

ciencia

Revista de la Academia Mexicana de Ciencias

Novedades científicas

¿Qué son los números?

Los enigmáticos cefalópodos
y la prevención del cáncer

Inseminación artificial en bovinos

Obtención de biodiésel a partir
de larvas de una mosca

Memoria inmune,
registro duradero
de batallas vividas

El microbioma pulmonar
y las enfermedades
respiratorias

DESDE LA UAM
Residuos: gestión, separación,
tecnología y oportunidades



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

julio-septiembre 2024 volumen 75 número 3

Desde el Comité Editorial	3
<i>Alonso Fernández Guasti</i>	

Novedades científicas

¿Qué son los números?	6
<i>Raúl Rojas</i>	
Memoria inmune, registro duradero de batallas vividas	12
<i>Fabiola Claudio-Piedras y Jorge Cime-Castillo</i>	
Los enigmáticos cefalópodos y la prevención del cáncer	20
<i>Adriana Isabel Cáñez-Zúñiga y Josafat Marina Ezquerro Brauer</i>	
El microbioma pulmonar y las enfermedades respiratorias	26
<i>Itzel Elizalde Rodríguez, Dianareli Hernández H. y Eugenia Silva-Herzog</i>	
Realidad virtual: un tratamiento novedoso para la enfermedad de Parkinson	34
<i>Enrique Rojas Bustamante y Laura Virginia Adalid Peralta</i>	
El Alzheimer y la agregación de proteínas tóxicas en las neuronas	40
<i>Claudia Lisseth Aguilar Salinas, Emiliano González Vilchis y Laura Virginia Adalid Peralta</i>	
Inseminación artificial en bovinos	48
<i>Cuahutli Miguel Nava Soto, José Henoc Romero Gallegos, Roberto Díaz Carmona y Angélica López Rodríguez</i>	
Hacia un aprovechamiento total del brócoli y el agave	56
<i>Ma. de Lourdes Pérez-Zavala, Uriel E. Barboza-Pérez y José E. Barboza-Corona</i>	
La gestión de residuos después del covid-19	62
<i>Rogelio Ochoa-Barragán, Aurora del Carmen Munguía-López y José María Ponce-Ortega</i>	
Obtención de biodiésel a partir de larvas de una mosca	70
<i>Valeria Caltzontzin-Rabell y Claudia Gutiérrez Antonio</i>	

De actualidad

Las neuronas trilingües	77
<i>Rafael Gutiérrez</i>	

Desde la UAM

Residuos: gestión, separación, tecnología y oportunidades	83
<i>Alethia Vázquez Morillas y Mario Andrés De Leo Winkler, coordinadores</i>	

Desde las redes

Una tormenta de colores	90
¿El tamaño sí importa?	92
Las retractaciones en las ciencias biomédicas	93
<i>José Eduardo González Reyes</i>	

Noticias de la AMC

94



Portada: Pixabay.



Separador: Pixabay.

ciencia, revista de la Academia Mexicana de Ciencias, volumen 75, número 3, correspondiente a julio-septiembre 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
julio-septiembre 2024 volumen 75 número 3

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

Intidriero, S.A. de C.V.

Ilustradora

Ana Viniegra, pp. 7, 21, 27, 35, 36, 41, 57, 71

Pixabay: pp. 4, 17, 18, 24, 25, 31, 38, 39, 44, 49, 54, 60, 61, 63, 64, 66, 68, 75, 89

Shutterstock: pp. 13, 32

Adobe Firefly: pp. 37

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

Desde el Comité Editorial

Estimados lectores:

Muy bienvenidos a este número de la revista *Ciencia*. En él encontrarán una serie de interesantes Novedades científicas. En la primera, “¿Qué son los números?”, se explican diversos intentos para formalizar el concepto de “número”. A pesar de que se trata de una noción intuitiva y milenaria, la axiomatización de los números ha recurrido a la teoría de conjuntos, a la lógica y a la teoría de funciones.

El siguiente texto explica la memoria del sistema inmune. Este sistema permite el reconocimiento de lo propio y su coexistencia, así como el reconocimiento de lo ajeno y su eliminación, con el atributo de generar y mantener una memoria. En particular, habla sobre el sistema inmune de los mosquitos, abriendo un abanico de posibilidades de respuesta ante agentes infecciosos de importancia médica. El conocimiento de este tema contribuye al control de enfermedades transmitidas por mosquitos.

En el artículo “Los enigmáticos cefalópodos y la prevención del cáncer”, entérense de que los cefalópodos son moluscos marinos que causan gran expectación y son portadores de compuestos, como los pigmentos, que podrían impactar positivamente en la salud. Las investigaciones indican que los pigmentos de estos animales actúan como agentes de protección contra el cáncer o quimioprotectores.

Sigan leyendo y descubran que ya está obsoleta la teoría de la “esterilidad pulmonar”. Gracias a la secuenciación molecular, ahora sabemos que existe una compleja comunidad de microorganismos en el tracto respiratorio. La compleja interacción entre estos microorganismos y el hospedero, así como entre los diferentes microorganismos, está vinculada a la respuesta a distintos procesos infecciosos o no infecciosos. Esta interacción podría explicar la evolución positiva o negativa de pacientes con covid-19.

El siguiente par de textos habla sobre enfermedades neurodegenerativas: las enfermedades de Parkinson y de Alzheimer. En el primero se relata cómo la realidad virtual se ha convertido en un tratamiento novedoso para la enfermedad de Parkinson. Esta enfermedad afecta a millones de personas a nivel mundial y se espera que las cifras aumenten en los próximos años. La realidad virtual ya se utiliza para que los pacientes con enfermedad de Parkinson realicen ejercicios, caminen en bandas sin fin o practiquen habilidades; esta tecnología ha demostrado ser eficaz en la rehabilitación. En el segundo texto encuentren las teorías más aceptadas para explicar la enfermedad de Alzheimer. Esta enfermedad neurodegenerativa es causada por el desgaste neuronal debido a los depósitos de proteínas en el cerebro, principalmente la proteína β -amiloide y la proteína tau, las cuales son el principal blanco de los tratamientos actuales que proporcionan un alivio temporal de los síntomas. Desafortunadamente, aún no contamos con medicamentos

que alteren significativamente el curso de la enfermedad. Sin embargo, el artículo ofrece una serie de medidas simples que han mostrado reducir la aparición del Alzheimer.

El trabajo “Inseminación artificial en bovinos” examina cómo la combinación de la ganadería tradicional con las más recientes innovaciones tecnológicas está transformando la producción de ganado vacuno, de modo que pueda asegurarse el suministro de alimentos para las futuras generaciones. A los diferentes métodos de reproducción se les asocian ventajas y desventajas, las cuales deben ser consideradas al momento de decidir cómo fecundar a una hembra.

Todos sabemos que el brócoli y el agave se usan como alimento o en la elaboración de bebidas. Sin embargo, de estas plantas se generan subproductos de donde se pueden extraer compuestos bioactivos. Además, las hojas de agave pueden ser transformadas en textiles, o ensilarlas para generar alimento

animal. Ojalá y este texto sirva de estímulo para que se invierta en el aprovechamiento de los subproductos de brócoli y de las hojas de agave, lo cual generaría un ingreso extra y combatiría la contaminación que provoca desecharlos.

Los siguientes dos artículos se enfocan en la biotecnología de desechos. Uno de los principales problemas de la pandemia de covid-19 fue el aumento en la generación de desechos médicos. Este tipo de residuos representa un riesgo potencial para la salud de los recolectores de basura, el personal sanitario, los pacientes y el público en general. La mejor manera de abordar el problema es mediante la implementación de un parque industrial que minimice el impacto ambiental y social, donde se impulse el reciclaje. En el artículo “La gestión de residuos después del covid-19” se presentan diversas opciones para un manejo óptimo de los residuos médicos. En el siguiente texto “Obtención de biodiésel a partir



de larvas de una mosca” se expone que los residuos orgánicos son una alternativa para la obtención de energía, ya que no se usan como alimento y su producción es constante. Dichos residuos pueden emplearse para el cultivo de la mosca soldado; las larvas de esta mosca tienen una alta eficiencia de conversión, y generan grasas que pueden ser convertidas en biodiésel. Si se manipula la generación de grasas a partir de la alimentación, es posible incrementar una producción de biodiésel que puede ser un sustituto prometedor del diésel fósil.

En el excelente artículo De actualidad descubran que un mismo tipo neuronal se puede comunicar liberando un transmisor químico excitador, uno inhibitorio y, finalmente, puede transmitir señales eléctricas; es decir, puede ser trilingüe. Esta idea va en contra del “dogma” que establecía que las neuronas se comunican entre sí de una sola manera (con un solo lenguaje). Observar que las neuronas pueden usar simultáneamente diferentes medios de comunicación permitió elaborar nuevas hipótesis sobre el funcionamiento de circuitos neuronales. El autor del artículo nos hace observar la importancia de incluir controles experimentales rigurosos, así como tomar en cuenta que una observación no puede descartarse como espuria antes de someterse a una prueba experimental tal que quede claro su origen. De manera importante, nos recuerda que “Tenemos que desechar todo dogma, pues son perniciosos para el avance en el conocimiento”.

El artículo de la UAM (agradecemos a nuestros patrocinadores) también habla de residuos: gestión,

separación, tecnología y oportunidades, y se presenta como un reconocimiento a la investigación que ha recibido el Premio Nacional de Proyectos Exitosos de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos 2023 del Conahcyt. El premio fue entregado para reconocer las buenas prácticas, acciones y alternativas ambientales en el país. El interesante artículo nos presenta acciones concretas para la separación, manejo y reutilización de diferentes tipos de residuos, desde prácticas en la vida cotidiana hasta mejoras tecnológicas que reducen el impacto sobre el medio ambiente. Si bien las nuevas herramientas y tecnologías permiten optimizar procesos, el componente más importante de los sistemas de gestión de residuos es la participación orquestada de los distintos actores. En este sentido, la UAM, además de desarrollar investigación científica y tecnológica, promueve la concientización sobre el consumo responsable, la necesidad de la separación en la fuente y las distintas alternativas de prevención y manejo de residuos.

Por último, la sección Desde las redes nos habla de tres temas muy interesantes: las auroras boreales (“Una tormenta de colores”), la cantidad de material genético incluido en el ADN (“¿El tamaño sí importa?”) y el retiro de artículos científicos ya publicados en el área biológica (“Las retractaciones en las ciencias biomédicas”). No dejen de leerlos.

Espero que disfruten mucho de este número de su revista *Ciencia*.

ALONSO FERNÁNDEZ GUASTI
Director

Raúl Rojas

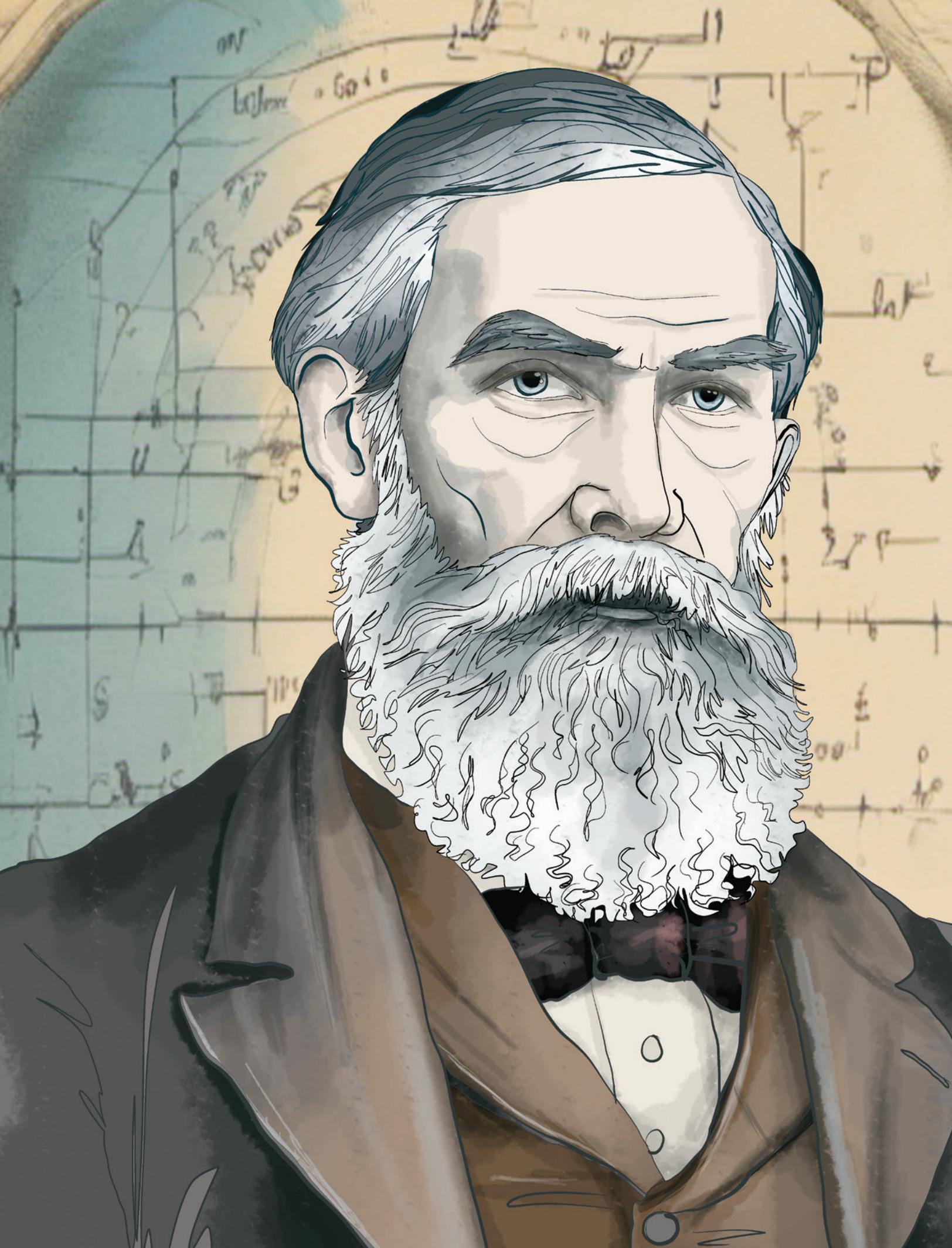
¿Qué son los números?

Este artículo explica diversos intentos que se han dado en las matemáticas para formalizar de manera precisa el concepto de “número”. A pesar de que se trata de una noción intuitiva y milenaria, la axiomatización de los números ha recurrido a la teoría de conjuntos, la lógica y la teoría de funciones. En el texto explicamos las aproximaciones teóricas de Peano, Frege y Russell, así como de Alonzo Church.

El matemático alemán Richard Dedekind publicó en 1888 un ensayo con el enfático título “¿Qué es eso de los números?” (en mi traducción). Podría parecer que, tras milenios de existencia de las matemáticas, tan impertinente pregunta debería haberse resuelto siglos atrás. Sin embargo, no podemos soslayar que las matemáticas han progresado durante extensos periodos, a veces apelando a nuestra intuición, pero sin la capacidad de articular conceptos de manera verdaderamente rigurosa, sino hasta transcurridos muchos años. Fue el caso del cálculo diferencial e integral de Newton y Leibniz, que opera considerando magnitudes en el límite; es decir, cuando se aproximan a cero. A esas magnitudes “infinitamente pequeñas” se les llamó *diferenciales*, lo que en 1734 provocó una diatriba del obispo y filósofo Berkeley, quien tildó a las diferenciales de ser un concepto metafísico, “el espectro de cantidades que se han ido”.

Pues bien, nada parece más intuitivo que los números. Se piensa que ya los neandertales y los primeros *Homo sapiens* llevaban un recuento de los días transcurridos o de los animales cazados haciendo incisiones en huesos que funcionaban como registros auxiliares. Un ejemplar paradigmático sería el “Hueso de Ishango”, hallado en la República del Congo y datado en unos 20 000 años de antigüedad, el cual exhibe marcas paralelas que pueden interpretarse como representaciones numéricas (véase la [Figura 1](#)).

Además, no somos los únicos seres capaces de comparar magnitudes o conjuntos de objetos discretos. En experimentos con roedores se ha logrado adiestrarlos para que reciban una recompensa sólo si oprimen una palanca un número preciso de veces. En el caso de ciertas aves se les ha logrado entrenar para que reconozcan



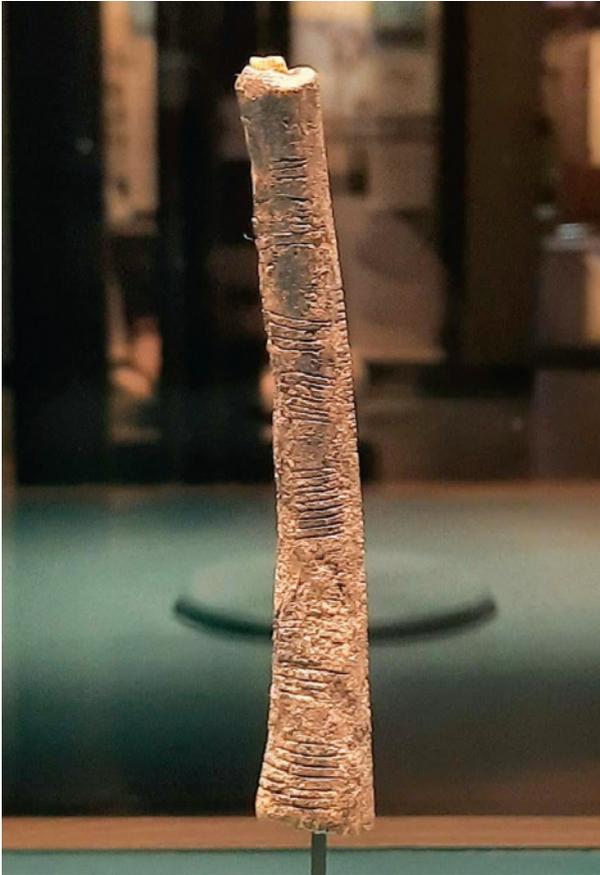


Figura 1. El hueso de Ishango es considerado un posible artefacto matemático que data del Paleolítico. Se exhibe en el Museo de Ciencias Naturales de Bélgica. Crédito: Joey Kentin.

hasta el número cinco. Más sorprendente es que las abejas son capaces de registrar cuando han sobrevolado un cierto número de marcas de colores que les indican dónde encontrar néctar. Los investigadores que descubrieron este fenómeno lo divulgaron bajo el sugestivo título “¿Pueden las abejas contar?”.

Así que nuestro sentido de “numeridad” parece ser innato y por eso la historia de los números es tan antigua. Ya desde la cultura babilónica se comenzó a trabajar con un sistema numérico posicional que facilitaba la suma, la multiplicación e incluso la división. Los matemáticos griegos fueron los primeros en estudiar los números de una manera más rigurosa, tratando de entender cómo es que se les puede descomponer en sus “partes”, lo que ahora denominamos los factores de un número. Para la escuela de los pitagóricos el mundo estaría regido por los números enteros y las leyes naturales podrían explicarse como

proporciones entre ellos; es decir, a través de “armonías numéricas”.

Las matemáticas han sido llamadas la ciencia de los números, pero la cuestión persiste: ¿qué exactamente constituye un número? Como éste, hay muchos otros conceptos en las matemáticas que son intuitivos, pero cuando nos preguntan no son fáciles de precisar. Por ejemplo, Euclides definió un punto como aquello que “no tiene partes ni medida”, y una línea como un objeto que únicamente posee longitud y carece de ancho. Estos enunciados apelan a la intuición geométrica del lector, pero carecen de utilidad para sustentar argumentos lógicos. En el caso de los números, todos sabemos que podemos ir asociando los dedos de la mano con los objetos en una mesa, contándolos. Sin embargo, ofrecer una definición rigurosa de los números se reveló como una tarea ardua, tan compleja que apenas en el siglo XIX surgieron sistemas axiomáticos que permitieron operar con ellos de manera teóricamente rigurosa.

■ Frege y Russell

■ El eminente matemático alemán Gottlob Frege (1848-1925) fue el primero en emprender la ambiciosa misión de reducir toda la matemática a las leyes de la lógica. Entre los enigmas que abordó, destacó la búsqueda de una definición que permitiese caracterizar de manera rigurosa los números enteros positivos, también conocidos como *números naturales* (incluyendo el cero), para deducir sus propiedades y definir sus operaciones de forma precisa. La definición de Frege fue posteriormente retomada por el destacado matemático británico Bertrand Russell, coautor de *Principia Mathematica*, el más audaz intento hasta ahora de formalizar los fundamentos de las matemáticas.

La propuesta de Frege y Russell radica en la idea de que si tengo dos conjuntos y puedo establecer una correspondencia uno a uno entre un elemento del primer conjunto y otro del segundo, sin repetición, entonces afirmamos que ambos conjuntos contienen la misma cantidad de elementos (Frege diría que son *equinumerosos*) (véase la **Figura 2**).

Ahora bien, hay muchos conjuntos de tres elementos. Podemos pensar en tres manzanas, tres

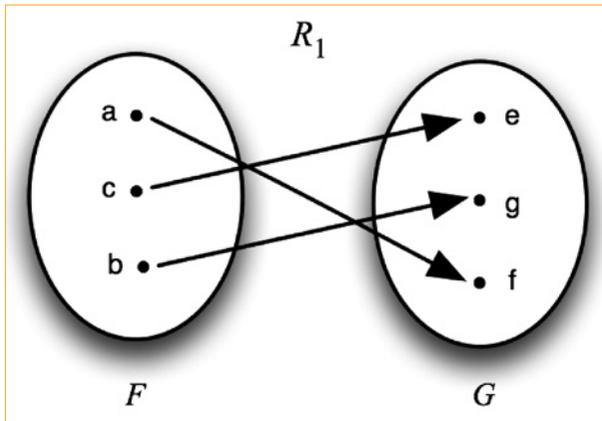


Figura 2. Representación del concepto de Frege de equinumerosidad de dos conjuntos. Tomado de "Frege's Theorem and Foundations for Arithmetic", *Stanford Encyclopedia of Philosophy* [en línea].

esferas, tres zapatos, etc., pero todos ellos son equivalentes porque siempre es posible establecer la correspondencia bidireccional entre sus tres elementos. El conjunto de todos esos conjuntos de tres elementos conforma lo que se llama su "clase de equivalencia". De particular interés para nuestros propósitos es la existencia de una clase de equivalencia para conjuntos con un elemento, otra para aquellos con dos elementos, y así sucesivamente. Asignamos nombres a estas clases: a la clase de equivalencia de todos los conjuntos con un elemento la llamamos "el uno", a la de conjuntos con dos elementos la denominamos "el dos", y así sucesivamente.

