Ismael Herrera Revilla, Esther Orozco Orozco. Fotografía: José Eduardo González / AMC.

Primer Premio José Adem a la Investigación en Matemáticas

La Academia Mexicana de Ciencias (AMC) y el Instituto de Ciencias Matemáticas de las Américas (IMSA, por sus siglas en inglés), de la Universidad de Miami, EUA, anunciaron, en una ceremonia realizada el pasado 2 de septiembre en el Aula Mayor de El Colegio Nacional, al ganador del Primer Premio José Adem a la Investigación Matemática en México.

El galardonado es el doctor Luis Núñez Betancourt, investigador del Centro de Investigación en Matemáticas (Cimat). Sus investigaciones se centran en el álgebra conmutativa y la geometría algebraica. Junto con sus colaboradores ha resuelto varios problemas que estaban abiertos desde hace años.

Este nuevo premio bienal está diseñado para reconocer y honrar a jóvenes matemáticos o matemáticas, residentes en el



Eusebio Juaristi, presidente en turno de El Colegio Nacional; José Seade Kuri, presidente de la AMC; Yuri Tschinkel, director de la División de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Simons Foundation; Gabriela Araujo, presidenta de la SMM; Ernesto Luperío, Cinvestav; Phillip Griffiths, Institute for Advanced Study, Princeton; Luis Núñez Betancourt, Cimat; Jaqueline Mesquita, presidenta de la Sociedad Brasileña de Matemáticas, y Ludmil Katzarkov, director del Instituto de Matemáticas de las Américas de la Universidad de Miami. Fotografía: José Eduardo González / AMC.



Phillip Griffiths entrega el Premio a Luis Núñez Betancourt. Fotografía: José Eduardo González / AMC.

país, que hayan hecho contribuciones significativas al campo. Se otorga con el apoyo de la Fundación Simons de EUA y la Sociedad Matemática Mexicana (SMM).

El doctor José Adem, quien da nombre al Premio, es un ícono de las matemáticas mexicanas. Hizo contribuciones muy importantes en la topología, una rama de esta área del conocimiento que significa “estudio de los cuerpos”. Fue un miembro distinguido de la AMC y de la SMM, director editorial del *Boletín* de esta última por años, y un personaje central para las relaciones académicas con América del Norte.

Ganadoras de las Becas para Mujeres en la Ciencia L'Oréal-Unesco-AMC 2024

La Academia Mexicana de Ciencias dio a conocer a las cinco ganadoras de las Becas para Mujeres en la Ciencia L'Oréal-Unesco-AMC 2024, reconocimiento instituido en 2007 por L'Oréal-México, la Comisión Mexicana de Cooperación con la Unesco (Conalmex), la Oficina de la Unesco en México y la AMC, para promover la participación de las mujeres en la ciencia.

Las ganadoras, como lo establece la convocatoria, son científicas de nacionalidad mexicana que obtuvieron el grado de doctora en los últimos cinco años y no han cumplido 40 años. Cada beca consiste en el otorgamiento de ciento diez mil pesos (aportados por L'Oréal México), recursos económicos que deberán destinarse a la realización del proyecto presentado.

Las ganadoras de las Becas para Mujeres en la Ciencia L'Oréal-Unesco-AMC 2024 son:

Ciencias exactas

Alma Sarai Hernández Torres
Instituto de Matemáticas
Universidad Nacional Autónoma de México

Ciencias naturales

Brenda Anabel López Ruiz
Jardín Botánico del Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México

Ciencias naturales

Reyna Berenice González González
Instituto de Materiales Avanzados para la Manufactura
Sostenible
Tecnológico de Monterrey

Ciencias naturales

Laura Lucila Gómez Romero
 Instituto Nacional de Medicina Genómica
 Secretaría de Salud

Ingeniería y tecnología

Karla Jimena Vargas Berrones
 Instituto Tecnológico Superior de Rioverde, San Luis Potosí
 Tecnológico Nacional de México

**Premio para Mujeres en la Ciencia
 L'Oréal-Unesco-AMC 2024**

En el año 2021 se instituyó el Premio para Mujeres en la Ciencia L'Oréal-Unesco-AMC, para distinguir la trayectoria de investigadoras consolidadas, con el objeto de apoyar la participación de mujeres en la ciencia. En 2024 se otorgaron tres premios con valor unitario de doscientos mil pesos (aportados por L'Oréal México), en las áreas de ciencias exactas, ciencias naturales e ingeniería y tecnología.