Eso es todo, para comenzar. Si alguien me pregunta qué es el número uno, le respondo: la clase de equivalencia de todos los conjuntos que son equivalentes al conjunto $\{a\}$, el que contiene una sola letra. El dos es la clase de equivalencia de todos los conjuntos que pueden ser puestos en correspondencia uno a uno con el conjunto $\{a,b\}$, simplemente para dar un ejemplo de un conjunto con dos elementos. Y así sucesivamente.

A primera vista, esta definición que representa a los números como clases de equivalencia en las que hemos agrupado todos los conjuntos con igual número de elementos, podría parecer innecesariamente compleja; sin embargo, su gran virtud radica en la capacidad de trascender hacia las operaciones aritméticas. Al preguntarnos cuánto es $1 + 1$, seleccionamos dos conjuntos distintos pertenecientes a

la clase de equivalencia del uno y los combinamos. La unión de dos conjuntos ajenos, de un elemento, inevitablemente resulta en un conjunto con dos elementos. En este contexto, no existe conjunto de dos elementos que no pueda generarse mediante la unión de dos conjuntos ajenos de un elemento. En consecuencia, podemos afirmar que $1 + 1$ es igual a 2. De manera análoga, cualquier otra suma de números se puede interpretar siguiendo este enfoque.

Si se prefiere evitar recurrir a conjuntos empíricos extraídos del mundo de las aplicaciones para representar conjuntos de cero, uno, dos o más elementos, es posible construir conjuntos de varios elementos de manera puramente lógica (como propuso John von Neumann). Para iniciar este proceso, se parte del conjunto vacío que posee cero elementos y se denota como $0 = \emptyset$. Un conjunto con un solo elemento podría ser el conjunto que incluye al conjunto vacío como único elemento, es decir, $1 = \{0\}$. De manera análoga, un conjunto de dos elementos sería $2 = \{0,1\}$, y así sucesivamente.

De esta forma, la definición de número se transforma en un problema de construcción lógica en el contexto de la teoría de conjuntos.

■ Los axiomas de Peano

■ El matemático italiano Giuseppe Peano (1858-1932) planteó una axiomatización alternativa de los números naturales, similar a otra propuesta por Dedekind, aunque la formulación de Peano ganó mayor notoriedad con el tiempo.

Peano comienza por postular que existe un conjunto, el de los números naturales, cuyas propiedades quedan especificadas por cinco axiomas simples pero precisos. Imaginemos \mathbb{N} –el conjunto de los naturales– como un cajón que va a contener a los naturales. Lo que tenemos que hacer es describir el contenido del cajón.

Comenzamos afirmando que *el símbolo 0 es un elemento en el cajón \mathbb{N}* (Axioma 1). Así ya hemos identificado nuestro primer número. No es necesario definir de antemano qué es un número; de hecho, dejamos indefinido este concepto –práctica similar a la que hoy se emplea en geometría, donde se trabaja

con puntos y líneas sin declarar previamente qué son exactamente.

Para seguir describiendo el cajón \mathbb{N} , agregamos que *todo número está asociado a otro número llamado su sucesor* (Axioma 2). Por eso, el 1 está asociado al sucesor de 1, que podemos abreviar con el símbolo 2. El 2 tiene un sucesor que podemos abreviar con el símbolo 3, y así sucesivamente. De esta manera, se forma una secuencia numérica en constante expansión. Es importante destacar que los símbolos seleccionados para representar los números son arbitrarios; podrían ser alfa, beta y gamma en lugar de 1, 2 y 3. Lo crucial es que recordemos cuál número sigue a otro.

No obstante, buscamos evitar que la cadena de los números se cierre como un anillo (lo que sucedería si 0 fuera el sucesor de 4, por ejemplo). Asimismo, tampoco queremos que la cadena regrese a sí misma y forme un bucle, como sería el caso si 2 fuera el sucesor de 3 (dado que 3 es el sucesor de 2). Queremos evitar que la cadena de los números se “enrede”.

Para impedir que se forme un anillo, establecemos entonces que *el 0 no es sucesor de ningún número* (Axioma 3). El cero es el punto de partida de toda la cadena y no tiene predecesores. Con el fin de evitar bucles, demandamos que *dos números distintos no puedan tener el mismo sucesor* (Axioma 4). Dado que 2 ya es el sucesor de 1, no puede ser también el sucesor de 3.

Con estos cuatro principios, en el cajón \mathbb{N} tenemos una secuencia numérica infinita, ya que hemos establecido que cada número tiene un sucesor, y al no permitir su cierre en forma de anillo, ni la formación de bucles, la secuencia debe continuar indefinidamente.

Podría parecer que con estos pocos principios ya hemos incorporado en el cajón todos los enteros positivos y el cero. Pero puesto que es un cajón capaz de contener de todo, hay que poner en claro que únicamente esos enteros positivos y el cero deben estar adentro. Por ejemplo, podríamos imaginar que tenemos la cadena de los números 0, 1, 2, etc.; pero, aparte, un bucle a-b-c-a, que se cierra como anillo. Todos los axiomas se cumplirían: el 0 está en \mathbb{N} , cada número tiene un sucesor, el 0 no es el sucesor de ningún otro número, y los sucesores son únicos.

Para evitar la inclusión de “basura” en forma de anillos —o incluso al final de los naturales—, necesitamos introducir un principio que llamamos *el principio de inducción* (Axioma 5). Éste postula que si una afirmación es válida para el cero, y si la validez de la afirmación se transmite de cualquier número a su sucesor, entonces la afirmación es válida para todos los números en el cajón \mathbb{N} . En otras palabras: si comenzamos con el 0 y vamos pasando de cada número a su sucesor (al 1, al 2, al 3, etc.) debemos recorrer todos los números en el cajón sin que falte ninguno. La presencia de un anillo extra, como el a-b-c-a, no es posible si tenemos el principio de inducción, porque no hay manera de llegar a ese anillo comenzando con el 0 y siguiendo la cadena de sucesores.

Estos cinco principios son los llamados *axiomas de Peano*. Al concepto de número lo dejamos indefinido, inicialmente, y más bien procedemos a construir el conjunto de los números, postulando los cinco axiomas arriba mencionados. Los números naturales son lo que queda en el cajón \mathbb{N} al aplicar los cinco axiomas.

Ésa es la forma en la que operan las matemáticas modernas: se trabaja con objetos que se omiten definir al principio (se les llama “conceptos indefinidos”). Su definición estará dada por un proceso de construcción axiomática que establece las interrelaciones lógicas entre todas las estructuras que se van construyendo. Y así es como creamos los números: de la nada.

■ ■ ■ El cálculo lambda

■ Hay otras maneras de definir los números naturales. Una de ellas tiene que ver con la computación moderna y lo que se llama *transformaciones simbólicas*. Ya vimos arriba que la definición de los números se puede hacer partiendo de la teoría de conjuntos. Una alternativa es considerar a todos los objetos matemáticos como “funciones” aplicadas a otras funciones. El concepto de función es algo que aprendemos en la escuela media superior. Cuando escribimos $f(x) = x + 1$, lo que estamos haciendo es definir una función que le suma 1 a su argumento x . En el cálculo lambda decimos que una función f se aplica a su argumento y lo escribimos como $f(x)$.

En el cálculo lambda los números son funciones. Lo que hacen es tomar una función y su argumento y replicar la aplicación de la función un cierto número de veces, transformando la cadena inicial de símbolos. Por ejemplo, el 1 aplicado a $f a$ produce simplemente $f(a)$. Pero el 2 aplicado a $f a$, produce $f(f(a))$. Lo escribimos como $2(f a) \rightarrow f(f(a))$.

El cálculo lambda, desarrollado por Alonzo Church (1903-1995) en la Universidad de Princeton hace casi un siglo, tiene como objetivo la descripción de cualquier posible computación o transformación lógica de símbolos. Las propias matemáticas pueden concebirse como un proceso gradual de transformación de secuencias de símbolos, donde cada nuevo renglón de una demostración matemática es la transformación del renglón anterior. El cálculo lambda permite describir de manera rigurosa las transformaciones posibles en una computadora y demostrar, además, la imposibilidad de ciertas operaciones. Por ejemplo, no es factible escribir un programa de computadora que pueda analizar cualquier otro programa y determinar si finalizará o no. Tampoco es posible desarrollar un programa de computadora que pueda decidir si cualquier afirmación matemática posible es verdadera o no.

■ Conclusiones

■ Las tres maneras descritas de definir los números naturales no son las únicas que han encontrado los matemáticos. Una vez definidos los números naturales se pasa a definir las operaciones aritméticas y se procede a ensanchar el ámbito de los números; por ejemplo, introduciendo los números negativos. Ya con los números positivos y negativos tenemos todo el conjunto de los enteros. Con estos últimos definimos los llamados racionales, como $1/2$ y $1/3$, que son cocientes de enteros. Y con ayuda de los racionales

y el concepto de límite, se pueden definir los números reales.

El lector puede concebir a los matemáticos como constructores de estructuras abstractas, cuyas interconexiones posibilitan aplicaciones en la vida real y, además, dan origen a nuevas teorías. Es semejante a jugar con bloques de construcción Lego: partimos de elementos muy simples para erigir gradualmente estructuras de gran complejidad y las piezas deben enbonar de manera precisa, siguiendo las leyes de la lógica. Por eso, desde mi perspectiva, es plausible definir las matemáticas como “la ciencia de las estructuras abstractas”. De ahí emana su belleza y su poder teórico, que permite a los matemáticos adentrarse en todas las ramas del conocimiento científico. Ya lo decía Galileo: el libro de la naturaleza está escrito en el lenguaje de las matemáticas.

Prof. Raúl Rojas

Departamento de Matemáticas y Computación.

Universidad Libre de Berlín

rrojasgonzalez@unr.edu

Referencias específicas

- Frege, Gottlob (1879), *Begriffsschrift*, Halle, Lubrecht & Kramer.
- Dedekind, Richard (1888), *Was sind uns was sollen die Zahlen?*, Brunswick, Vieweg.
- Peano, Giuseppe (1889), *Arithmetices principia, nova methodo expósita*, Turín, Bocca.
- Whitehead, Alfred North y Bertrand Russell (1925-1927), *Principia Mathematica*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Church, Alonzo (1941), *The Calculi of Lambda Conversion*, Londres, Princeton University Press.
- Katz, Victor (1998), *A History of Mathematics: An Introduction*, Massachusetts, Addison-Wesley.

Fabiola Claudio-Piedras y Jorge Cime-Castillo

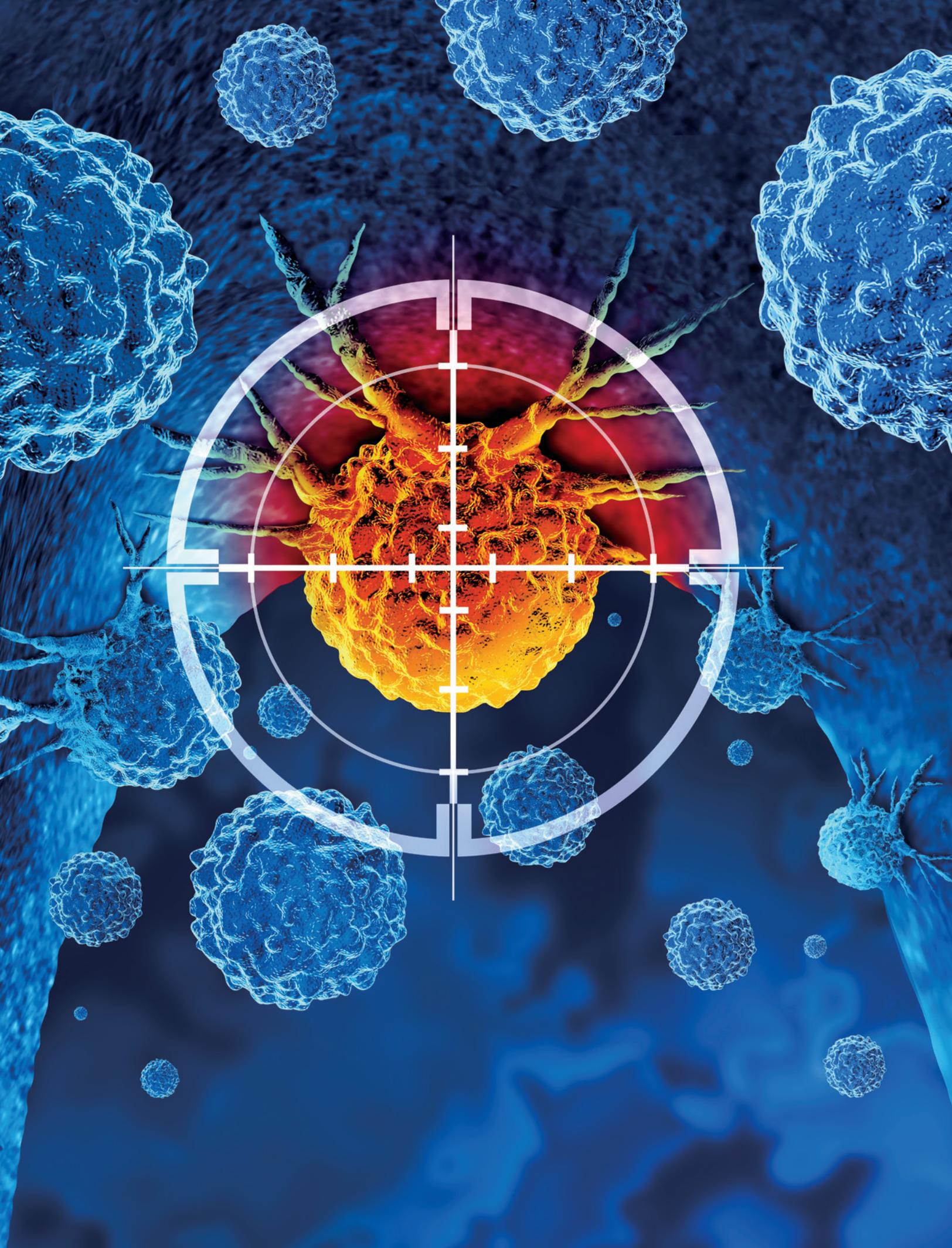
Memoria inmune, registro duradero de batallas vividas

Durante la evolución han surgido sistemas biológicos tan complejos que presentan memoria. Tal es el caso del sistema inmune, el cual a grandes rasgos puede ser dividido en sistema inmune innato y sistema inmune adaptativo. El sistema inmune permite el reconocimiento de *lo propio* y su coexistencia, así como el reconocimiento de *lo extraño* y su eliminación, con el atributo fascinante de generar y mantener una memoria inmune. En este artículo se revisan sus características.

El sistema inmune innato está presente tanto en los organismos más simples como en los humanos y se caracteriza por ser la primera línea de defensa (o la única en organismos más simples) que surge de manera rápida y eficiente, a diferencia de la respuesta inmune adaptativa, la cual carece de la generación de anticuerpos. Recientemente, se ha descrito un fenómeno conocido como *priming inmune* en organismos que carecen de una respuesta inmune adaptativa y se ha comprobado que el sistema inmune innato también guarda memoria ante un segundo encuentro con patógenos. Entre los insectos hay vectores de importancia médica, como los mosquitos, que se enfrentan a patógenos como el virus del dengue o el zika, para lo cual montan un mecanismo de respuesta inmune a través del sistema innato. En estos insectos se ha comprobado la existencia del *priming* inmunológico. Estudiar a los vectores a través de la respuesta inmune es de gran interés debido a que de esta manera se busca controlar las enfermedades que estos mosquitos transmiten. A continuación describiremos brevemente el sistema inmune en términos de la memoria y abordaremos esta respuesta en mosquitos de importancia médica, dada la relevancia de su estudio desde la perspectiva de su respuesta inmune.

El sistema inmune

Para facilitar el estudio y entendimiento del funcionamiento del sistema inmune, se ha buscado distinguir y clasificar los diversos componentes del sistema inmune presente tanto en organismos simples como en los más complejos. En los



organismos superiores el sistema inmune está constituido por órganos, tejidos, células y moléculas cuyo funcionamiento conjunto provee de inmunidad a los organismos. A nivel celular y molecular, los componentes del sistema inmune interactúan promoviendo o inhibiendo sus funciones. Entre los grupos de moléculas del sistema inmune innato destacan, en primer lugar, los receptores de reconocimiento de patrones moleculares (PRR), que permiten el reconocimiento de lo propio y lo no propio. En segundo lugar, las vías de señalización que propagan la señal inducida por el reto al sistema inmune y llevan a la activación de genes o proteínas con funciones efectoras o moduladoras. En tercer lugar, se encuentran los elementos de la respuesta inmunitaria que destruyen o aíslan a los patógenos, incluyendo a sus componentes o productos derivados detectados como ajenos. Por último, están las moléculas moduladoras que promueven o inhiben la respuesta inmune.

Ahora bien, la idea central de la memoria inmune es que constituye una propiedad emergente del sistema inmune; es decir, es el producto de la interacción de los diversos elementos inmunitarios cuyas funciones individuales y simples resultan en su conjunto en una propiedad compleja: la memoria del sistema.

Taxón

Cada uno de los grupos o categorías de la clasificación de los seres vivos.

■ **Somos nuestra memoria**

■ Como lo enunció poéticamente Jorge Luis Borges, somos nuestra memoria, en el sentido de que las experiencias vividas influyen en lo que somos y sus efectos producen cambios que se mantienen y acumulan. Si bien es cierto que el ADN contiene en su secuencia la información de todos los rasgos de cada organismo, debe haber algo más que permita a los organismos seguir en el juego de la vida. Las respuestas de adecuación de cada individuo le permiten sobrevivir o lo conducen a la muerte. En escenarios extremos, o bien lo llevan a la perpetuación de la especie o a la extinción. La disponibilidad de alimento y de pareja, así como las enfermedades causadas por patógenos son ejemplos de factores que empujan al organismo a responder. Dada la importancia de esta *toma de decisiones*, resulta imprescindible la genera-

ción de diversidad de respuestas y la posibilidad de aprender de experiencias previas. Así, el aprendizaje es un rasgo deseado que genera un cambio relativamente permanente en el comportamiento y que marca un aumento en las habilidades. Pues bien, la memoria es el resultado del proceso de aprendizaje y es fundamentalmente asociativa. Más allá de la esfera antropocéntrica, podemos concebir al aprendizaje como los cambios estructurales en un sistema que lo llevan a responder de manera distinta después de haber registrado y mantenido cierta información.

■ **El sistema inmune innato: la prueba del concepto de lo aprendido a gran escala**

■ Como consecuencia del proceso evolutivo, han surgido sistemas que se han mantenido durante millones de años entre cada **taxón** de la rama filogenética; éste es el caso del sistema inmune innato, cuyos mecanismos permiten el reconocimiento de lo propio, de lo extraño y la consecuente eliminación de lo que no es propio. Esta capacidad de discernimiento de lo propio y lo que no lo es representa una ventaja evolutiva para los organismos unicelulares y multicelulares, con cierto énfasis en este último grupo. Esta ventaja reside en la capacidad de detectar elementos extraños y eliminarlos, de reconocer la compatibilidad sexual entre organismos eucariontes y prevenir la depredación de individuos de la misma especie, así como la compatibilidad de los tejidos en los metazoarios. Dicho de otra manera, el reconocimiento de lo propio y de lo extraño es crucial para la sobrevivencia de los organismos ante infecciones, para la coexistencia de tejidos y órganos y, finalmente, contribuye en la especiación de los eucariontes. Desde el punto de vista filogenético, el sistema inmune innato representa, para los organismos que no cuentan con una inmunidad adaptativa, el principal y más ancestral mecanismo de defensa contra patógenos. El conocimiento actual sobre la coevolución del sistema inmune en los insectos, las plantas y los vertebrados, con sus respectivos microorganismos patógenos, ha confirmado su función como elemento de adecuación ambiental y como un importante sistema homeostático de los organismos.

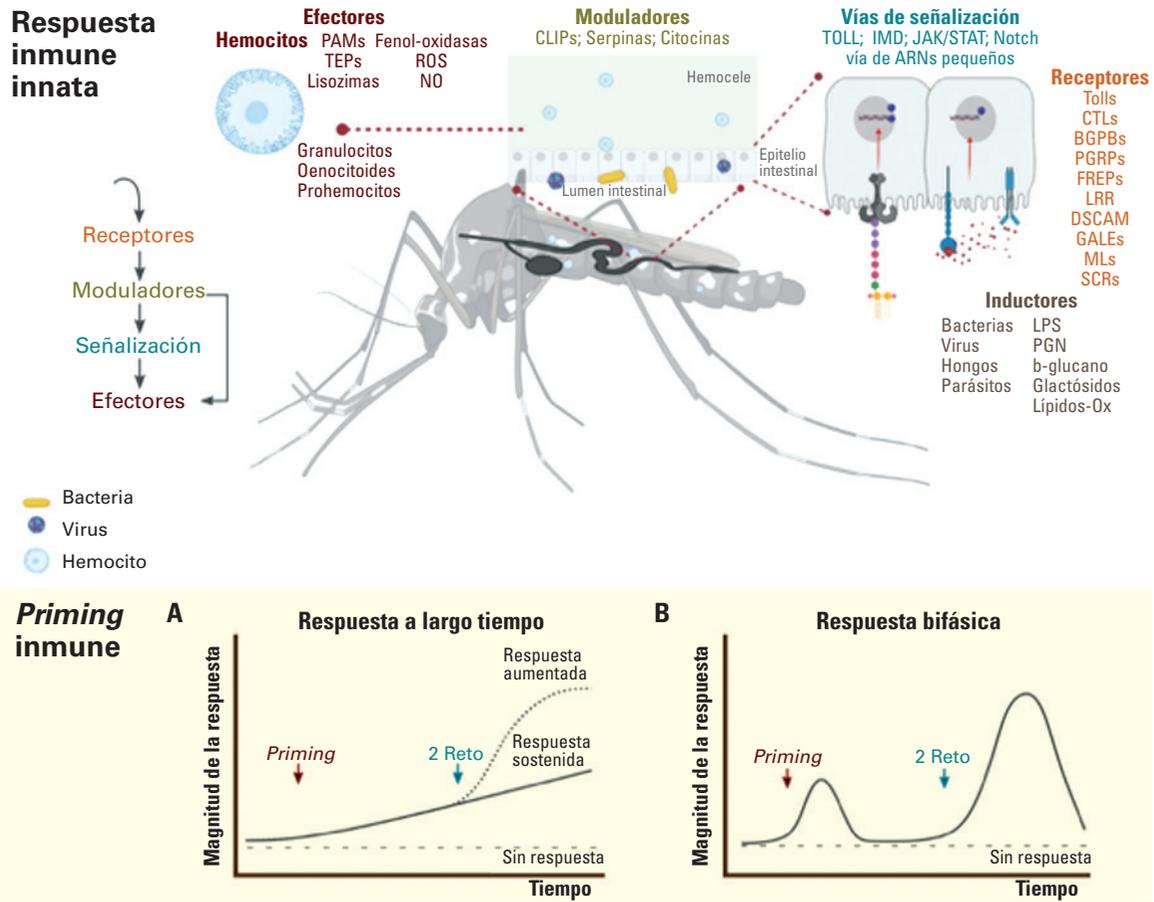


Figura 1. Elementos de la respuesta inmune innata y priming inmune en mosquitos. Dos escenarios de respuesta inmune: A) respuesta sostenida y respuesta aumentada; B) respuesta bifásica.

En los mosquitos –sobresalientes vectores de enfermedades de importancia médica– los principales órganos en donde se desarrolla la respuesta inmune local son: el intestino, las glándulas salivales, el cuerpo gordo y el vaso dorsal; estos dos últimos órganos tienen funciones análogas a las del hígado y el corazón en los mamíferos. A la fecha, el estudio de la respuesta inmune en los mosquitos se ha investigado principalmente en el intestino, y la investigación concerniente a la respuesta inmune de las glándulas salivales progresa rápidamente. Por su parte, la respuesta inmune sistémica se desarrolla en el sistema circulatorio de los insectos, en donde fluyen células circulantes con capacidades fagocíticas (conocidas como **hemocitos**, las cuales son células del sistema inmune que se hallan en el torrente sanguíneo de los insectos, denominado hemolinfa). Los mosquitos poseen tres subpoblaciones de hemocitos:

los granulocitos, que son células altamente fagocíticas (caracterizadas por su capacidad para ingerir partículas extrañas y eliminar ciertos patógenos); los oenocitoides, que producen fenol oxidasa (una enzima inducida por componentes de la pared celular de bacterias y levaduras que culminará en la producción de melanina, un compuesto importante para la encapsulación de patógenos), y los prohemocitos, los cuales tienen la capacidad proliferativa de generar mayor número de células en la respuesta inmune, todos ellos con implicaciones en la defensa del mosquito ante diversos patógenos.

Hemocitos
Células sanguíneas que constituyen una parte esencial de los mecanismos de defensa de los invertebrados.

La respuesta inmune innata y el principio de la inmunidad entrenada

En los insectos, la primera línea de mantenimiento de la homeostasis es la inmunidad constitutiva

Péptidos →
Moléculas formadas por
una cadena de dos o
más aminoácidos.

(integridad de la cutícula y del epitelio intestinal, la microbiota, la secreción de moléculas tipo lisozima, **péptidos** antimicrobianos y la producción fisiológica de especies reactivas de oxígeno). En los mosquitos, las principales vías de entrada de inductores de la respuesta inmune son: la alimentación o las heridas causadas por agentes físicos o microorganismos. Luego de la entrada de un patógeno en el mosquito, puede ser reconocido por los receptores de reconocimiento de patrones (PRR) presentes en las membranas celulares y de este modo desencadenar la respuesta inmune innata. Los PRR reconocen componentes de bacterias tipo Gram negativas y moléculas como los peptidoglicanos, lipopolisacáridos, o azúcares específicos como manosas, que son los inductores más frecuentes, considerados como patrones moleculares asociados a patógenos (PAMP). Asimismo, las lectinas (proteínas que reconocen y selectivamente se unen a estructuras específicas de carbohidratos) también participan en la respuesta inmune de estos insectos.

Después del reconocimiento del inductor, es coordinada la respuesta inmune de los epitelios, la secreción de moléculas antimicrobianas y la respuesta inmune celular mediada por hemocitos. La respuesta inmune local ocurre en el sitio de entrada del agente patógeno o puede ser sistémica en el caso de que el microorganismo invada el **hemocele**. En insectos como los mosquitos, los mecanismos efectores que median la eliminación de microorganismos son la lisis, la melanización (formación de melalina para la encapsulación) y la fagocitosis. Por ejemplo, se ha documentado la agregación de hemocitos y la formación de nodulaciones cuando el inductor de la respuesta inmune es un PAMP o bacterias, y encapsulación melanótica cuando el inductor es un cuerpo extraño de gran tamaño o parásitos, formándose una lámina de melanina que los recubre y produce su muerte por anoxia o por la toxicidad mediada por las especies reactivas de oxígeno (ROS) producidas por el hospedero.

La respuesta inmune innata humoral (caracterizada por la liberación de anticuerpos en organismos con inmunidad adaptativa, o de péptidos antimicrobianos, como el caso de la respuesta inmune innata de los insectos) de los mosquitos consiste en la secreción de moléculas antimicrobianas por parte

de los epitelios intestinal y glandular, así como del cuerpo graso y los hemocitos. La mayoría de estas moléculas son secretadas a la hemolinfa, al tracto gastrointestinal, a los túbulos de Malpighi (el sistema excretor de los insectos) y cerca de la cutícula. Estas moléculas incluyen lisozimas (proteínas con función opsonizante cuya finalidad es reconocer un patógeno para ser fagocitado) y péptidos antimicrobianos (moléculas secretadas a través de la respuesta celular de defensa del organismo contra microbios invasores) como la cecropina, la atacina y defensinas que inducen al colapso de las membranas de los patógenos. Finalmente, la respuesta inmune es regulada por moléculas moduladoras producidas por tejidos y hemocitos, dando lugar al proceso de reparación y cicatrización.

Los hemocitos activados fagocitan microorganismos por medio de factores de adhesión o receptores de la superficie celular que estimulan la extensión de filopodios en los granulocitos. De manera interesante, los hemocitos son capaces de adherirse y extender sus filopodios en condiciones de cultivo; y aún más interesante es el hecho de que estos fenómenos son más rápidos si los hemocitos son previamente expuestos a un patógeno que generó una respuesta inmune en el pasado. En respuesta a su activación, los hemocitos producen diversas proteínas tipo lectinas, secretan péptidos antimicrobianos y lisozimas cuyos efectos llevan a la lisis de los patógenos invasores.

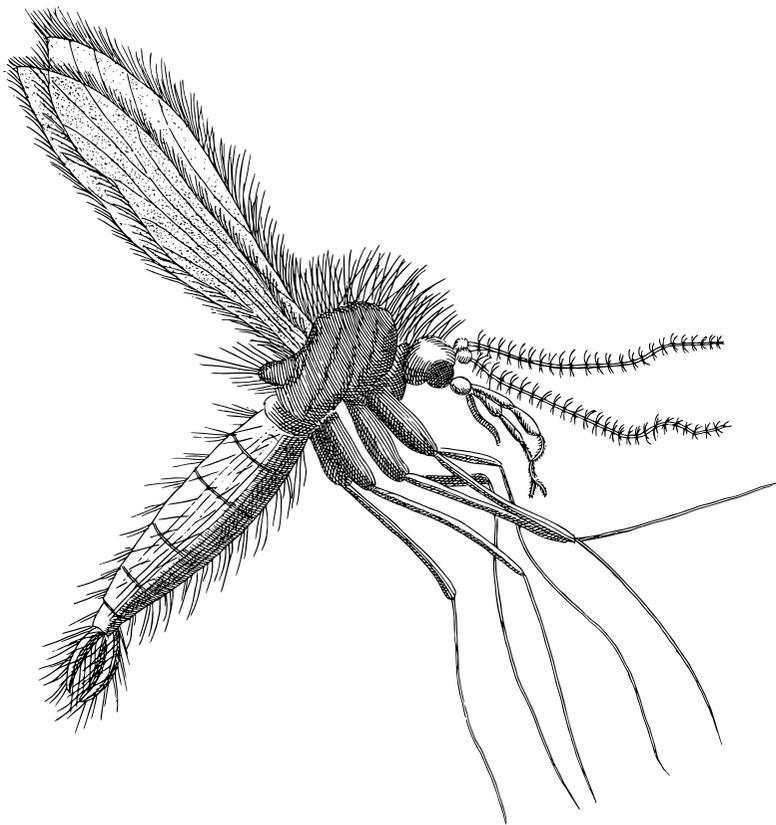
Hasta hace algunos años se pensaba que la respuesta inmune de los insectos se generaba a raíz de un estímulo por contacto con un patógeno y que el efecto era transitorio; no obstante, en la actualidad se sabe que el primer contacto con un patógeno puede generar una respuesta de memoria innata conocida como *priming* inmunológico. A pesar de que el fenómeno de memoria inmune en los insectos no está del todo descrito y no se conocen los mecanismos de generación de este tipo de memoria, hay evidencias de algunos factores provenientes de los hemocitos que juegan un papel importante en el *priming* inmunológico. El descubrimiento de que organismos que carecen de inmunidad adaptativa pueden generar memoria rompe con el paradigma de que esta memoria es exclusiva de los vertebrados.

El *priming* como aprendizaje original

El término *priming* hace referencia a *estar listo* o *instruido por anticipado*. Históricamente, el término *priming* se ha empleado en la neurociencia, la medicina y la psicología como un tipo de aprendizaje primigenio. En el contexto de la inmunidad innata, el *priming* es un tipo de aprendizaje en el que el sistema adquiere una preparación para responder al inductor específico o relacionado, de tal forma que las respuestas subsecuentes son significativamente distintas en términos de rapidez, especificidad, potencia o eficiencia.

El *priming* inmune involucra una respuesta inmune de memoria bifásica: el encuentro con el patógeno desencadena una respuesta inmune que disminuye cuando se resuelve la infección, y aumenta rápidamente si existe un segundo encuentro con el mismo patógeno. En contraste, la respuesta inmune aumentada es aquella respuesta de larga duración que se mantiene durante largo tiempo sin disminuir, y que se exagera cuando ocurre un segundo encuentro con el mismo patógeno. Los estudios sobre el *priming* se han realizado predominantemente en insectos de vida corta, como los mosquitos que





viven en promedio 30 días. En los mosquitos, un efecto de protección de dos a tres semanas podría ser suficiente para mantener un estado de inmunidad que dure toda su vida; no obstante, en insectos con periodos de vida más largos, como los grillos o algunas especies de hormigas, no es suficientemente duradero.

En nuestro laboratorio se ha evaluado el fenómeno del *priming* durante el desarrollo de mosquitos *Aedes aegypti*, el principal vector a nivel mundial de los virus del dengue, zika y chikungunya. Durante este estudio, se retó a larvas de *Aedes aegypti* con bacterias *E. coli* o con virus de dengue inactivo (*priming*) y, posteriormente, un segundo encuentro en estado adulto con bacterias *E. coli* o virus de dengue activo. El resultado mostró una respuesta bifásica de la expresión de péptidos antimicrobianos y de moléculas de la vía antiviral de los mosquitos. Observamos una asociación entre la expresión del péptido antimicrobiano atacina y la especificidad de la respuesta al reto con el mismo patógeno en mosquitos adultos.

Por lo que se refiere al vector de la malaria, *Anopheles albimanus*, un primer reto con *Plasmodium*

berghei en condiciones de temperatura incompatibles con el desarrollo de la infección, resulta en un efecto protector ante un segundo reto en condiciones óptimas de infección; el desarrollo de un menor número de parásitos se correlaciona con la expresión de péptidos antimicrobianos y es independiente de la microbiota del propio mosquito. Tal parece que el *priming* tiene la peculiaridad de generar una respuesta inmediata y aumentada, que también tiene efectos sobre otros microorganismos. Éste es el caso de la invasión intestinal por el parásito *Plasmodium* en el mosquito, en la que el parásito rompe las barreras que normalmente previenen la entrada de la microbiota intestinal y su contacto directo con células epiteliales. Lo anterior induce una respuesta antibacteriana de larga duración caracterizada por un incremento de hemocitos circulantes (granulocitos) que indirectamente reducen la sobrevivencia de parásitos *Plasmodium* en una reinfección. En los mosquitos, la diferenciación de hemocitos parece ser necesaria y suficiente para conferir memoria inmune innata. Este tipo de *respuesta inmune aumentada* también se ha documentado en macrófagos y en células de mosquito en un fenómeno conocido como *inmunidad entrenada*. Estas evidencias sugieren que el proceso de memoria inmune innata en células efectoras puede ser un mecanismo general y evolutivamente conservado. Los mecanismos generalizados, como es el caso de los involucrados en los fenómenos epigenéticos, podrían participar en cambios importantes en los programas de transcripción y la fisiología celular, que no involucran cambios genéticos tales como mutaciones o recombinación. Animales como los mosquitos han conservado genes que codifican para proteínas asociadas a cromatina, enzimas que colocan marcas epigenéticas, así como proteínas lectoras de estas marcas.

Conclusión

Si bien el mecanismo del *priming* inmunológico no ha sido totalmente elucidado, se ha podido documentar que en él participan moléculas de la respuesta inmune humoral con la producción y síntesis de péptidos antimicrobianos, a través de la inmunidad

celular con un incremento de fagocitosis o la inducción aumentada de hemocitos; así como la regulación de las vías del metabolismo implicadas en la síntesis de azúcares, sugiriendo la importancia de variaciones metabólicas en el *priming*. Queda claro que entre los insectos, el *priming* es un fenómeno que conlleva una respuesta inmune mejorada y aumentada ante el segundo encuentro con un patógeno, y que este tipo de “memoria inmune” se conserva desde organismos inferiores, con sus debidas diferencias respecto a la inmunidad adaptativa, pero con éxito en el control de las infecciones.

Profundizar en el sistema inmune de los insectos, incluidos los mosquitos, abre un abanico de posibilidades de respuesta de los propios organismos ante agentes infecciosos de importancia médica, cuyo estudio contribuye no sólo al conocimiento, sino a la posibilidad de inducir una respuesta mejorada en estos organismos y aportar nuevas estrategias para el control de las enfermedades transmitidas por mosquitos vectores, con miras a evitar la propagación de organismos patogénicos. Por ende, la inmunidad de estos vectores cobra relevancia e importancia en el contexto de la salud pública.

Fabiola Claudio-Piedras

Instituto Nacional de Salud Pública.
faabclaudiop@gmail.com

Jorge Cime-Castillo

Instituto Nacional de Salud Pública.
jorge.cime@insp.mx

Lecturas recomendadas

- Elsevier connect (2020), “Tipos de inmunidad adaptativa, la respuesta ‘mutante’ contra la infección” [en línea]. Disponible en: <https://www.elsevier.com/es-es/connect/tipos-de-inmunidad-adaptativa-la-respuesta-mutante-contra-la-infeccion>.
- Jiménez Zamudio, Luis A. (2015), “Breve historia de la inmunología en México”, *Ciencia*, 66(2):10-17.
- Rojas-Espinosa, Óscar (2017), *Inmunología (de memoria)*, cap. 1: Breves antecedentes históricos, México, Editorial Médica Panamericana.
- González Acosta, C., J. Cime Castillo y F. Correa Morales (2020), “Control integrado de vectores en México”, *Ciencia*, 71(1):52-63.
- Dzik, J. M. (2010), “The Ancestry and Cumulative Evolution of Immune Reactions”, *Acta Biochimica Polonica*, 57(4):443-466.
- Farber, D. L., M. G. Netea, A. Radbruch, K. Rajewsky y R. M. Zinkernagel (2016), “Immunological Memory: Lessons from the Past and a Look to the Future”, *Nature Reviews Immunology*, 16(2):124-128.
- Masri, L. y S. Cremer (2014), “Individual and Social Immunisation in Insects”, *Trends in Immunology*, 35(10):471-482.

Adriana Isabel Cáñez-Zúñiga y Josafat Marina Ezquerro Brauer

Los enigmáticos cefalópodos y la prevención del cáncer

Los cefalópodos son moluscos marinos que causan gran expectación y son portadores de compuestos, como los pigmentos, que podrían impactar positivamente en la salud de los seres vivos. Las investigaciones de los pigmentos de estos organismos indican que actúan como agentes de protección, debido a sus moléculas como alternativa para el desarrollo de agentes quimioprotectores.

¿Por qué hablar de los cefalópodos?

Los mares son lugares intrigantes y bellos, por lo que desde épocas remotas resultan atractivos para los seres humanos; sus colores, olores y sonido han servido de inspiración para numerosas obras artísticas.

Dentro del grupo de los animales marinos, los cefalópodos han causado expectación y admiración. Estos organismos han sido y siguen siendo protagonistas de obras literarias y leyendas, además de que se consideran animales inteligentes.

Los cefalópodos son organismos que tienen los pies en la cabeza. Son invertebrados marinos que pertenecen al filo de los moluscos, aparecieron hace más de 500 millones de años y están ampliamente distribuidos en diferentes ambientes marinos. Los cefalópodos incluyen a los pulpos, los calamares y las sepias (véase la **Figura 1**).

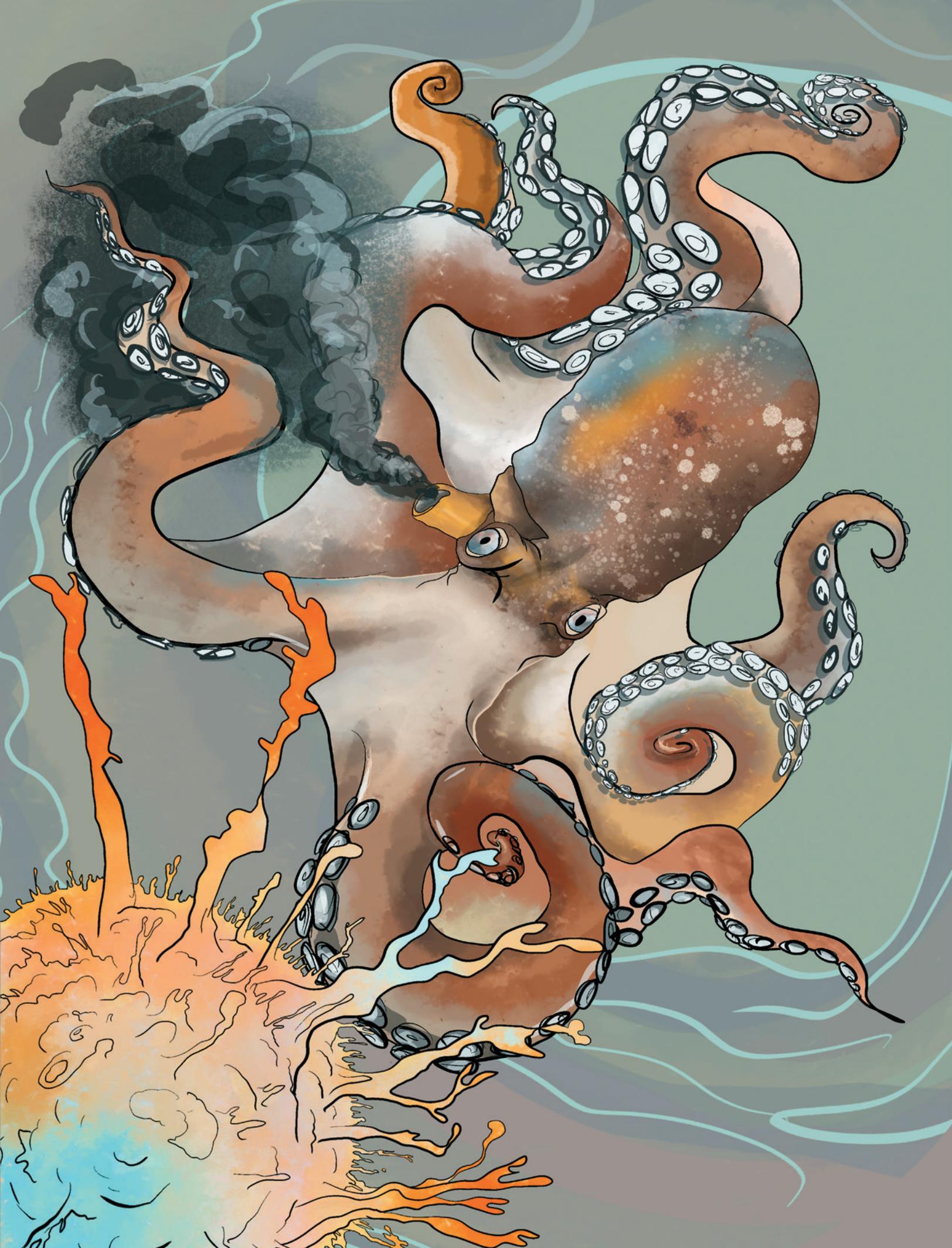
Los cefalópodos se caracterizan por poseer una extraordinaria capacidad para protegerse. La forma mediante la cual se defienden es muy variada, depende de la especie y del hábitat, y puede consistir desde en movimientos de propulsión a chorro con el fin de escapar, hasta **cripsis** para pasar inadvertidos, o bien en la expulsión de una tinta para ocultarse (Lauritano e Ianora, 2020).