En esta ocasión, para el año 2024, el jurado de la AMC otorgó el Premio a:

Ciencias exactas

Tatiana Klimova Berestneva
 Facultad de Química
 Universidad Nacional Autónoma de México

Ciencias naturales

María Cristina Rodríguez Padilla
 Facultad de Ciencias Biológicas
 Universidad Autónoma de Nuevo León

Ciencia y tecnología

Refugio Rodríguez Vázquez
 Departamento de Biotecnología y Bioingeniería
 Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, IPN

**CITA (Ciencia, Innovación,
 Tecnología y Academia)**

A partir de agosto de 2023, la AMC y el Centro de Ciencias de la Complejidad (C3) de la UNAM dieron inicio a un nuevo

programa de conferencias denominado CITA (Ciencia, Innovación, Tecnología y Academia) con el fin de tener un espacio mensual en el que se reúnan 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 Tagüeña 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 han sido:



- 25 de junio de 2024
 “Dinámica, caos y conjuntos límite: matemáticas visibles”
 José Seade y Aubin Arroyo
 Instituto de Matemáticas, UNAM (Unidad Cuernavaca) y Academia Mexicana de Ciencias
<https://www.youtube.com/live/UKx4401f8E8>
 Al término de la conferencia, se invitó a un panel de especialistas para comentar sobre el tema. Participaron: Laura Ortiz Bobadilla del IM-UNAM y Humberto Carrillo Calvet de la Facultad de Ciencias y el C3, UNAM, con Julia Tagüeña, coordinadora de CITA, como moderadora.



- 27 de agosto de 2024
 “Los futuros de las energías renovables”
 Manuel Martínez
 Instituto de Energías Renovables (IER), UNAM
<https://www.youtube.com/live/FG2H-IHc7-c>
 Asimismo, al término de la conferencia, se invitó a un panel de especialistas para comentar sobre el tema. Participaron: Karla Cedano del IER-UNAM, Rosanety Barrios de Voz Experta, Antonio del Río del IER y el C3, UNAM, y Jorge Musalem de la Comisión Federal de Electricidad, con Julia Tagüeña, coordinadora de CITA, como moderadora.

Charlas con autores de la revista *Ciencia de la AMC*

Continúan las pláticas de autores que, habiendo colaborado en diferentes números de la revista *Ciencia de la AMC*, presentan a través de las redes sociales de la revista aspectos interesantes de sus investigaciones. Las charlas más recientes han sido:

- 13 de agosto de 2024
 “Agua, desigualdad y medio ambiente en México: reflexiones sobre un problema creciente”
 Gilberto Sven Binnqüist

Esthela Irene Sotelo Núñez
 Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco
<https://www.youtube.com/watch?v=y-p9bh-PcEc>

- 20 de agosto de 2024
 “Los enigmáticos cefalópodos y la prevención del cáncer”
 Josafat Marina Ezquerro Brauer
 Universidad de Sonora
<https://www.youtube.com/live/O7VWY1kChLM>
- 27 de agosto de 2024
 “Las neuronas trilingües”
 Rafael Gutiérrez
 Cinvestav
<https://www.youtube.com/live/yVuWCDviZwY>



- 9 de septiembre de 2024
 “¿Qué son los números?”
 Raúl Rojas
 Universidad Libre de Berlín
<https://www.youtube.com/live/2AdwxFfZMcQ>
- 10 de septiembre de 2024
 “El microbioma pulmonar y las enfermedades respiratorias”
 Itzel Elizalde Rodríguez
 Dianareli Hernández
 Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco
 e Instituto Nacional de Medicina Genómica
https://www.youtube.com/watch?v=_mx-cvoErhY



- 24 de septiembre de 2024
"Residuos: gestión, separación, tecnología y oportunidades"
Alethia Vázquez Morillas
Maribel Velasco Pérez
Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco
<https://www.youtube.com/watch?v=6uzekBnudCI>

Programa "Tu mundo con ciencia"

"Tu mundo con ciencia" es un programa de divulgación de la ciencia organizado por la Academia Mexicana de Ciencias (AMC) en colaboración con L'Oréal Group en México, Unesco México y el Instituto de Ciencias Biomédicas de la UNAM.