Cripsis

Fenómeno por el que un ser vivo presenta adaptaciones que le hacen pasar desapercibido a los sentidos de otros.

¿Por qué abordar el tema del cáncer en relación con los cefalópodos?

El organismo de los seres humanos es sumamente susceptible a sufrir alteraciones. Entre las razones de la aparición de alteraciones se encuentra la presencia de sustancias conocidas como mutágenos, que son agentes físicos, químicos y



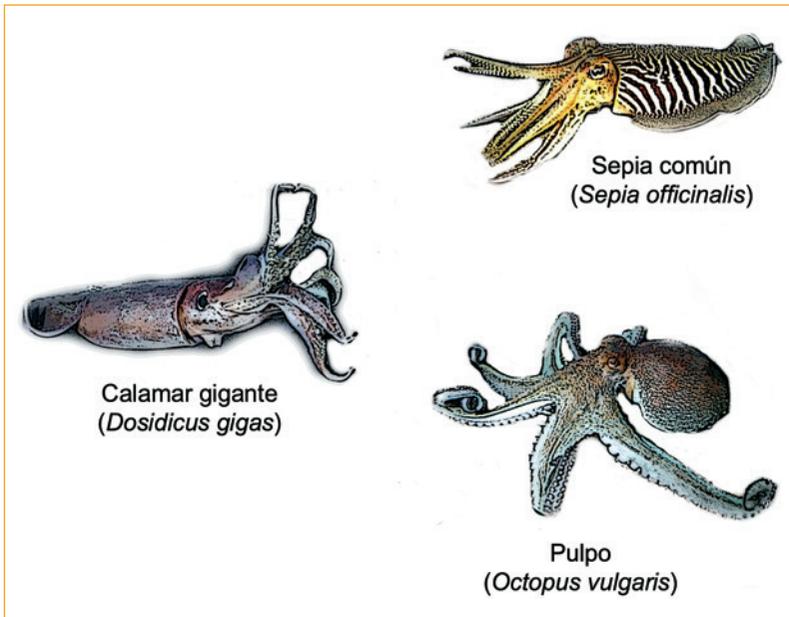


Figura 1. Imagen de calamar gigante (*Dosidicus gigas*), pulpo común (*Octopus vulgaris*) y sepia común (*Sepia officinalis*).

biológicos que tienen la capacidad de cambiar el código genético de manera perjudicial. Los mutágenos pueden iniciar y promover el desarrollo de enfermedades en el ser humano; entre las más comunes está el cáncer (Schrader, 2003).

El cáncer es una de las principales causas de muerte a nivel mundial; sin embargo, se puede prevenir (OMS, 2021). Por ello hay una búsqueda constante de compuestos que posean la capacidad de prevenir las mutaciones. A los compuestos químicos que ayudan a reducir los efectos mutagénicos de agentes físicos o químicos se les conoce como antimutágenos (Schrader, 2003). Dentro de las plantas y animales que han despertado gran interés como fuentes de agentes antimutagénicos se encuentran precisamente algunos provenientes de los cauces marinos, ya sea del denominado lecho marino (fondo del mar) o de las aguas costeras o columnas de agua (Manivasagana y cols., 2018).

Ahora bien, ¿por qué los organismos marinos pueden desarrollar compuestos químicos con actividades antimutagénicas? Los organismos marinos están expuestos a una gran cantidad de agentes “adversos”, tales como los cambios de temperatura, salinidad, oxígeno y la presencia de potenciales

depredadores; de modo que para poder sobrevivir a esos cambios, han desarrollado diferentes formas de adaptación y defensa (Lauritano e Ianora, 2020), en las que, a través de sus diferentes rutas metabólicas, producen una serie de compuestos químicos, entre los que han llamado la atención los pigmentos que desprenden (Manivasagan y cols., 2018).

Los pigmentos de origen marino presentes en el pulpo y el calamar, por las características de sus estructuras químicas, tienen la capacidad de actuar como agentes antioxidantes, antimutagénicos y antiproliferativos (Chan-Higuera y cols., 2019a y 2019b; Hernández-Zazueta y cols., 2021).

¿Cómo producen la tinta los cefalópodos?

La tinta de los cefalópodos es una sustancia viscosa que no posee color, pero que contiene partículas de un pigmento de color oscuro, la melanina, conjugada con proteínas, y que se produce mediante una serie de mecanismos químicos y sensoriales de estos moluscos marinos (Derby, 2014). Se ha reportado que el sistema de producción de la tinta en calamares y sepias está conformado por dos grandes regiones (véase la **Figura 2**). La primera gran zona es la glándula de la tinta, en la cual se localiza el saco de ésta y constituye la región anatómica de estos invertebrados marinos que más se ha estudiado. En esta glándula se produce un líquido oscuro que contiene melanina y otros componentes químicos. La segunda parte del sistema está compuesta por un órgano conductor en forma de embudo, que contribuye en la secreción de la tinta y se conoce como glándula mucosa u órgano embudo (Derby, 2014).

¿Cómo cambian de color los cefalópodos?

Los cefalópodos tienen la capacidad de mostrar diferentes coloraciones y esto lo logran mediante una serie de movimientos de músculos y órganos pigmentarios especializados, llamados cromatóforos, iridióforos y leucóforos (véase la **Figura 3**). El mecanismo que estos organismos utilizan para expresar esa coloración dinámica para el camuflaje o la comunicación depende de la profundidad del agua en donde

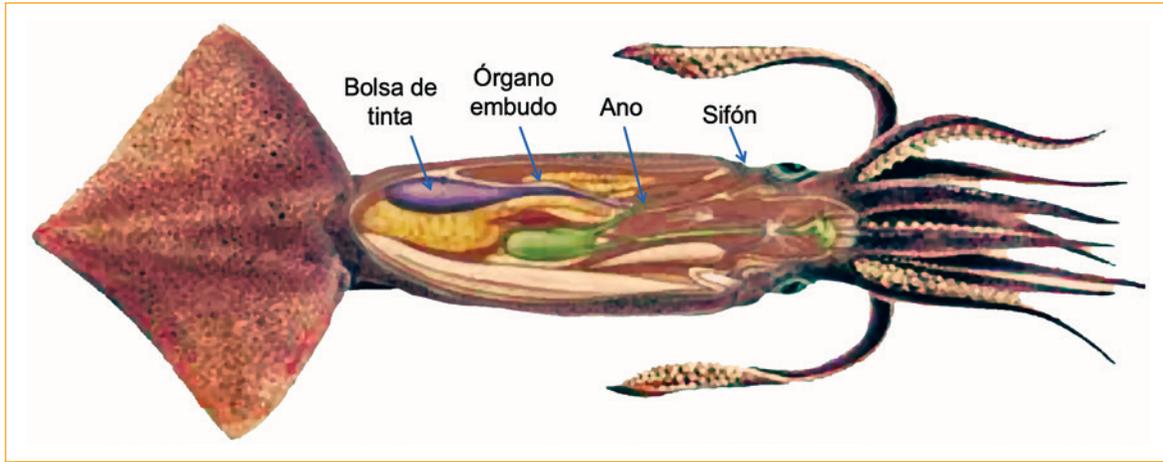


Figura 2. Anatomía interna de un calamar.

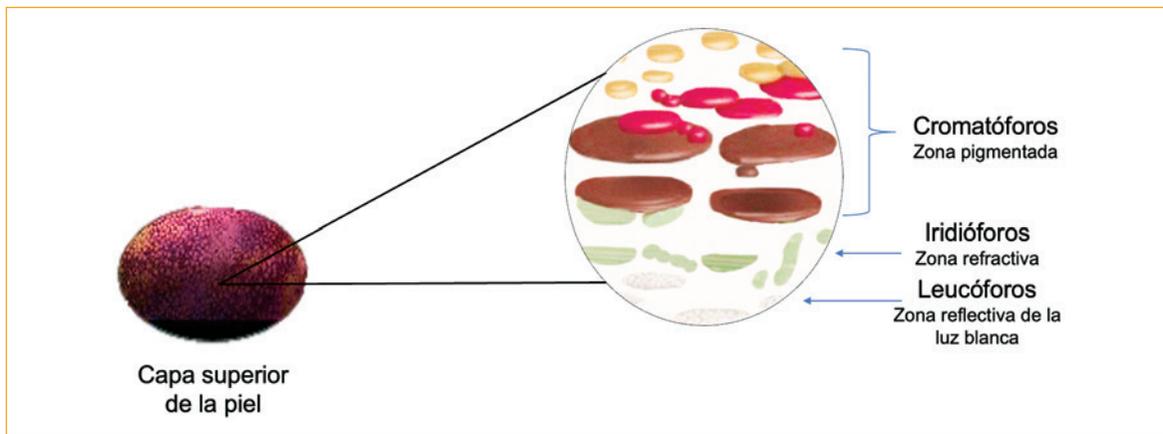


Figura 3. Coloración de la piel de cefalópodos: capa superior y esquema de las unidades ópticas en el manto dorsal.

habitan. Aquellos que viven en aguas poco profundas cambian sus patrones de coloración a través de los cromatóforos, mientras que los que se localizan en aguas más profundas lo hacen mediante unos órganos que emiten luz llamados fotóforos (Cloney y Brocco, 1983).

Los cromatóforos son un filtro de color que se expande, mientras que los iridióforos son reflectores y los leucóforos reflejan una luz blanca. Se ha establecido que los iridióforos y leucóforos producen color mediante coloración estructural y los cromatóforos son órganos pigmentarios. Los cromatóforos se observan como pequeños parches o puntos debajo de la piel y contienen en su interior pigmentos rojos (eritróforos), amarillos (xantóforos) y marrón-negros

(melanóforos) (Cloney y Brocco, 1983). Los análisis realizados en torno a los cromatóforos presentes en la piel de los cefalópodos indican que éstos pertenecen a un grupo de compuestos químicos conocidos como omocromos (Chan-Higuera y cols., 2019b).

Los pigmentos de los cefalópodos como agentes quimiopreventivos

Los pigmentos de origen marino, como ya se mencionó, están emergiendo como una alternativa importante para la prevención de algunas enfermedades crónico-degenerativas. Acorde a las investigaciones realizadas, los principales pigmentos presentes en los animales marinos son pigmentos nitrogenados,

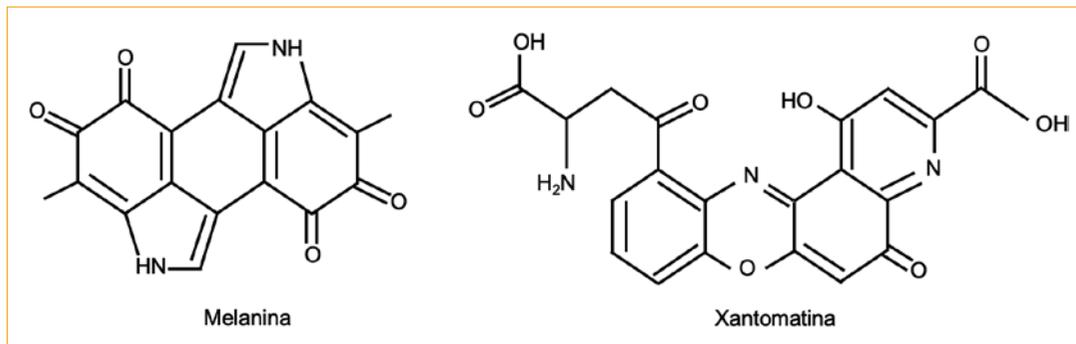


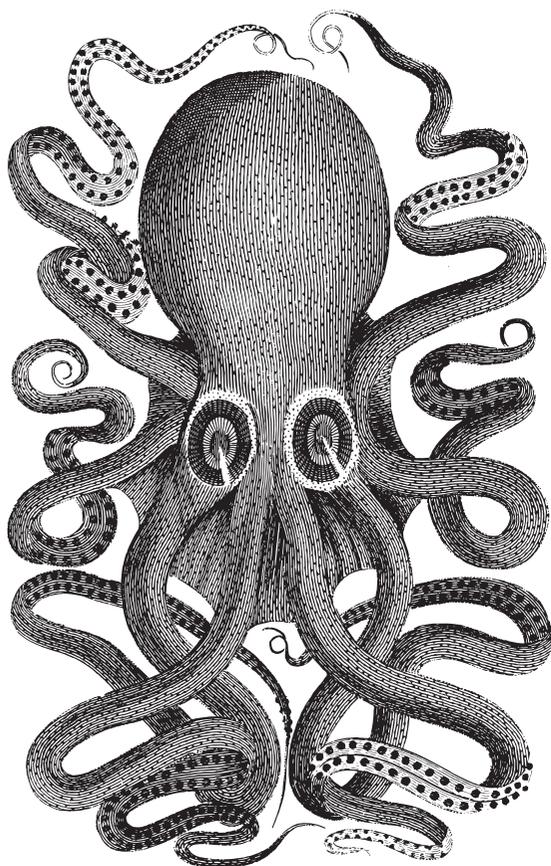
Figura 4. Estructura química de una molécula de melanina y de un omocromo.

como la melanina y los omocromos (véase la **Figura 4**), y ambos presentan una amplia gama de bioactividades, entre las que destacan las antioxidantes, antimicrobianas y antimutagénicas.

La tinta de los cefalópodos se ha usado en las culturas orientales tradicionales como parte de la medicina homeopática para el tratamiento de diferentes problemas de salud, como los desbalances hormonales, infecciones urinarias, gonorrea (Derby,

2014). Las evidencias existentes indican que algunas dinastías chinas, como la Ming, emplearon la tinta de la sepia para tratar problemas del corazón (Derby, 2014). Recientemente, Hernández-Zazueta y cols. (2021) reportaron que los principales compuestos presentes en la tinta del pulpo que actúan como agentes antiproliferativos sobre células humanas cancerígenas –del tipo colorrectal (HT-29 y HCT116) y de mamá (MDA-MB-231)– son el ácido hexadecanoico y la 1-(15-metil-1-oxohexadecil)-pirrolidina; además reportaron que dichas fracciones no presentaban un efecto citotóxico.

La actividad antimutagénica de otro grupo de pigmentos identificados en los cefalópodos, los omocromos, ha sido muy poco estudiada. Chan-Higuera y cols. (2019a) detectaron que extractos pigmentados de la piel de calamar gigante –identificados como xantomatina y dihidroxantomatina (Chan-Higuera y cols., 2019b)– pueden reducir la mutación inducida por una toxina común como es la aflatoxina B₁ en bacterias como la *Salmonella typhimurium*. El mecanismo mutagénico de la aflatoxina está mediado por la producción de radicales libres, por lo que se ha sugerido que los omocromos presentes en los cefalópodos pueden prevenir la formación de radicales y la mutación inducida por la aflatoxina (Chan-Higuera y cols., 2019a).



■ **Conclusión**

■ Los cefalópodos son capaces de producir compuestos pigmentarios en cantidades elevadas, como una manera de defenderse en el ambiente marino de



situaciones adversas a las que se enfrentan en su vida. Hoy día existen diversos estudios que muestran que estos organismos representan una fuente de nuevas moléculas potencialmente eficientes para el tratamiento de padecimientos como el cáncer. Los estudios indican que en la tinta del pulpo se encuentran una serie de compuestos químicos capaces de prevenir el desarrollo de algunas células cancerígenas. Asimismo, se ha detectado que la piel del calamar puede ser fuente de otros compuestos químicos pigmentados, los omocromos, que son capaces de reducir la mutación inducida por la aflatoxina. Así pues, las bioactividades hasta ahora detectadas en algunas moléculas aisladas de los cefalópodos representan un área importante de investigación y en un futuro una oportunidad de desarrollo económico.

Adriana Isabel Cáñez-Zúñiga

Maestría en Ciencias y Tecnología de Alimentos,
Universidad de Sonora.
adrianaacanez00@gmail.com.

Josafat Marina Ezquerro Brauer

Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos,
Universidad de Sonora.
josafat.ezquerro@unison.mx.

Lecturas recomendadas

- Chan-Higuera, J. E., A. A. Carbonell-Barrachina, J. L. Cárdenas-López, M. Kačániová, A. Burgos-Hernández y J. M. Ezquerro-Brauer (2019a), "Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) skin pigments: Chemical analysis and evaluation of antimicrobial and antimutagenic potential", *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Science*, 9(2):349-353.
- Chan-Higuera, J. E., H. C. Santacruz-Ortega, A. A. Carbonell-Barrachina, A. Burgos-Hernández, R. M. Robles-Sánchez *et al.* (2019b), "Xanthommatin is behind the antioxidant activity of the skin of *Dosidicus gigas*", *Molecules*, 24(19):3420.
- Cloney, R. A. y S. L. Brocco (1983), "Chromatophore Organs, Reflector Cells, Iridocytes and Leucophores in Cephalopods", *American Zoologist*, 23(3):581-592.
- Derby, C. D. (2014), "Cephalopod Ink: Production, chemistry, functions and applications", *Marine Drugs*, 12(5):2700-2730.
- Hernández-Zazueta, M. S., J. S. García-Romo, L. Noguera-Artiaga, I. Luzardo-Ocampo, A. A. Carbonell-Barrachina *et al.* (2021), "Octopus *vulgaris* ink extracts exhibit antioxidant, antimutagenic, cytoprotective, antiproliferative, and proapoptotic effects in selected human cancer cell lines", *Journal of Food Science*, 86(2):587-601.
- Lauritano, C. y A. Ianora (2020), "Chemical defense in marine organisms", *Marine Drugs*, 18(10): 518.
- Manivasagan, P., S. Bharathiraja, M. S. Moorthy, S. Mondal, H. Seo, K. D. Lee y J. Oh (2018), "Marine natural pigments as potential sources for therapeutic applications", *Critical Reviews in Biotechnology*, 38(5):745-761.
- OMS (2021), *Cáncer*, Organización Mundial de la Salud. Disponible en: <<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cancer>>, consultado el 6 de mayo de 2024.
- Schrader, T. J. (2003), "Mutagens", en *The Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 2.^a ed., B. Caballero (ed.), Academic Press, Baltimore, pp 4059-4067. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00817-8>>, consultado el 6 de mayo de 2024.

El microbioma pulmonar y las enfermedades respiratorias

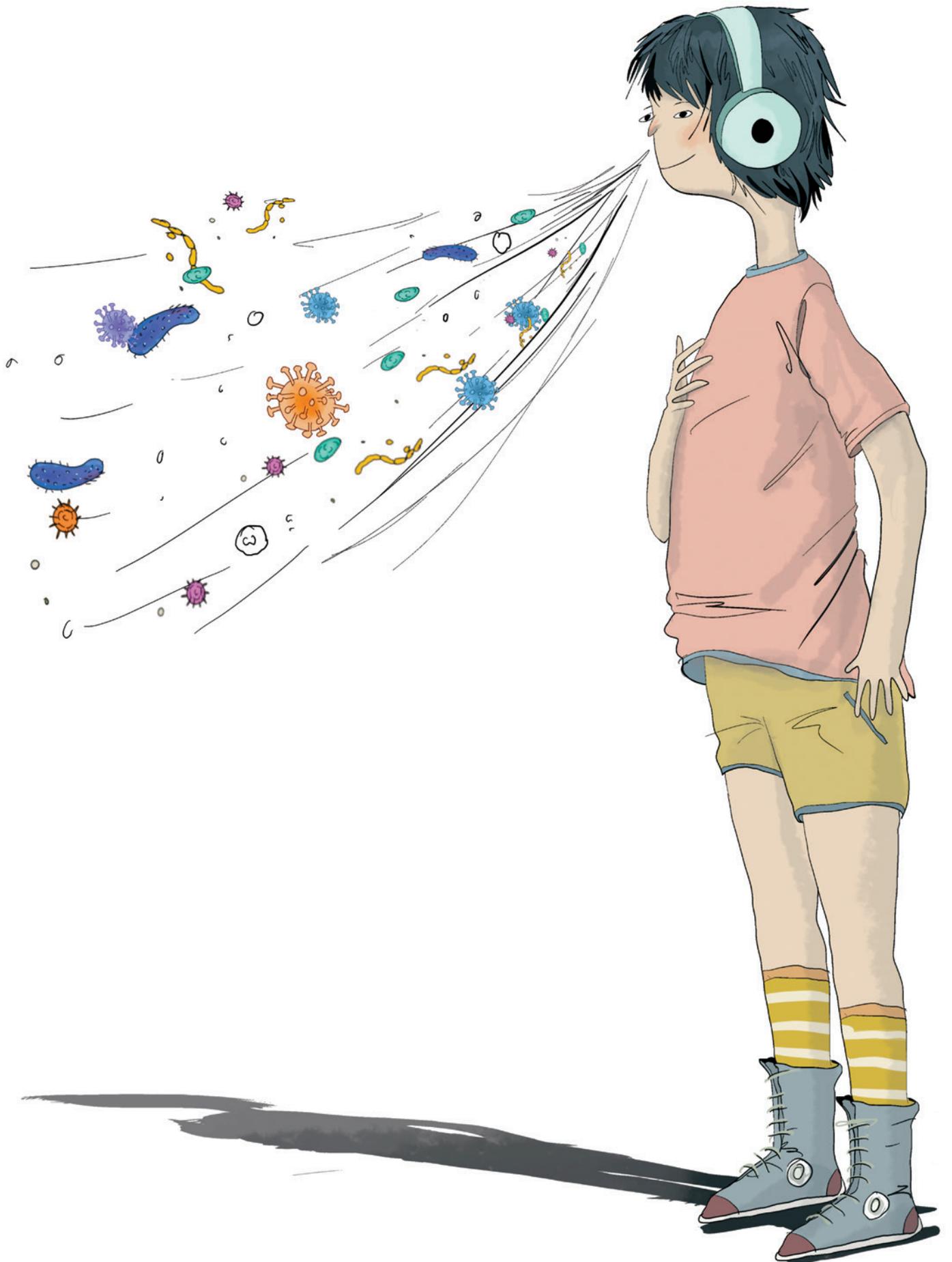
La creciente utilización de la secuenciación molecular ha dejado obsoleta la teoría de “esterilidad pulmonar” y evidenciado una compleja comunidad de microorganismos en el tracto respiratorio. La interacción entre estos microorganismos y el hospedero, así como entre los diferentes microorganismos, está vinculada a la respuesta del organismo a distintos procesos patológicos tanto infecciosos como no infecciosos.

■ Introducción

■ El microbioma humano se define como el conjunto de microorganismos (arquea, virus, bacterias y hongos) que habitan el cuerpo humano. El estudio de estos microbiomas ha crecido de manera exponencial durante los últimos años y con ello la comprensión de su importancia en el balance entre salud y enfermedad. El equilibrio de estas comunidades microbianas con el hospedero es fundamental para la nutrición, el metabolismo y la maduración del sistema inmune. Por otro lado, el desequilibrio o disbiosis de la microbiota están asociados con el desarrollo de enfermedades autoinmunes, evolución de enfermedades no infecciosas (cáncer, obesidad, síndrome metabólico, riesgo cardiovascular, entre otras) y con la susceptibilidad a contraer enfermedades infecciosas, como la infección por *Clostridium difficile*, vaginosis, tuberculosis y neumonías, incluyendo covid-19.

En el artículo “El microbioma humano en la coyuntura entre la salud y la enfermedad”,¹ describimos las características principales del microbioma y el papel del microbioma gastrointestinal. Como se mencionó en ese artículo, el cuerpo humano es hábitat de diversas comunidades microbianas que intervienen en los múltiples procesos habituales del organismo, así como en el establecimiento y desarrollo de diversas patologías. Si bien existen microbiomas en prácticamente todas las partes del cuerpo, el del tracto gastrointestinal es uno de los más estudiados. Hoy se sabe, sin embargo, que las vías respiratorias representan también un importante nicho microbiano, por lo que en este artículo nos enfocamos en el microbioma

¹ Disponible también en revista *Ciencia*, vol. 74, núm. 3 (julio-septiembre de 2023), pp. 62-69.



pulmonar y su papel en las enfermedades respiratorias de mayor impacto a nivel mundial, definiendo y caracterizando su composición microbiana según estudios recientes.

■ **Microbiota del tracto respiratorio**

■ El microbioma respiratorio se refiere al conjunto de microorganismos: bacterias, arqueas, virus y parásitos presentes en el tracto respiratorio. Hasta hace poco tiempo, se consideraba al tracto respiratorio, especialmente los pulmones, como un nicho estéril o “libre de bacterias”; sin embargo, no es de sorprender que los pulmones tengan una microbiota residente, ya que están en constante contacto con el medio exterior: los pulmones de un adulto promedio tienen una superficie de hasta 70 m² (30 veces más que la piel), donde se intercambian cerca de 7 000 litros de aire al día (Vázquez y Pérez, 2018). A diferencia del tracto gastrointestinal, que tiene una temperatura constante y una alta concentración de bacterias, las vías respiratorias se caracterizan por tener un gradiente de temperatura, una alta concentración de oxígeno y una baja densidad bacteriana.

El sistema respiratorio se puede dividir en tracto respiratorio superior (TRS) y tracto respiratorio inferior (TRI), aunque ambos participan en el intercambio gaseoso y están en contacto directo con el medio exterior.

La composición de la microbiota pulmonar está definida por tres factores: *a*) la migración bacteriana al interior de la vía aérea, *b*) la eliminación de las bacterias, y *c*) la tasa de crecimiento microbiano, la cual está determinada por las condiciones locales y que varían en función de los estados de salud-enfermedad del individuo (Castañeda, 2021). Por otra parte, aunque las vías respiratorias están interconectadas, existen variaciones en cuanto a la riqueza y abundancia de los géneros bacterianos que se establecen; por ejemplo, en individuos sanos, en el TRS predominan especies del filo Firmicutes, Actinobacteria, Bacteroidetes, Proteobacteria y Fusobacteria; mientras que en el TRI predominan los filos Proteobacteria, Firmicutes, Actinobacteria y Bacteroidetes (García Revilla, 2017). La composición y densidad

del microbioma respiratorio cambia en condiciones patológicas como son las infecciones, asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), fibrosis quística (FQ) e inclusive en cáncer de pulmón. Muchas de estas enfermedades tienen en común el establecimiento de un proceso inflamatorio y un enriquecimiento de Gammaproteobacterias, las cuales incluyen taxones que utilizan subproductos de la respuesta inmune, como las catecolaminas y las citoquinas inflamatorias como nutrientes, lo que les confiere una ventaja adaptativa sobre aquellos miembros de la microbiota pulmonar que son eliminados por estos mismos componentes.

■ **Función del microbioma respiratorio**

■ Al igual que la microbiota gastrointestinal, el microbioma respiratorio es fundamental para el funcionamiento y desarrollo de los pulmones. La microbiota libera factores que ayudan a la función respiratoria, como la secreción del surfactante alveolar por las células epiteliales, e inclusive se le ha asociado con el desarrollo del tejido linfoide nasofaríngeo.

La microbiota de la superficie respiratoria modula las comunidades microbianas presentes y entrena al sistema inmune para reconocer y tolerar a los microorganismos. Puede actuar como una barrera, previniendo la adhesión de virus o bacterias a las células del hospedero. Especies del género *Veillonella*, por ejemplo, forman biopelículas que favorecen el crecimiento de *Streptococcus* spp., pero inhiben el crecimiento de otras especies. Por otro lado, también se ha observado la competencia de nicho, donde uno de los ejemplos más estudiados es el de *Streptococcus pneumoniae*, que inhibe el establecimiento y crecimiento de *Staphylococcus aureus* mediante la producción de peróxido de hidrógeno (H₂O₂).

Por otro lado, la exposición de las células inmunes en el pulmón a microorganismos *prepara o entrena* al sistema inmune innato y adaptativo. Hay evidencias que muestran que la función de las células efectoras y reguladoras T-gamma delta depende de su previo encuentro con microorganismos. Por ejemplo, varios estudios con niños y bebés habitantes de granjas y otros medios rurales que se consideran medios

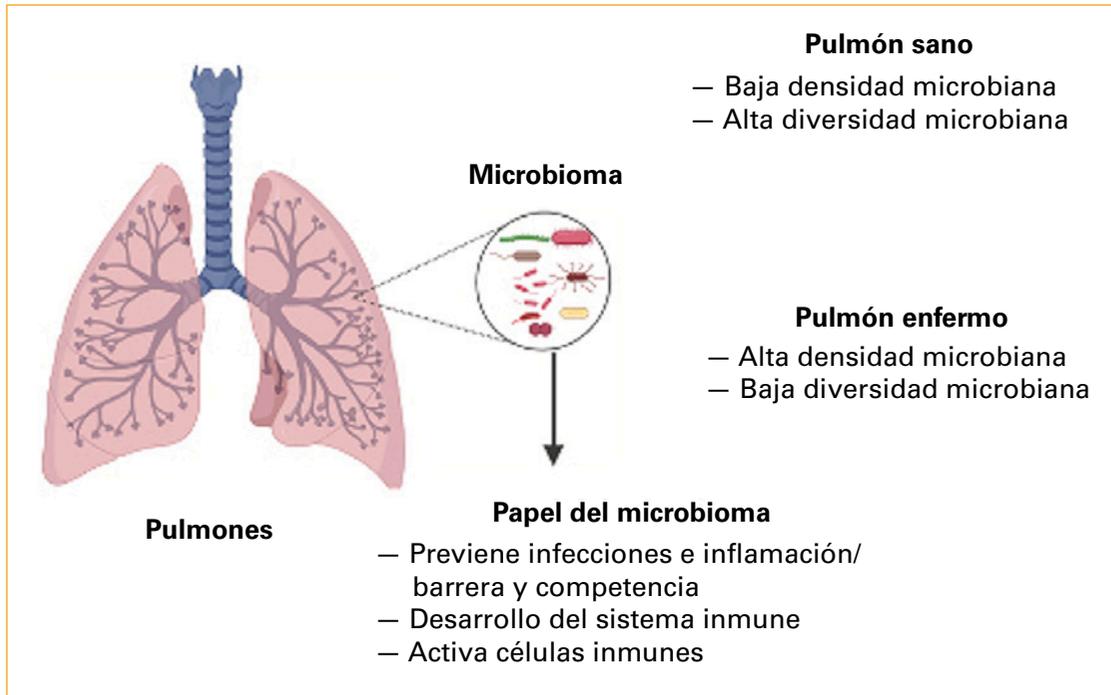


Figura 1. Microbioma pulmonar en la salud y la enfermedad.

“microbiológicamente ricos”, muestran una menor incidencia de asma, alergias y una inmunidad más robusta que aquellos individuos que crecieron en un medio urbano hiper-higiénico. Así mismo, se sabe que los metabolitos y receptores microbianos membranales estimulan el reclutamiento y activación de células como los macrófagos alveolares y células T reguladoras durante la infección, además de estimular la liberación de péptidos antimicrobianos (AMP) e inmunoglobulinas.

Es importante recalcar que la respuesta inmune responde a cambios en la microbiota y a su vez la modifica promoviendo el crecimiento selectivo de algunas especies; por lo cual se dice que la relación entre la respuesta inmune y el microbioma pulmonar es bidireccional, y se ha propuesto la hipótesis de que muchas enfermedades no son provocadas por un solo microorganismo, sino por la alteración del ecosistema respiratorio y la interacción de varios microorganismos que actúan sinérgicamente.

La composición de la microbiota pulmonar depende de la inmigración, la eliminación y la tasa de crecimiento de los distintos microorganismos en el área. Durante la salud, esta composición está de-

terminada por el equilibrio entre la entrada y la eliminación de microorganismos, mientras que en la enfermedad la tasa relativa de crecimiento de los diferentes componentes del microbioma, aunado al desequilibrio de esta inmigración-eliminación, son los factores determinantes. En enfermedades crónicas como la EPOC, la bronquiectasia y la bronquitis crónica, que se caracterizan por un deterioro del movimiento mucociliar e inflamación, hay una disminución de la eliminación de microorganismos que resulta en un cambio en el ambiente pulmonar. Este cambio incluye la presencia de citoquinas y células inflamatorias, daño tisular, producción de moco, aumento de nutrientes, bolsas de anoxia y un aumento en la temperatura local. Aunado a las distintas tasas de crecimiento, esto resulta en el incremento selectivo de algunas especies, como *Pseudomonas aeruginosa* y especies anaerobias como *Prevotella* spp. y *Veillonella* spp.

■ Enfermedades del tracto respiratorio

■ Las enfermedades del sistema respiratorio representan una de las primeras causas de atención médi-

ca tanto en la consulta como en la hospitalización. A nivel mundial las enfermedades respiratorias, tanto infecciosas como no infecciosas, son la cuarta causa de muerte y de disminución en Años de Vida Ajustados por la Discapacidad (AVAD). Durante la pandemia de covid-19 (2020-2022), esta infección fue la causa de mayor mortalidad en México y el mundo. Sin embargo, en México la influenza, neumonía, tuberculosis y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica están todas dentro de las primeras diez causas de mortalidad de los últimos cinco años.

Tanto en enfermedades infecciosas como en las no infecciosas, se ha demostrado una disbiosis en el microbioma pulmonar. En pacientes con asma se ha observado un incremento en la abundancia bacteriana de los géneros *Haemophilus*, *Neisseria*, *Fusobacterium*, y *Porphyromonas*; en el caso de EPOC y fumadores, se ha visto una disminución general del filo proteobacteria y un incremento de Firmicutes y *Fusobacterium*, específicamente de los géneros *Lactobacillus*, *Fusobacteria* y *Leptotrichia*. Incluso en cáncer de pulmón se han observado alteraciones en el microbioma pulmonar y hay evidencias que sugieren un papel de éste en el desarrollo y progresión de dicha enfermedad.

Dentro de las enfermedades infecciosas de las vías respiratorias más comunes y de mayor impacto en la salud pública destacan la tuberculosis, la influenza, las neumonías y el covid-19. En todas estas enfermedades, la alteración en la microbiota depende del agente etiológico, la duración de la enfermedad y la respuesta inmune, y en todas hay evidencias de un papel de la microbiota en la evolución clínica de la enfermedad.

■ ■ ■ Tuberculosis

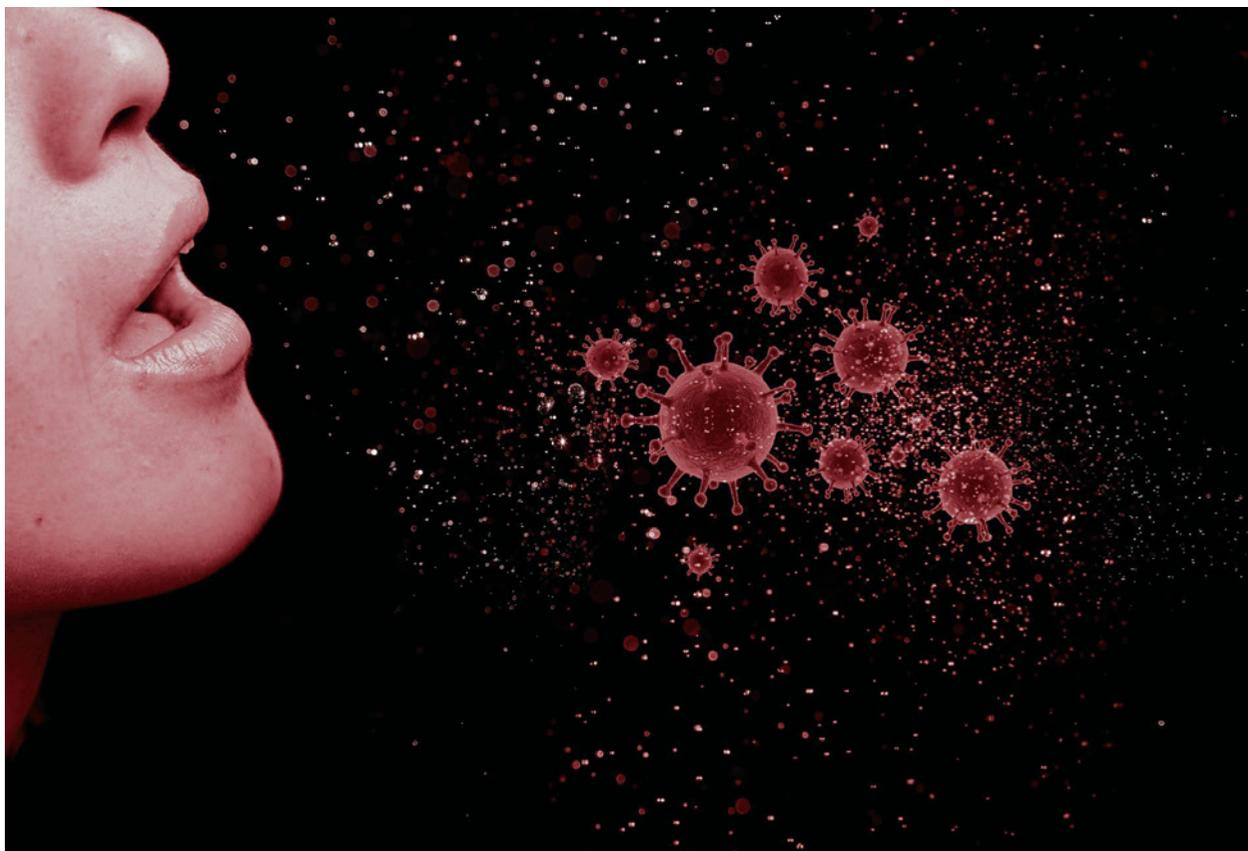
■ La tuberculosis (TB), hasta antes de la pandemia por SARS-CoV-2, era la principal causa de muerte en el mundo por un agente infeccioso: *Mycobacterium tuberculosis*, aun por encima del VIH. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que en 2022 alrededor de 1.3 millones murieron por tuberculosis y un tercio de la población mundial tiene TB latente y está en peligro de desarrollar la enfermedad acti-

va. La infección latente y la TB activa son dos extremos de la enfermedad, que va desde la infección asintomática y no contagiosa hasta la enfermedad manifiesta y altamente transmisible. En la TB latente el cuerpo ha contenido el crecimiento de la micobacteria, pero no la ha eliminado. La interacción del sistema inmune y el microbioma de cada persona determinan la forma en que la enfermedad se manifiesta.

Recientemente, se han realizado diversos estudios enfocados al análisis de la microbiota pulmonar y su relación con el establecimiento y desarrollo de la tuberculosis. Estos estudios muestran una alteración en la microbiota pulmonar. Específicamente, se han identificado los géneros *Prevotella*, *Neisseria*, *Lactobacillus* y *Parvimonas* en pacientes con TB en la mayoría de los estudios. Sin embargo, no se ha podido establecer un consenso específico que refleje un cambio consistente en la microbiota pulmonar, probablemente por diferencias en el tipo de muestras o diferencias propias de las poblaciones muestreadas, lo cual apoya la hipótesis de que el desarrollo de la tuberculosis puede estar determinado no sólo por el agente causal de la enfermedad (*M. tuberculosis*), sino también por la interacción de éste con las comunidades microbianas locales y factores inmunológicos. Más aún, se han observado cambios en la microbiota pulmonar de enfermos con TB farmacorresistente y TB sensible, incluyendo un incremento en la proporción entre *Pseudomonas*, *Peptostreptococcus* y *Mycobacterium* en pacientes farmacorresistentes.

■ ■ ■ Influenza

■ La influenza es una infección aguda contagiosa causada por el virus de la influenza que se puede presentar con un cuadro leve, medio o grave, y en ocasiones puede ser mortal. Debido a que el virus se transmite con facilidad de una persona a otra a través de gotículas y pequeñas partículas expulsadas con la tos o estornudos, se propaga rápidamente en forma de epidemias estacionales; se estima que anualmente cerca de 3 a 5 millones de personas son casos graves y hay de 290 000 a 650 000 muertes en todo el mundo. La pandemia de la influenza de 1918, como la de H1N1 en el 2009, así como la mayoría de



las epidemias estacionales de influenza, son causadas por el virus de influenza tipo A.

Estudios recientes han demostrado que la infección por virus respiratorios facilita la colonización de patógenos bacterianos o fúngicos oportunistas, debido a una destrucción del epitelio alveolar y del intersticio, edema, infiltración de leucocitos polimorfonucleares y macrófagos a la luz alveolar y el intersticio, que favorece la adhesión de estos patógenos. Específicamente, en la infección por el virus de la influenza se liberan nutrientes y se disminuye el aclaramiento mucociliar, lo cual facilita la colonización de otros patógenos oportunistas. De acuerdo con esto, la caracterización del microbioma pulmonar en pacientes infectados con influenza H1N1 mostró un incremento en los filos Firmicutes, Proteobacteria y Actinobacteria, en particular los géneros *Moraxella*, *Acinetobacter*, *Escherichia* y *Enterococcus*, todos ellos patógenos oportunistas y causantes de muchas de las complicaciones de esta enfermedad (Zhang *et al.*, 2015).

■ Neumonía por SARS-CoV-2

■ El síndrome respiratorio agudo severo causado por coronavirus-2 (SARS-CoV-2) es el causante de la enfermedad pandémica covid-19. Este virus es altamente transmisible entre individuos por vía aérea. El desarrollo de la enfermedad y su gravedad varía ampliamente en la población; más aún, el virus no sólo afecta el sistema respiratorio, sino también a otros órganos y mucosas, particularmente el tracto gastrointestinal. Algunos de los factores que influyen en el desarrollo y desenlace clínico son: edad, comorbilidades como obesidad y diabetes, estado del sistema inmune y el microbioma. Dada la importancia ya establecida de la microbiota en la susceptibilidad y desarrollo de otras enfermedades virales, muchos grupos alrededor del mundo se abocaron a estudiar este componente en covid-19. Diversos estudios, tanto de la microbiota gastrointestinal como respiratoria, encontraron cambios significativos en pacientes con SARS-CoV-2 asociados con el estatus clínico de la enfermedad al compararlos con individuos sanos.

Pacientes con covid-19 severo mostraron una mayor abundancia de patógenos oportunistas, específicamente *Acinetobacter baumannii*, *Mycoplasma* spp. y *Candida* spp. en el tracto respiratorio inferior, y *Coprobacillus*, *Clostridium ramosum* y *C. hathewayi* en el tracto gastrointestinal. Ambos casos están asociados a un incremento de indicadores de inflamación que incluye IL-6, procalcitonina y proporción de linfocitos a neutrófilos (Xie *et.al.*, 2023; Yamamoto, 2021).

Otros estudios con pacientes de edad avanzada demostraron que todos los individuos infectados tenían un microbioma nasofaríngeo con baja biomasa y poca diversidad, lo cual es común en personas de edad avanzada y puede explicar su mayor susceptibilidad a la enfermedad.

La disbiosis de la microbiota de las mucosas del cuerpo refleja la gravedad de esta enfermedad y probablemente está implicada en la modulación de la respuesta inmune que es parte esencial de la presentación de esta enfermedad.