Su objetivo es acercar el mundo de la investigación a las personas más jóvenes por medio de charlas impartidas por exbecarias ganadoras de las Becas para Mujeres en la Ciencia L'Oréal-Unesco-AMC. Las emisiones son conducidas por las doctoras Aliesha González Arenas del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM y Liliana Quintanar Vera del Cinvestav.

Las pláticas se transmiten los segundos jueves de cada mes por las redes sociales de la AMC. Puede accederse a todas las emisiones en Youtube: <https://bit.ly/TMCClist>
Las conferencias más recientes son:

- 13 de junio de 2024
"Ajo: un aliado contra el infarto cerebral"
Perla Deyanira Maldonado Jiménez



Facultad de Medicina, UNAM
https://www.youtube.com/live/hBx_z4vpRLs

- 22 de agosto de 2024
"Telescopio espacial Webb"
Julieta Fierro
Instituto de Astronomía, UNAM
<https://www.youtube.com/live/nXJ1y6uWkvs>



- 12 de septiembre de 2024
"Redes y enredos para entender el cáncer"
Sandra Lorena Romero Córdoba
Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM
<https://www.youtube.com/live/gC-17FKIA68>

Cabe mencionar que el pasado 22 de agosto se realizó el estreno de la cuarta temporada de "Tu mundo con ciencia". Para esta especial ocasión, el primer episodio se llevó a cabo de manera presencial, en el auditorio Jorge Flores Valdés de Universum, Museo de las Ciencias de la UNAM. La invitada de la emisión fue la doctora Julieta Fierro, investigadora del Instituto de Astronomía de la UNAM, quien dictó la conferencia "Telescopio espacial Webb" ante una audiencia de casi 200 personas.



Liliana Quintanar, Cinvestav; María Emilia Beyer, directora de Universum, Museo de las Ciencias de la UNAM; Telma Gloria Castro Romero, vicepresidenta de la AMC; Aliesha González, Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM; Julieta Fierro, Instituto de Astronomía de la UNAM; Araceli Becerril, L'Oréal México; José Seade Kuri, presidente de la AMC. Fotografía: José Eduardo González / AMC.

Podcast científico y cultural de la Academia Mexicana de Ciencias



La Academia Mexicana de Ciencias impulsa contenidos de actualidad con interesantes pláticas y reflexiones de miembros

de la Academia, así como de distinguidas y distinguidos invitados. La grabación se realiza en las instalaciones de Radio UNAM, con la conducción de Alejandra Galindo y la producción de Edmundo V. Correu. Se puede acceder a los capítulos del podcast en dos plataformas y la distribución está a cargo de Eduardo González y Walter Galván.

YouTube:

<https://www.youtube.com/@AMCciencias/podcasts>

Spotify:

<https://open.spotify.com/show/7zLc28wfByRM8GCnohzwGa>

Los capítulos más recientes han sido:

- "Astronomía en México, eclipse total de Sol, 8 de abril de 2024"
En este episodio tuvimos la oportunidad de conversar con el doctor José Franco, astrofísico mexicano y miembro de la AMC, quien comentó aspectos interesantes de la Astronomía. La plática se realizó en el Instituto de Astronomía de la UNAM, y trató sobre fenómenos astronómicos sucedidos en el siglo XX, como los eclipses de 1919 y 1923, y como preámbulo al acontecimiento del eclipse solar total que tuvo lugar el 8 de abril de 2024.
<https://open.spotify.com/episode/0pbeXFjGR0ceNBiHutSXjj?si=8zloxTfcSamIPKp7iqtgw>
Recomendamos visitar el sitio electrónico de la *Revista Obsidiana*, que el pasado 26 de febrero celebró su primer aniversario: <https://obsidianadigital.mx/no-6-eclipses/>
- "Arte y matemáticas"
En esta oportunidad conversamos con tres invitados con algo en común: el amor por las matemáticas y el arte. El podcast de la Academia Mexicana de Ciencias presenta una charla en la que se habla de lenguaje matemático, matemáticas aplicadas en los procesos artísticos, inspiración y de los proyectos en la vida de Julia Carrillo, Aubin Arroyo y Enrique Barrios. Este episodio fue grabado en el Museo Universitario de Arte Contemporáneo de la UNAM.
<https://youtu.be/fZjRBE-uXKc?si=tKhOoE3nCMhCp9eD>

En nuestro próximo número
de enero-marzo de 2025

Programación fetal: salud y enfermedad