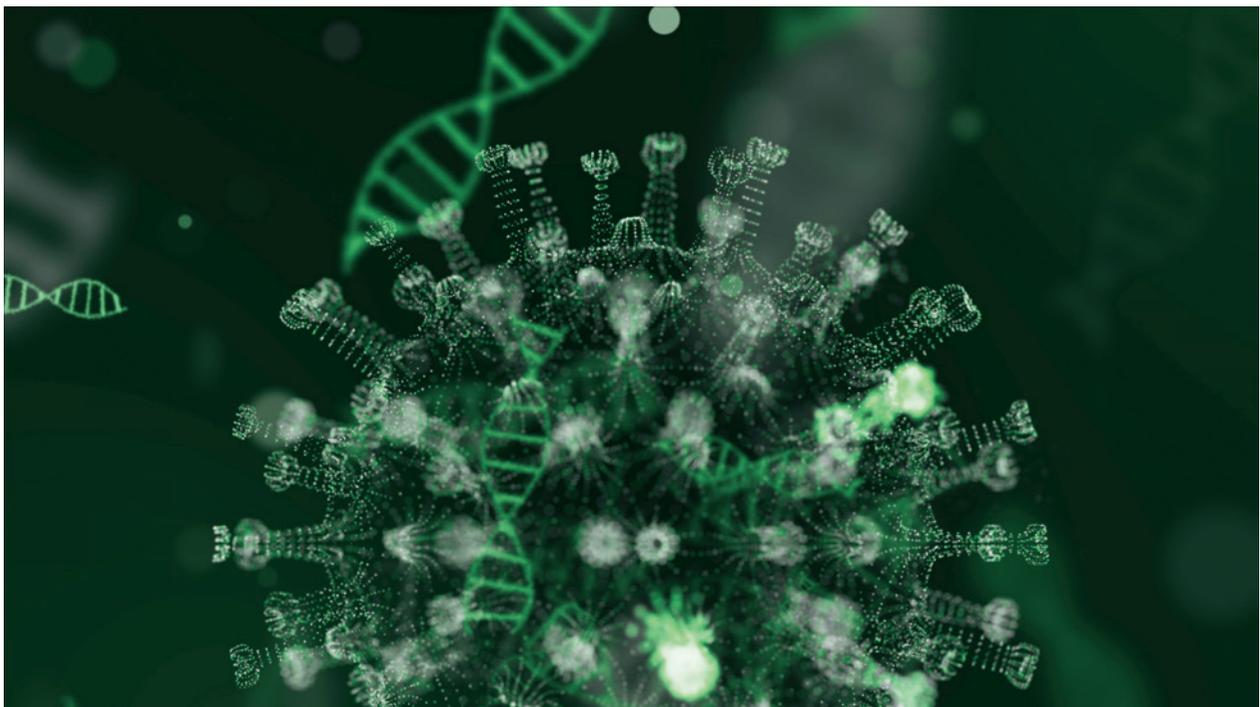
Estos estudios son consistentes con lo observado en estudios de síndromes respiratorios agudos (ARDS), no relacionados con SARS-CoV-2, que muestran un microbioma pulmonar con mayor carga bacteriana, menor diversidad, enriquecido con microor-

ganismos oportunistas y asociados a marcadores de inflamación.

En conclusión, los estudios de microbioma han mostrado una asociación predictiva entre la carga bacteriana, la inflamación y el desenlace clínico de este tipo de neumonías. Es necesario realizar estudios que analicen la relación entre la inmunidad pulmonar, el microbioma pulmonar y las infecciones por SARS-CoV-2 con sus diferentes complicaciones, para así diseñar terapias probióticas que ayuden a los pacientes. Los beneficios de terapias que modifiquen la microbiota pulmonar se deben evaluar en el contexto no sólo de la enfermedad de covid-19, sino en el de todas las enfermedades respiratorias.

■ **Conclusión**

■ El desarrollo de la secuenciación masiva ha permitido una visión de la ecología microbiana en los diferentes hábitats del cuerpo, incluido el tracto respiratorio. En la última década se han identificado diferentes comunidades microbianas entre los nichos del tracto respiratorio y su posible función como centinelas del equilibrio entre salud y enfer-



medad. Cada una de las enfermedades del tracto respiratorio está caracterizada por una disbiosis.

Sin embargo, son necesarios más estudios para entender las funciones de cada uno de los miembros de estas comunidades, sus interacciones entre sí y con el hospedero. La caracterización del microbioma pulmonar puede ser una herramienta clínica para determinar el pronóstico de enfermedades respiratorias, incluido el covid-19

¿Podríamos modificar la microbiota del tracto respiratorio para prevenir o dar tratamiento en el caso de las infecciones pulmonares? Los estudios recientes sugieren que sí y, más que la manipulación de la microbiota, esto puede constituir una terapia alternativa para el tratamiento de estas enfermedades.

Itzel Elizalde Rodríguez

Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco e
Instituto Nacional de Medicina Genómica.
itzel.er.cielo@gmail.com

Dianareli Hernández H.

Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco e
Instituto Nacional de Medicina Genómica.
dianaren93@gmail.com

Eugenia Silva-Herzog

Unidad de Vinculación Científica, Facultad de Medicina,
Universidad Nacional Autónoma de México e
Instituto Nacional de Medicina Genómica.
esilvaherzog@inmegen.gob.mx

Literatura citada

- Castañeda Guillot, C. (2021), "Microbiota pulmonar y el eje intestino-pulmón", *Revista Cubana de Pediatría*, 93(4).
- Dickson, R. P., J. R. Erb-Downward, F. J. Martínez y G. B. Huffnagle (2016), "The microbiome and the respiratory tract", *Annual Review of Physiology*, 78:481-504.
- Eshetie, S. y D. van Soolingen (2019), "The respiratory microbiota: new insights into pulmonary tuberculosis", *BMC infectious Diseases*, 19(1):92.
- García Revilla, V. J. (2017), "La microbiota en el control de la colonización nasal por *Staphylococcus aureus*", Sandander, Facultad de Medicina, Universidad de Cantabria.
- Hilty, M., C. Burke, H. Pedro, P. Cárdenas, A. Bush *et al.* (2010), "Disordered microbial communities in asthmatic airways", *PLOS ONE* 5(1):e8578.
- Man, W. H., W. A. de Steenhuisen Pijters y D. Bogaert (2017), "The microbiota of the respiratory tract: gatekeeper to respiratory health", *Nature Reviews Microbiology*, 15(5):259-270.
- Popovic, D., Kulas, J., Tucovic, D., Popov Aleksandrov, A., Malesevic, A., Glamoclija, J. y Tolinacki, M. (2023), "Gut microbial dysbiosis occurring during pulmonary fungal infection in rats is linked to inflammation and depends on healthy microbiota composition", *Microbiology Spectrum*, 11(5):e01990-23.
- Vázquez García, J. C. V. y R. Pérez Padilla (2018), *Manual de espirometría*, México, INER/SMNYCT/ALAT.
- Xie, L., L. Chen, X. Li, J. Zhou, H. Tian *et al.* (2023), "Analysis of lung microbiome in covid-19 patients

during time of hospitalization", *Pathogens*, 12(7): 944. Disponible en: <<https://doi.org/10.3390/pathogens12070944>>, consultado el 9 de mayo de 2024.

Yamamoto, S., M. Saito, A. Tamura, D. Prawisuda, T. Mizutani y H. Yotsuyanagi (2021), "The human microbiome and covid-19: A systematic review", *PLOS ONE*, 16(6):e0253293. Disponible en: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253293>>, consultado el 9 de mayo de 2024.

Zhang, Y., C.-Y. Lun y S. Kwok-Wing Tsui (2015), "Metagenomics: A new way to illustrate the cross talk between infectious diseases and host microbiome", *International Journal of Molecular Sciences*, 16(11): 26263-26279.

Lecturas adicionales recomendadas

Biocodex/Microbiota Institute (2017), "La microbiota pulmonar". Disponible en: <<https://www.biocodex-microbiotainstitute.com/es/la-microbiota-pulmonar>>, consultado el 9 de mayo de 2024.

Cantón, R. (2021), "Aspectos microbiológicos actuales de la infección respiratoria comunitaria más allá de la covid-19", *Revista Española de Quimioterapia*, 34(2): 81-92. Disponible en: <<https://seq.es/wp-content/uploads/2021/03/canton22mar2021.pdf>>, consultado el 9 de mayo de 2024.

"The microbiome in respiratory disease" (2019), serie en *The Lancet Respiratory Medicine*, 7(10).

Enrique Rojas Bustamante y Laura Virginia Adalid Peralta

Realidad virtual: un tratamiento novedoso para la enfermedad de Parkinson

La enfermedad de Parkinson afecta a millones de personas a nivel mundial y se espera que las cifras aumenten en los próximos años. Por esta razón es necesario encontrar nuevas formas de rehabilitación que puedan mejorar la calidad de vida de los pacientes. En este artículo abordaremos el estudio de novedosas estrategias terapéuticas por medio de realidad virtual y sus prometedores resultados.

La enfermedad de Parkinson

Actualmente, la enfermedad de Parkinson (EP) es un trastorno que afecta a personas adultas en todo el mundo. Constituye la segunda enfermedad neurodegenerativa más frecuente después del Alzheimer. Las personas que padecen la EP se ven afectadas por síntomas motores como temblores, rigidez, pérdida del movimiento y alteración de la marcha. Sin embargo, con el avance de la enfermedad también pueden aparecer otras manifestaciones relacionadas con el movimiento, como dolor, trastornos del estado de ánimo y demencia, entre otras.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, en el año 2016 había aproximadamente 6.3 millones de personas con EP y se estima que para 2030 esta cifra aumentará a 12 millones de personas en todo el mundo. Por ello, es muy importante buscar nuevas estrategias terapéuticas, como la realidad virtual (RV), para ayudar en el proceso de rehabilitación y mejorar la calidad de vida de los pacientes.

El tratamiento de los síntomas motores del Parkinson

Se trata de un gran reto médico, pues ningún fármaco o cirugía ha demostrado un efecto curativo hasta la fecha. Además, el tratamiento de los síntomas motores debe adaptarse a la fase de la enfermedad, su evolución y la discapacidad del paciente.

El fármaco más utilizado en la actualidad es la levodopa, o precursor oral de la dopamina, pues ha probado ser el más eficaz para el tratamiento de los síntomas motores de la EP. Los beneficios de este fármaco se pueden observar en todas las





Figura 1. Generalmente se utiliza un casco de realidad virtual y controles para moverse en el entorno virtual.

etapas de la enfermedad, pero son más notables en pacientes con EP de inicio temprano. Los síntomas que afectan el habla, la deglución y la inestabilidad de la postura pueden mejorar inicialmente, pero terminan siendo resistentes al medicamento a largo plazo. Debido a estas limitaciones, se ha propuesto el uso de tratamientos fisioterapéuticos para mejorar las habilidades de equilibrio, fuerza y coordinación de los pacientes con EP a través de la rehabilitación del movimiento por medio del baile, el entrenamiento robótico o la realidad virtual.

■ **Enfoque terapéutico empleando realidad virtual**

■ Se trata de una tecnología de creación reciente que consiste en un ambiente gráfico en el cual el usuario tiene la sensación de estar presente en un mundo

virtual y puede interactuar con él. Para lograr esto, el paciente se coloca un “casco de realidad virtual” que posiciona dos pantallas cerca de sus ojos. De esta forma, cada ojo recibe una imagen ligeramente desfasada y el cerebro se encarga de unir ambas imágenes en una única imagen 3D, dando la ilusión de que el entorno virtual tiene profundidad.

En la actualidad, la rv se utiliza para que los pacientes con EP puedan realizar ejercicios o practicar habilidades que se les dificultan en un ambiente controlado y similar al mundo exterior. Además, permite a los investigadores obtener información en tiempo real de los logros obtenidos por los pacientes durante su terapia.

■ **Estudios de rehabilitación por medio de realidad virtual**

■ Debido al creciente uso de la rv como tratamiento para la EP, se ha incrementado el número de estudios sobre sus beneficios y eficacia. Gracias a ello, existe una mayor evidencia que demuestra que la rv tiene un efecto positivo en la distancia y cadencia de paso, así como el equilibrio y la simetría de la postura en pacientes con EP. Aunque la mayoría de los estudios se encuentran en etapas tempranas y todavía no existen investigaciones sobre su impacto en el deterioro causado por la EP a largo plazo, los resultados son prometedores. Por lo tanto, a continuación se describen algunas de las investigaciones más prometedoras acerca del uso de la rv para el tratamiento de la EP.

■ **Rehabilitación con ayuda de un sistema de arneses y realidad virtual**

■ En la EP una de las afecciones más comunes es la dificultad para caminar; incluso algunos pacientes sufren “congelamiento de la marcha”; esto es, aunque el paciente quiere caminar, el cuerpo no responde e impide dar el paso, lo que provoca una caída. En un estudio piloto realizado en 2020 por Brandín-De la Cruz y cols., se utilizó un enfoque que combina la rv con un tapiz rodante y un arnés para sostener el peso corporal. Esta combinación se debe a que la

rehabilitación con un tapiz rodante ha demostrado ser eficaz para mejorar la velocidad y longitud de la zancada en los pacientes. Las sesiones consistieron en que el paciente era sujetado por el arnés y caminaba en el tapiz rodante mientras tenía colocado un casco de RV y dos controles, uno en cada mano. De esta forma, los pacientes podían caminar y explorar un entorno virtual similar a Marte, con dunas, rocas y edificios que simulaban cambios en la elevación y obstáculos.

Como resultado de esta investigación, la mayoría de los participantes expresaron sentirse muy satisfechos con el tratamiento, gracias a la seguridad que brinda el sistema de arneses. Además, los investigadores reportaron que la rehabilitación tuvo un impacto positivo en la distancia recorrida, la velocidad de la marcha y la calidad de vida.

■ **Rehabilitación de la congelación de la marcha por medio de un sistema de realidad virtual comercial**

■ La investigación realizada por Janeh y cols. en 2019 analizó el efecto de la rehabilitación por RV en pacientes que padecen congelación de la marcha, con el objetivo de encontrar un método para equilibrar la asimetría en los pasos de los pacientes con EP y que además fuera fácil de ajustar de acuerdo con las necesidades de cada paciente.

Para lograr su objetivo, realizaron un tratamiento por medio del sistema de RV HTC VIVE (un sistema comercial, de bajo costo y ya disponible al público), en conjunto con un pasillo electrónico GAITrite que permite medir la marcha de los pacientes. Durante la terapia, los pacientes se colocaron un casco de RV y caminaron a un ritmo cómodo a lo largo del pasillo electrónico mientras observaban un entorno virtual.

Esta investigación arrojó resultados prometedores, pues se observó que los pacientes con EP fueron capaces de aumentar la distancia entre pasos y mejorar el tiempo y columpiado entre los mismos. Esto sugiere que la RV podría ser muy útil para recuperar la simetría de la postura a corto plazo en pacientes con EP. No obstante, los autores mencionan que se requerirán mayores estudios para comprobar su efectividad a largo plazo y determinar si los avances rea-

lizados durante la rehabilitación pueden ser extrapolados a la vida cotidiana de los pacientes.

Por otro lado, cabe mencionar que los investigadores utilizaron un sistema de RV disponible para venta al público en tiendas en línea, con un costo cercano a \$10 000 pesos mexicanos. El equipo es fácil de usar y solamente requiere de conocimientos básicos de computación. Por ello, podría usarse como herramienta terapéutica en casa para los pacientes con EP, no sólo para su rehabilitación, sino para motivarlos y mejorar su ánimo.

■ **Telerrehabilitación por medio de realidad virtual**

■ En un estudio llevado a cabo en 2017 por Gandolfi y cols., se exploró el uso de la tecnología de RV para realizar rehabilitación remota por medio de videoconferencia entre pacientes y terapeutas desde sus casas. El objetivo de esta investigación fue determinar si existe una mejora en la estabilidad de la postura después de tener una sesión de terapia supervisada desde casa utilizando el sistema Wii Fit de Nintendo, en comparación con un entrenamiento de balance e integración sensorial realizado en una clínica (SIBT, por sus siglas en inglés).



■ **Figura 2.** Los pacientes fueron sujetados con un arnés y equipados con un “casco de realidad virtual”.

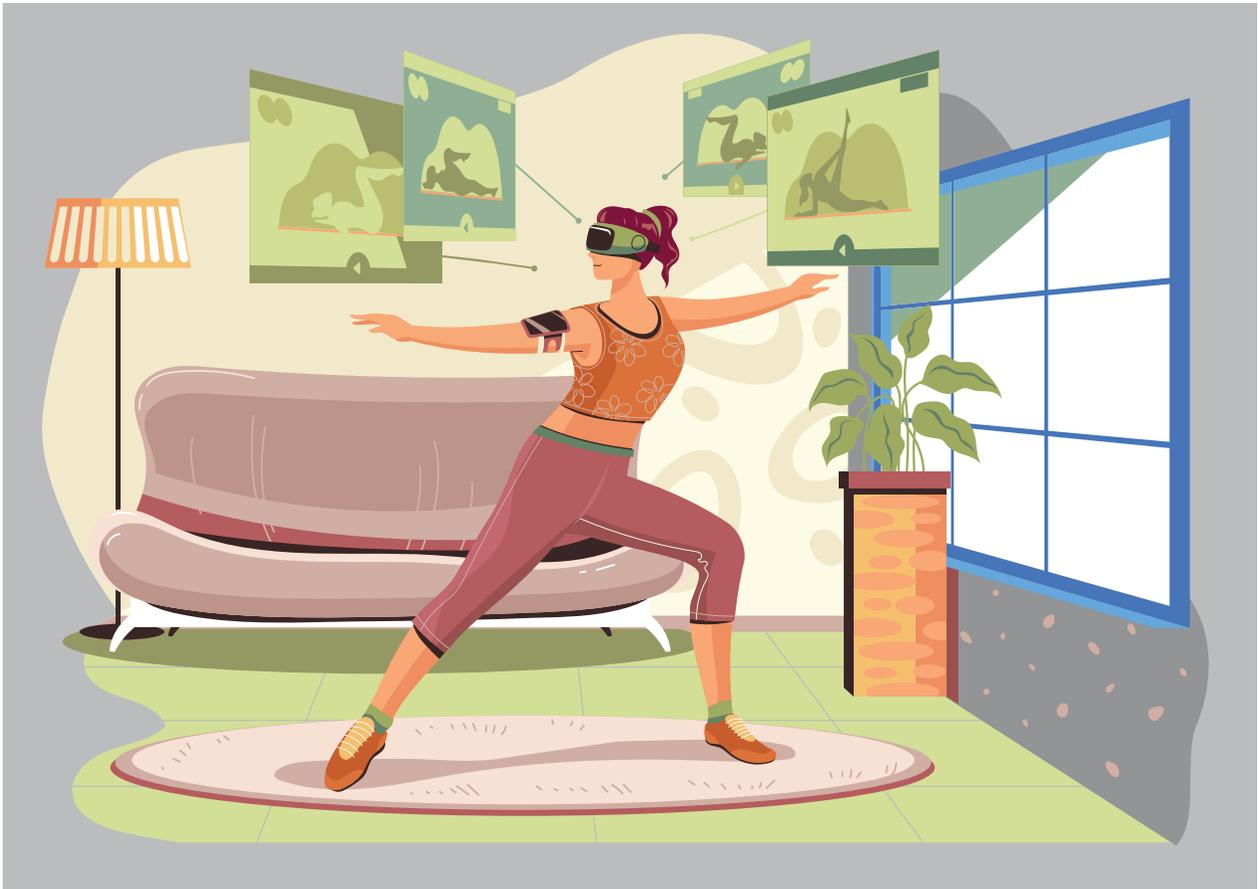


Figura 3. La telerrehabilitación podría ser una herramienta útil para hacer terapia desde casa.

La rehabilitación para el sistema Wii Fit y el entrenamiento SIBT consistió en diversos ejercicios de balance y postura seleccionados por los terapeutas de acuerdo con la condición del paciente y su progreso con la rehabilitación. Para analizar los resultados de la terapia, los investigadores midieron la marcha y el balance de los pacientes antes del tratamiento y después de un mes.

Con estos análisis se observó que, en promedio, aquellos pacientes que recibieron el tratamiento SIBT tuvieron una mejora en el equilibrio dinámico y la movilidad. Asimismo, se vieron efectos comparables en la confianza del equilibrio, velocidad de la postura y menor frecuencia de caídas. Por su parte, los pacientes que utilizaron el sistema Wii Fit reportaron que al final del tratamiento observaron una mejora en su equilibrio y en sus actividades diarias. Gracias a estos resultados, es posible que esta forma de terapia abra un nuevo campo de oportunidades

para tratar los desórdenes de la postura en pacientes con EP, al ser una rehabilitación efectiva y de bajo costo.

■ ■ ■ **Dificultades en la investigación**

■ A pesar de los grandes avances que se han realizado en este campo, existen controversias alrededor del uso de la RV en terapias de rehabilitación. Esto se debe a que todavía no hay un consenso en la metodología y procedimientos óptimos para tratar a un paciente utilizando esta tecnología. Como vimos anteriormente, los tratamientos pueden variar mucho en cuanto al uso de ciertos aparatos (como arneses, andadoras o el mismo sistema de RV), el entorno virtual, la duración del tratamiento y los ejercicios que debe realizar el paciente. Estos factores limitan la capacidad para replicar los tratamientos en diferentes ambientes clínicos, lo que representa un desafío para

los investigadores y terapeutas que buscan utilizar esta novedosa forma de rehabilitación. Sin embargo, se espera que pronto se pueda contar con una terapia estandarizada, aprobada por los organismos de salud y que sea útil para la rehabilitación de la mayoría de los pacientes.

Conclusión

La tecnología de realidad virtual ha demostrado ser eficaz en la rehabilitación de pacientes que presentan síntomas motores de la enfermedad de Parkinson. Con el constante avance y la accesibilidad de esta tecnología, es posible que la realidad virtual comience a ser una herramienta esencial para el tratamiento terapéutico de muchas enfermedades. No obstante, el desarrollo y aplicación de los sistemas de realidad virtual apenas está comenzando. Por ello, muchos investigadores a nivel mundial están trabajando para encontrar nuevas formas de ayudar a todas las personas afectadas por los síntomas de esta enfermedad.

Enrique Rojas Bustamante

Facultad de Ciencias, UNAM.
 quiueocas@ciencias.unam.mx

Laura Virginia Adalid Peralta

Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía.
 adalid.laura@yahoo.com

Referencias específicas

- Brandín-De la Cruz, N., N. Secorro, S. Calvo, Y. Benyoucef, P. Herrero y P. y Bellosta-López (2020), “Entrenamiento antigraavitatorio e inmersivo de realidad virtual para la rehabilitación de la marcha en la enfermedad de Parkinson: estudio piloto y de viabilidad”, *Revista de neurología*, 71:447-454.
- Gandolfi, M., C. Geroin, E. Dimitrova, P. Boldrini, A. Waldner *et al.* (2017), “Virtual Reality Telerehabilitation for Postural Instability in Parkinson’s Disease: A Multicenter, Single-Blind, Randomized, Controlled Trial”, *BioMed Research International*. Disponible en: <<https://doi.org/10.1155/2017/7962826>>, consultado el 18 de mayo de 2024.
- Janeh, O., O. Fründt, B. Schönwald, A. Gulberti, C. Buhmann *et al.* (2019), “Gait Training in Virtual Reality: Short-Term Effects of Different Virtual Manipulation Techniques in Parkinson’s Disease”, *Cells*, 8(5):419.



Claudia Lisseth Aguilar Salinas, Emiliano González Vilchis y Laura Virginia Adalid Peralta

El Alzheimer y la agregación de proteínas tóxicas en las neuronas

El Alzheimer es una enfermedad muy común causada por el desgaste neuronal debido a los depósitos de proteínas en el cerebro, principalmente la proteína β -amiloide y la proteína tau, las cuales son el principal blanco de los tratamientos actuales.

La dificultad de recordar y memorizar es parte del proceso de envejecimiento. Todos hemos olvidado algo, no acordarse de algún suceso es común; pero la falta de memoria puede llegar a ser un problema mayor y causar dificultades en las actividades cotidianas.

La enfermedad de Alzheimer es una forma común de demencia, relacionada con fallos de memoria, retrasos en el pensamiento y cambios en el comportamiento. Estos síntomas son causados por el envejecimiento neuronal excesivo, el cual es un proceso común cuando nos hacemos mayores. La enfermedad de Alzheimer no sólo está vinculada al proceso natural de envejecimiento, sino también a la acumulación de depósitos de proteínas que afectan el cerebro. Es importante reconocer las diferencias entre la pérdida normal de memoria y la enfermedad de Alzheimer.

El Alzheimer es una enfermedad neurodegenerativa, caracterizada por la degradación y muerte de las neuronas, en la cual el cerebro reduce su masa y su volumen; por consecuencia, pierde funciones de forma permanente. Esta enfermedad aparece con mayor frecuencia en personas mayores de 65 años, afectando a cerca de un 10 a 12% de la población. Se asocia a un deterioro progresivo de funciones cognitivas, como la memoria, la atención y orientación; además de que pueden presentarse cambios de personalidad, deterioro en el movimiento, entre otras funciones.

Como sucede con otras enfermedades neurodegenerativas, como la enfermedad Creutzfeldt-Jakob, Parkinson y Huntington, la causa puede estar asociada a una proteinopatía. Las proteinopatías son un grupo de enfermedades en las cuales algunas proteínas se vuelven estructuralmente anormales, provocando la formación de agregados de proteínas. Esto afecta la capacidad de las proteínas para funcionar, por lo que es importante conocer los mecanismos de agregación anormal proteica.



■ ■ ■ **¿Cómo se forman los agregados proteicos?**

■ Todos los pensamientos, sensaciones y memorias son el resultado de señales que pasan por células nerviosas del cerebro llamadas neuronas, las cuales se comunican constantemente entre sí, mediante la transmisión de impulsos nerviosos. Los impulsos nerviosos viajan por prolongaciones ramificadas de las neuronas llamadas axones y producen la liberación de sustancias químicas que cruzan pequeños espacios de las neuronas vecinas; a esto se le llama *sinapsis neuronal*.

La enfermedad de Alzheimer es una patología que afecta el cerebro, en la cual la corteza cerebral se encoge, especialmente en el hipocampo, área vital para la formación de nueva memoria. Además, se produce un agrandamiento de los ventrículos cerebrales, a través de los cuales fluye el líquido cefalorraquídeo. Este fenómeno resulta en una disminución del volumen cerebral y su consiguiente inflamación.

Sabemos que las proteínas son moléculas que el cuerpo necesita para funcionar de forma adecuada, debido a que tienen la habilidad de plegarse en sí mismas formando estructuras por todo el cuerpo y el cerebro. En la enfermedad de Alzheimer se presentan mutaciones que provocan un cambio en la estructura de las proteínas, afectando su plegamiento e interacción con otras proteínas, lo que conduce a

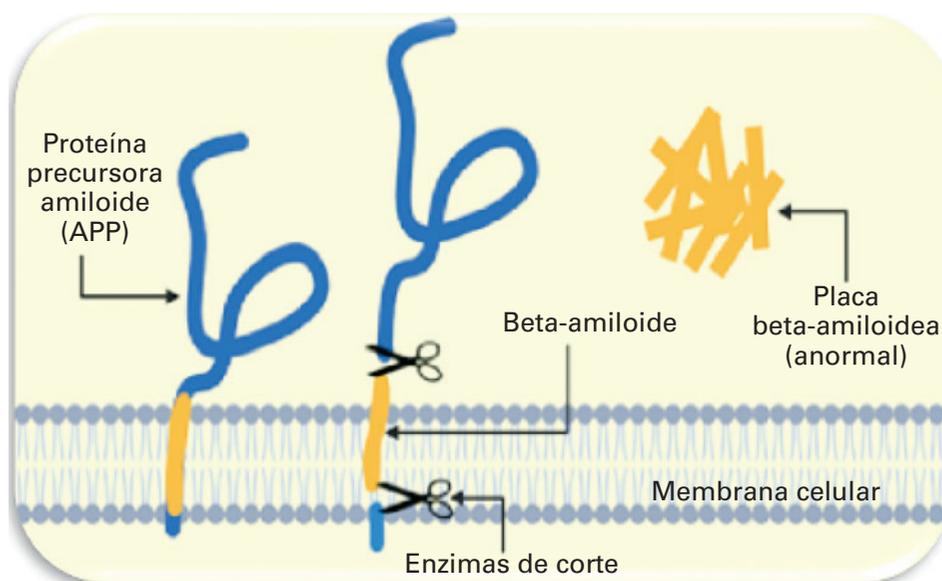
la formación de placas; estas placas son patológicas, ya que alteran su funcionamiento normal y causan enfermedades.

Aunque aún no se conoce por completo la causa de la enfermedad de Alzheimer, se ha observado la presencia de depósitos anormales de proteínas en diferentes áreas del cerebro de los pacientes. En primera instancia, estas placas se desarrollan en la corteza orbitofrontal y en el lóbulo temporal. Sin embargo, en etapas avanzadas de la enfermedad, también se forman en el hipocampo, la amígdala, el diencéfalo y los ganglios basales. Las principales proteínas involucradas son la proteína β -amiloide y la proteína tau, ambas presentes en el sistema nervioso.

■ ■ ■ **Proteína precursora β -amiloide**

■ La proteína precursora β -amiloide (APP) es una proteína presente principalmente en la sinapsis neuronal. Aunque su función no se ha determinado, se cree que participa en la regulación de la comunicación neuronal. La APP es conocida también por su papel en el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer.

Normalmente, en la membrana de las neuronas existen enzimas que crean un corte en la APP y porciones β -amiloide. En la enfermedad de Alzheimer, un cambio altera el procesamiento de la APP, lo que



■ **Figura 1.** Formación de la placa beta-amiloide a partir de la proteína precursora amiloide.

induce una producción excesiva del péptido β -amiloide, cuyas cadenas se pliegan de forma inadecuada, formando redes irregulares de fibras llamadas placas beta-amiloides fuera de las células nerviosas.

Estas placas de proteínas son insolubles e interfieren en el espacio sináptico, donde se produce la comunicación neuronal, impidiendo la transmisión de información; asimismo, las placas provocan una respuesta inflamatoria dañina para el cerebro, conduciendo a la muerte neuronal.

Además, estudios recientes señalan que las placas β -amiloides activan una cascada de señales que resultan en la hiperfosforilación de la proteína tau. En la hiperfosforilación existe un desequilibrio entre dos enzimas, las fosfatasa, que ayudan a eliminar los grupos fosfato (PO_4^{3-}) de las moléculas, y las quinasas que, por el contrario, adicionan un grupo fosfato (PO_4^{3-}) y fosforilan a la molécula. Este desequilibrio provoca que la molécula se fosfore en múltiples sitios y pierda sus propiedades.

Para explicarlo mediante una analogía, piensa en las placas β -amiloides como un puente que mantiene unidos los pilares de una estructura. En condiciones normales, las enzimas fosfatasa son como los obreros que reparan el puente, eliminando el exceso de peso (fosfato) y manteniendo su integridad. Sin embargo, cuando las placas β -amiloides activan las quinasas,

éstas se comportan como vándalos que arrojan más y más peso (fosfato) al puente. Este desequilibrio hace que el puente se sobrecargue con fosfatos, debilitándolo y perdiendo su capacidad de soportar la carga, lo que, eventualmente, lleva al colapso.

■ Proteína tau

■ La proteína tau se encuentra en abundancia en el sistema nervioso, específicamente en los axones de las neuronas. Todas las células, incluyendo las neuronas, tienen una estructura de soporte llamado citoesqueleto, el cual es una red de filamentos que da forma a la célula, soporta su membrana plasmática, organiza sus estructuras internas e interviene en el transporte, movilidad y división celular. El citoesqueleto está formado por tres tipos de proteínas: microtúbulos, microfilamentos y filamentos intermedios. La proteína tau es la encargada de unir los microtúbulos de las neuronas; además, se asocia a otra proteína que conforma a los microtúbulos, llamada tubulina; la unión de la proteína tau y la tubulina estabiliza el citoesqueleto de las neuronas.

Normalmente, la proteína tau experimenta diferentes modificaciones para regular su actividad; uno de estos procesos es la fosforilación. A la proteína tau se adiciona un grupo fosfato (PO_4^3) para que los

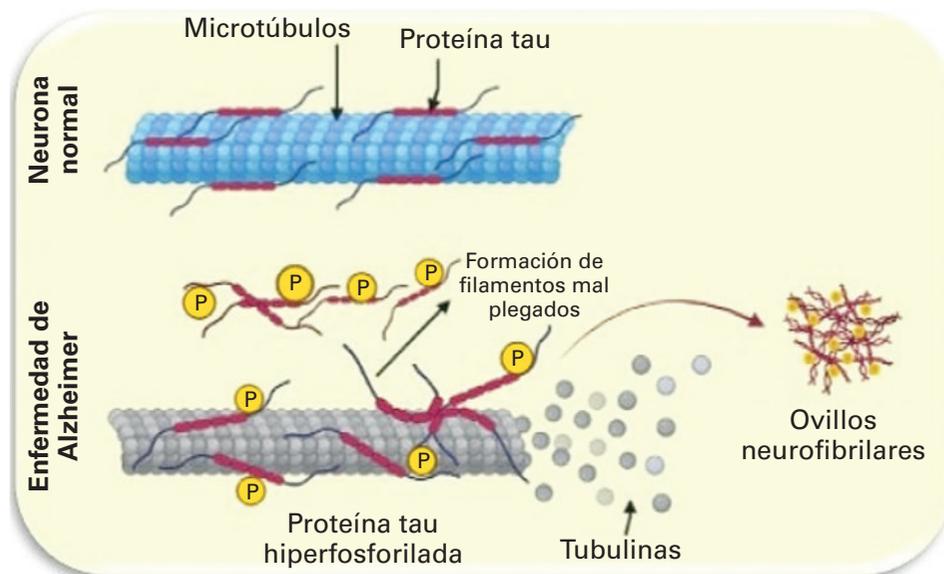


Figura 2. En la enfermedad de Alzheimer la proteína tau anormal forma ovillos neurofibrilares.

microtúbulos se degraden a tubulinas, proceso que se revierte removiendo el grupo fosfato de la molécula, formándose nuevamente los microtúbulos del citoesqueleto.

En los casos de Alzheimer se produce una hiperfosforilación, resultado de un desequilibrio, lo que causa que la proteína tau pierda sus propiedades; la hiperfosforilación impide que la tubulina se vuelva a agrupar en microtúbulos y esto provoca que tau se pliegue formando agregados de proteína, llamados ovillos neurofibrilares. El conjunto de ovillos causa que los axones se encojan, produciendo la desaparición de comunicación neuronal.

También la proteína tau pasa por un proceso llamado ubiquitinación, en el cual la proteína ubiquitina se une a proteínas que deben ser degradadas y las elimina. En esta patología, la ubiquitinación se encuentra alterada y las proteínas dañadas no se eliminan; por lo que, si hay un fallo en la proteína tau, ésta no se degrada y forma ovillos neurofibrilares.

Una analogía que podría ayudar a entender este proceso es la siguiente: imagina que la proteína tau es una encargada del tráfico celular que coloca señales o “banderines” (hiperfosforilaciones) en las autopistas de microtúbulos para regular el flujo. En el Alzheimer, la proteína tau se sale de control, colocando demasiados banderines y causando embotellamientos, conocidos como ovillos neurofibrilares, que interrumpen la comunicación entre las células. Además, la función de eliminar desechos celulares, mediada por una marca que indica que hay basura (ubiquitinación), se ve comprometida, lo que resulta en una acumulación de materiales dañados que agravan la disfunción celu-

lar. En esta desordenada red de tráfico celular, la función cerebral se ve gravemente afectada.

Asimismo, las células de la microglía son un tipo celular del sistema nervioso que participa en la respuesta inmune del cerebro, células que se activan con la proteína tau. Por lo tanto, cuando la proteína tau se encuentra en cantidades elevadas, la microglía libera sustancias proinflamatorias que producen efectos neurotóxicos, matando directamente las neuronas.

Las células de la microglía podrían compararse con los bomberos de la ciudad, listas para responder a cualquier emergencia que amenace la salud neuronal. Cuando la proteína tau, como una señal de alarma, indica un peligro potencial debido a su elevada presencia, las células de la microglía se activan. Sin embargo, en lugar de apagar el fuego de la enfermedad, estas células, como bomberos descontrolados, liberan sustancias proinflamatorias que, en lugar de extinguir el fuego, alimentan las llamas de la neurotoxicidad, provocando la muerte directa de las neuronas. Este desafortunado giro de acontecimientos ilustra cómo, a veces, los esfuerzos por proteger pueden contribuir involuntariamente al daño.

Es importante remarcar que la enfermedad de Alzheimer es una enfermedad multifactorial, por lo que la alteración de estas proteínas es sólo una pieza para descubrir la causa, ya que existen muchos factores involucrados.

■ ■ ■ ¿Cómo atacan los nuevos fármacos al Alzheimer?

■ En los últimos años, los investigadores han progresado en el diagnóstico y prevención de la enfermedad de Alzheimer. Actualmente, los esfuerzos para prevenir este padecimiento se centran en dos de sus aspectos principales: las placas de proteínas beta-amiloides y los ovillos de las proteínas tau, con el objetivo de desarrollar tratamientos que puedan retrasar o prevenir significativamente la enfermedad.

Las estrategias de los fármacos actuales están dirigidas a:

A) *Bloquear la producción de la proteína beta-amiloide.* Su función es reducir la cantidad de β -amiloide que se forma en el cerebro y prevenir las placas.



La investigación de estos fármacos se ha centrado en la regulación de las enzimas encargadas de cortar la APP; es decir, en inhibidores de la β -secretasa y la γ -secretasa.

Los inhibidores actúan uniéndose a la enzima y evitando que la APP sea cortada, reduciendo así la producción de amiloide. El problema está en que, al igual que otras enzimas, además de su función con la APP, están implicadas también en la regulación de otras proteínas esenciales para el organismo, por lo que impedir su actividad es perjudicial para el individuo.

Los investigadores han estado evaluando la eficacia de los fármacos usando ratones manipulados de modo que esté ausente el gen β -secretasa. Los ratones, al carecer de β -secretasa, manifiestan problemas para mantener el calor corporal, en las retinas y muerte neuronal. Además, se han probado fármacos como el Semagacestat, un inhibidor de la γ -secretasa, que si bien se había visto que disminuía los niveles de proteína beta-amiloide en la sangre y el líquido cefalorraquídeo en los seres humanos, estudios posteriores mostraron que no disminuía la progresión de la enfermedad. Además, se asoció al empeoramiento de la razón y la capacidad para llevar a cabo las actividades de la vida diaria. Por lo que,

lamentablemente, aún se observan fuertes efectos secundarios. Se espera poder utilizar moduladores enzimáticos seleccionados, que inhiban las enzimas y modifiquen la regulación de la APP, pero que no alteren otros mecanismos de señalización.

B) *Prevenir la toxicidad.* Un medicamento llamado Saracatinib es actualmente un tratamiento potencial para la enfermedad de Alzheimer. Este fármaco ha sido estudiado como tratamiento contra el cáncer debido a que puede bloquear eficazmente la enzima llamada proteína quinasa, que desempeña un papel importante en la invasión y diseminación de los tumores. Dado que no se demostró que sea lo suficientemente eficaz para los pacientes con cáncer, se descartó el fármaco contra esta enfermedad.

El Saracatinib, al ser inhibidor de la quinasa Fyn, puede interferir con la vía que conduce a la formación de placas β -amiloides insolubles; por lo tanto, se continúa estudiando para combatir el Alzheimer. Se han realizado estudios en ratones que presentaban síntomas parecidos a la enfermedad de Alzheimer y se administró Saracatinib como tratamiento; los ratones experimentaron una recuperación parcial de memoria. Actualmente, siguen en curso los ensayos en humanos con Alzheimer con Saracatinib como posible tratamiento.

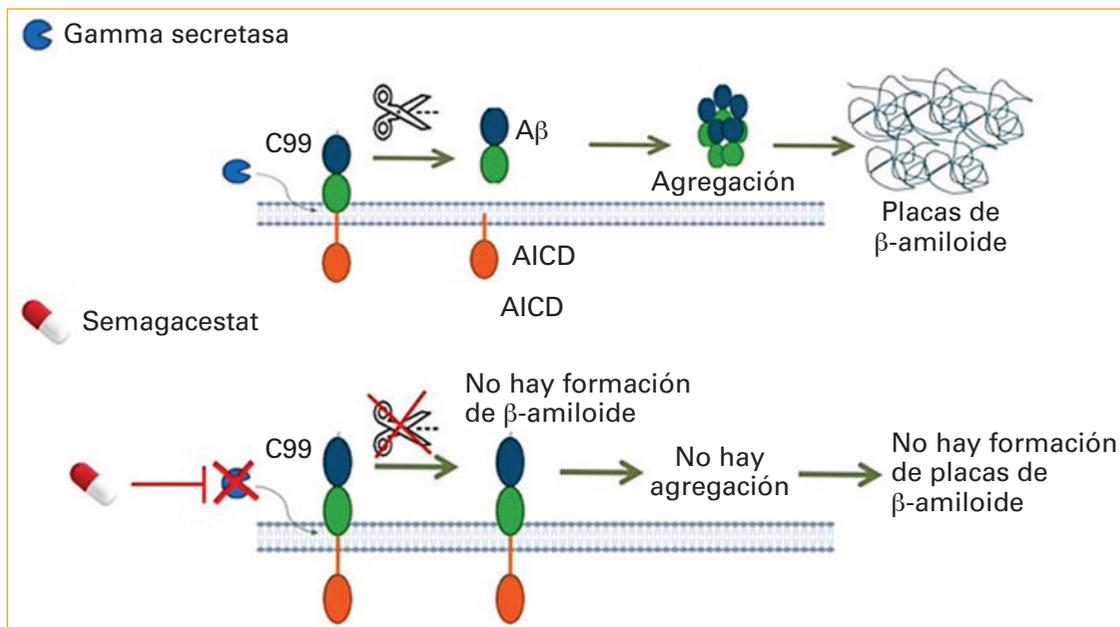


Figura 3. El Semagacestat es un inhibidor de la gamma-secretasa y reduce la formación de placas β -amiloides.

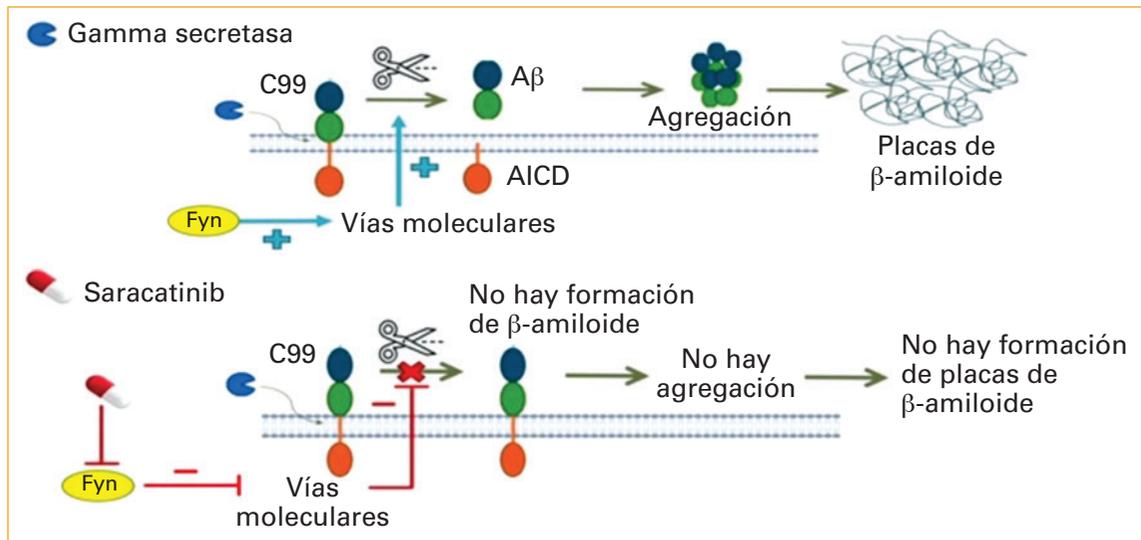


Figura 4. El Saracatinib disminuye la formación de placas beta-amiloides insolubles.

C) *Reclutar al sistema inmune.* Medicamentos como los anticuerpos monoclonales imitan a los anticuerpos que el cuerpo produce naturalmente, como parte de la respuesta a los invasores extraños. El mecanismo de acción de los anticuerpos en la enfermedad es evitar la acumulación de placas beta-amiloides y ayudar a eliminarlas del cerebro. El Aducanumab es el primer fármaco aprobado en Estados Unidos que ataca y elimina los depósitos de placas amiloides en el cerebro, pero su precio ronda los 40 000 euros. Otros fármacos, como el Lecanemab, otro anticuerpo monoclonal, han mostrado altos niveles de agotamiento de la placa beta y una reducción constante del deterioro clínico en varios criterios de valoración.

D) *Reducir la inflamación.* Los investigadores están estudiando formas de tratar el proceso inflamatorio que ocurre en la enfermedad de Alzheimer. El medicamento Leukine está actualmente bajo investigación. El Leukine es un estimulante de colonias de granulocitos de macrófagos derivado de levadura (GM-CSF); ésta es una proteína que se produce en algunos casos de artritis reumatoide. Se ha observado que las personas con artritis reumatoide a menudo no padecen la enfermedad de Alzheimer; por lo tanto, se estudió la versión artificial de Leukine (Sargramostim).

El Sargramostim aumenta el flujo sanguíneo y es un factor estimulante de granulocitos y macrófagos,

que son componentes clave del sistema inmunológico para combatir las infecciones al digerir organismos extraños. Este fármaco estimula las células inmunológicas, las cuales “comen” las proteínas dañadas, y puede retrasar o prevenir la progresión de la enfermedad. Después de la administración de Sargramostim en ratones, se observó que redujo los depósitos de amiloides en ratones y se revirtieron las fallas de memoria.

Conclusiones

En resumen, los avances científicos en la comprensión de los mecanismos de las proteínas anormales en la enfermedad de Alzheimer ofrecen una promesa esperanzadora para comprender y potencialmente combatir esta enfermedad neurológica. Aunque los tratamientos actuales pueden proporcionar alivio temporal de los síntomas, aún no contamos con medicamentos que alteren significativamente el curso de la enfermedad. La tardía administración de fármacos podría ser un factor limitante, ya que el daño cerebral puede ser irreversible en etapas avanzadas.

La naturaleza multifactorial de la enfermedad de Alzheimer destaca la importancia de abordar los factores de riesgo modificables a través de hábitos de vida saludables.

Factores de riesgo

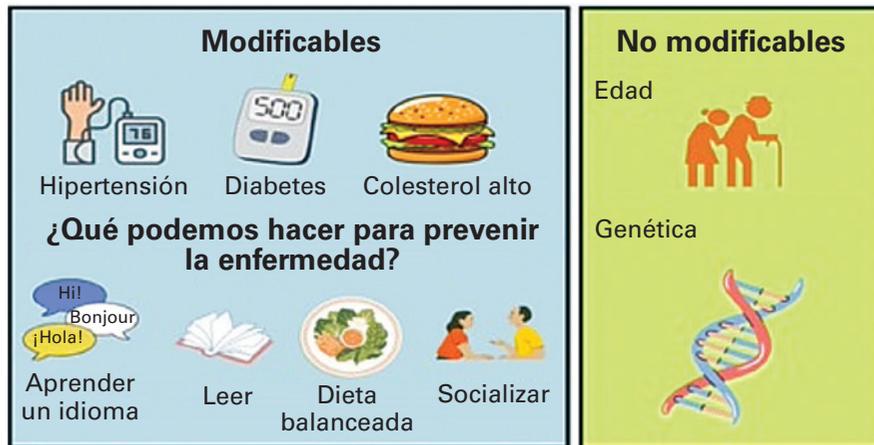


Figura 5. Factores de riesgo para la enfermedad de Alzheimer.

- **Estimular el cerebro:** leer, aprender un idioma, hacer crucigramas o cálculos matemáticos ayuda a mantener la mente activa y evitar el deterioro del cerebro.
- **Realizar actividad física:** mantenerse activo generalmente ayuda a reducir la aparición de demencia.
- **Alimentación balanceada:** una dieta equilibrada tiene un efecto positivo ya que ayuda a combatir el estrés oxidativo, mientras que el consumo excesivo de alcohol y el tabaquismo son perjudiciales para el cerebro.
- **Mantenerse en contacto:** socializar y relacionarse con otras personas mantiene nuestro cerebro activo y despierto.

Porque lo que es bueno para el corazón, es bueno para el cerebro, debemos evitar factores de riesgo

como la diabetes, el tabaquismo y el colesterol. Una dieta equilibrada y el ejercicio son fundamentales para mantenernos mentalmente activos. Y, sobre todo, hay que recordar que todos los cambios comienzan en la mente.

Claudia Lisseth Aguilar Salinas

Química Farmacobiología de la UNAM.
claudialissethaguilar@hotmail.com

Emiliano González Vilchis

Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía.
emiliano.gonzalez@facmed.unam.mx

Laura Virginia Adalid Peralta

Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía.
adalid.laura@yahoo.com

Referencias específicas

- Cox, D., C. Raeburn, X. Sui y D. M. Hatters (2020), "Protein aggregation in cell biology: An aggregomics perspective of health and disease", *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 99:40-54. Disponible en: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29753879/>>, consultado el 25 de mayo de 2024.
- Domínguez, L. (2016), "Proteínas relacionadas con la enfermedad de Alzheimer" [video], CIMAT. Disponible en: <<https://www.youtube.com/watch?v=rdxSiS-9sq0>>, consultado el 25 de mayo de 2024.

- Folch, J., M. Ettcheto, D. Petrov, S. Abad, I. Pedrós, M. Marin, J. Olloquequi y A. Camins (2018), "Una revisión de los avances en la terapéutica de la enfermedad de Alzheimer: estrategia frente a la proteína β -amiloide", *Neurología*, 33(1):47-58. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.nrl.2015.03.012>>, consultado el 25 de mayo de 2024.
- Rodríguez-Leyva, Ildelfonso, Ana Laura Calderón-Garcidueñas y María E. Jiménez-Capdeville (2015), "Plegamiento anormal de proteínas y neurodegeneración", *Revista Mexicana de Neurociencia*, 16(1):51-72.

Cuahutli Miguel Nava Soto, José Henoc Romero Gallegos, Roberto Díaz Carmona y Angélica López Rodríguez



Inseminación artificial en bovinos

En este artículo se examina cómo la combinación de la ganadería tradicional con las más recientes innovaciones tecnológicas está transformando la forma en que se produce ganado vacuno, de modo que pueda asegurarse el suministro de alimentos para las futuras generaciones.

La domesticación es el proceso mediante el cual los seres humanos han manipulado especies silvestres (de animales o plantas) para su uso y consumo. Este proceso implica la selección de individuos con características deseables, como un mayor rendimiento, tamaño o colores específicos, resistencia a enfermedades, o simplemente un comportamiento dócil en el caso de los animales. Este procedimiento ha sido fundamental para el surgimiento de la agricultura, la ganadería y, finalmente, para la formación de las sociedades humanas. Sin embargo, también ha tenido un impacto en la evolución de los ecosistemas y en el desarrollo de especies que tal vez por selección natural no existirían.

Con base en estudios genéticos, morfológicos y arqueológicos, el proceso de domesticación pudo haber comenzado hace 10 000 a 12 000 años, datación que se sustenta, además, en el hecho de que en algunas culturas, como la sumeria y la egipcia, existen registros que hacen referencia a la domesticación de plantas y animales.

El proceso de domesticación probablemente comenzó con la recolección y siembra de semillas de plantas silvestres llevada a cabo por comunidades antiguas. De manera gradual, es probable que los pobladores hayan aprendido a proporcionar agua y luz solar para favorecer su crecimiento. Durante la etapa de floración cosecharon los cultivos para su consumo. Y también descubrieron que algunas plantas proporcionaban fibras útiles para la confección de vestimentas.

Simultáneamente, debió iniciarse el proceso de domesticación animal para aprovechar sus recursos. La leche y la carne sirvieron como alimento, mientras que la piel (o pelaje) se convirtió en un valioso recurso que permitía diseñar vestimentas



Ciclo estral
Fases fisiológicas recurrentes en hembras, definen el ciclo reproductivo.



Figura 1. Domesticación animal. La continua interacción del humano y los animales silvestres facilitó su convivencia.

que les protegían del clima. Con el tiempo se dieron cuenta de que los animales también podían ayudarles con sus labores domésticas, además de servirles de compañía. Este proceso evolutivo, marcado por la interacción entre seres humanos, plantas y animales, transformó radicalmente a las sociedades antiguas, permitiendo el surgimiento de nuevas civilizaciones (véase la **Figura 1**).

Los primeros pobladores no tenían idea de que al procrear la cruce de especies estaban induciendo modificaciones genéticas, pero actualmente la evidencia experimental demuestra que al inducir la creación de nuevas especies se aceleró el proceso evolutivo.

Con la práctica se hizo evidente que la cría selectiva puede presentar algunos inconvenientes: 1) a veces se necesitan varias cruces para producir los resultados deseados; 2) algunos rasgos de los padres se transmiten pocas veces a las crías (es decir, no son dominantes), por lo tanto, la cría de ganado selectivo se complica, y 3) cuando la cruce de especies es pobremente controlada se pueden provocar enfermedades o deformaciones físicas en las crías.

Hoy en día la demanda constante de alimentos de calidad ha incentivado la búsqueda de alternativas para la producción de carne y leche. En consecuencia, los grupos de investigación del sector pecuario han adoptado técnicas de ingeniería gené-

tica para manipular la herencia y reproducción de organismos, además de incluir en sus prácticas algunos métodos específicos que facilitan la selección de los progenitores y el momento para la cópula.

El momento óptimo para la cópula es cuando la vaca está en “estro”; es decir, en el momento de celo, donde son sexualmente receptivas, durante su **ciclo estral**. Los ganaderos a menudo detectan los signos de estro monitoreando el flujo vaginal, la hinchazón de la vulva y el comportamiento animal, aunque actualmente en el mercado hay parches indicadores de reproducción (parches de estro), que contienen un compuesto químico sensible a las hormonas sexuales, que cambia de color en respuesta a las secreciones vaginales.

Cuando una vaca está en celo, los toros naturalmente pueden notarlo mediante el olfato y se excitan sexualmente; de modo que, si la vaca acepta al toro, ésta permanecerá inmóvil mientras el macho la monta. Ahí empieza la cópula (interacción sexual) que regularmente culmina con la eyaculación que puede generar un embarazo.

Ahora bien, actualmente es posible depositar espermatozoides en el aparato reproductor de la hembra, mediante instrumental especializado, sin que se requiera la monta natural del macho sobre la hembra. A este método de inducir la gestación sin copular se le conoce como inseminación artificial (IA).

■ **Antecedentes de la IA**

Las primeras evidencias del uso de técnicas artesanales para favorecer la fecundación de ovinos sin copulación se encontraron en una región de la antigua Mesopotamia llamada Sumeria (localizada en el Medio Oriente, entre los ríos Éufrates y Tigris), y podrían ser del año 3000 a. C., aproximadamente.

Una leyenda árabe narra que, por el año 1200, el semen de los mejores caballos de las cuadras del rey Salomón se recogía en esponjas colocadas en la vagina de una yegua y luego la esponja impregnada con semen se exprimía en otra yegua previamente seleccionada, para así obtener crías con características específicas. Otros documentos del siglo XIV refieren el uso, en alguna parte de Arabia, de métodos

artificiales para favorecer la procreación en yeguas usando también la recolección de semen.

Por otra parte, cuenta la historia que en el siglo xv la reina Juana concibió una hija porque el semen del rey Enrique IV de Castilla (“el impotente”) se introdujo en la vagina real utilizando una cánula de oro. Independientemente de si es real o no esta historia, resulta interesante encontrar referencias a métodos de inseminación artificial en historias antiguas.

En 1677 Anton van Leeuwenhoek y su asistente Johannes Ham, gracias a los microscopios que Leeuwenhoek construyó, describieron los espermatozoides como parte esencial del semen y les llamaron “animáculos”. También hay referencias que indican que a finales de 1700 el fisiólogo italiano Lazzaro Spallanzani realizó IA en peces y anfibios, además de demostrar que para desarrollar un embrión es importante el contacto físico entre el huevo de las hembras y los espermatozoides del semen del macho. Spallanzani también fue capaz de producir tres cachorros caninos por IA.

El primer intento documentado de inseminación artificial en humanos fue realizado por John Hunter en Londres (circa 1770). Él recomendó a un paciente con hipospadias graves (un trastorno en el orificio del pene) que colectara en una jeringa caliente el semen que escapaba durante el coito, para después inyectarlo en la vagina de su mujer y así poder procrear.

Para el periodo comprendido entre finales de 1700 y finales de 1800, no hay mucha evidencia documentada del uso de la IA, aunque muy probablemente se realizaron algunos intentos.

Ilya Ivanovich Ivanov (Rusia, 1870-1932) fue el primero en reportar ensayos formales de IA. Él realizó la primer IA a gran escala usando un rebaño de 5 000 ovejas domesticadas. Además, usó como modelos de estudio perros, conejos y aves de corral. El fundamento de sus métodos sirvió para desarrollar las técnicas de IA modernas.

En España, en el año 1933, se generó por primera vez mediante técnicas de IA un potrillo de carreras; y en este mismo país, en 1936, se obtuvieron corderos. En tanto, a finales de esa misma década, los árabes ya estaban reproduciendo miles de cabezas de ganado vacuno y ovino mediante IA.

En 1940 Chang y Walton implementaron un procedimiento para congelar el semen, facilitando la inseminación de varias hembras sin necesidad de transportar al macho. Por consecuencia, aumentó la popularidad de la técnica de IA.

En México se empezó a utilizar la inseminación artificial a mediados de 1960 en el Instituto Nacional de Inseminación Artificial y Reproducción Animal, utilizando semen congelado y fresco. A partir de la década de los sesenta, la IA se hizo popular en el ganado vacuno. En 1978, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) –hoy Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa)– fundó en Querétaro el Centro de IA más grande de México. Allí procesaron 30 000 dosis de esperma de toros de diversas razas durante el primer año. Luego, hacia 1980, la Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó un manual sobre la calidad del semen, estandarizando así los métodos de evaluación de los espermatozoides de diferentes especies.

Actualmente, son más de 80 millones las vacas que son inseminadas anualmente en todo el mundo. Hoy día es posible identificar el tipo de raza y las características de las especies a cruzar en función del resultado que se quiera obtener; para esto se han facilitado catálogos que especifican las características del macho donador de semen, de modo que el productor pueda elegir de acuerdo con sus necesidades.

Inseminación artificial en bovinos

En la producción bovina, la inseminación artificial inicia con la selección cuidadosa de la hembra y el macho para después obtener los espermatozoides usando una **vagina artificial** y un **electroeyaculador** (véase la **Figura 2**). Después, con la finalidad de conocer la calidad del semen obtenido, mediante un análisis de laboratorio se determina el color, volumen, densidad del líquido, pH, olor y aspecto, además de contar y revisar el número, la forma y la viabilidad de los espermatozoides obtenidos. Luego la muestra se puede almacenar ultracongelada en un recipiente que contiene nitrógeno líquido (a una temperatura de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$). Para optimizar la conservación, el

Vagina artificial
Simula una vagina bovina y facilita la recolección de semen.

Electroeyaculador
Induce la erección y eyaculación en machos bovinos.



Figura 2. Dispositivos auxiliares para la inseminación artificial en bovinos. A) Vagina artificial con diseño casero. B) Equipo del electroeyaculador.

semen se diluye en una solución especial que protege a los espermatozoides para que no se dañen durante el proceso de almacenaje. Luego, cuando la vaca esté en celo, los espermatozoides congelados deberán descongelarse gentilmente en hielo. La técnica recto-vaginal es la más utilizada para inseminar vacas; los expertos se apoyan usando una pistola de inseminación y siguen estrictas condiciones de asepsia. A continuación se revisa frecuentemente el estado de la vaca para asegurar un parto saludable.

La inseminación artificial (IA) ha demostrado ser una tecnología confiable para los ganaderos, particularmente porque favorece la expresión de rasgos genéticos específicos y evita la propagación de algunas enfermedades venéreas. No obstante, el desarrollo de los protocolos de IA en condiciones inadecuadas puede disminuir la eficiencia reproductiva a niveles menores que los obtenidos con vacas preñadas por monta natural.

En la ganadería se considera el tiempo que transcurre entre partos como una medida de la eficiencia de la gestación. El periodo entre partos se mide en meses. Aunque se considera que 12 meses es un intervalo óptimo, el tiempo promedio real es de aproximadamente 13.5 meses. Un intervalo de 12 meses significa que la vaca se embarazó después de los 100 días del periodo de lactancia. Más allá de este punto se estima una pérdida económica, ya que además de perder la producción de la cría, se afectará la producción lechera.

■ **Sistemas de reproducción bovina usados en México**

■ La cría de ganado vacuno se extiende por todo México e impacta directamente el sustento y la estabilidad económica de los mexicanos. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés), México se encuentra entre los principales productores de carne de res y ganado bovino en el mundo. De acuerdo con la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, México exporta ganado bovino a países de América del Norte, Centro y Sudamérica, así como a algunos países de Asia y Medio Oriente. Por ejemplo, durante el periodo de exportación 2022-2023 se vendieron a Estados Unidos 901 754 cabezas de ganado en pie. Chihuahua encabeza la lista de los estados exportadores; le siguen Sonora, Durango, Tamaulipas y Nuevo León. Algunas entidades federativas mexicanas, como Jalisco, Chihuahua, Coahuila, Veracruz y Nuevo León cuentan con centros de mejoramiento ganadero. Además, en 2019 se inauguró el Centro de Mejoramiento Genético Ganadero del estado de Durango, el cual actualmente brinda servicios de procesamiento y venta de semen bovino, pruebas de fertilidad e inseminación artificial, además de ofrecer capacitación técnica al personal encargado de los rebaños.

Además de la IA y la monta natural (véase la **Figura 3**), se utilizan diversos sistemas de reproducción bovina que pueden elegirse de acuerdo con el tipo de producción ganadera, el tamaño del rebaño, las condiciones climáticas y la disponibilidad de recursos con que se cuente. Por ejemplo:

- **La transferencia de embriones:** En este sistema se recolectan los embriones de vacas de alto valor genético mediante técnicas de reproducción asistida y se transfieren a vacas receptoras para su gestación y parto. Este método se utiliza principalmente en la producción de ganado de élite y en la multiplicación rápida de animales de alto valor genético.
- **La fertilización *in vitro*:** Es una técnica avanzada en la que se fecundan en un laboratorio los ovocitos (célula reproductora femenina) de una vaca con esperma de un toro y los embriones resultantes

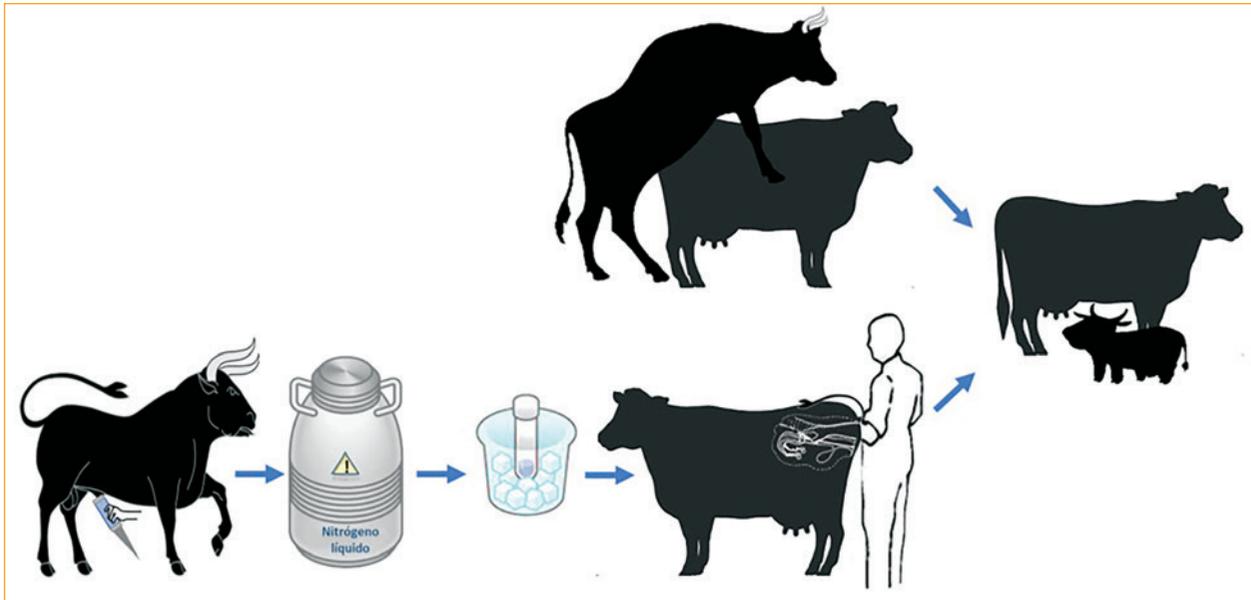


Figura 3. Inseminación de bovinos. La procreación de becerros puede darse naturalmente por la copulación macho-hembra, o puede inducirse de manera artificial. El semen recolectado del macho se congela usando nitrógeno líquido. Una vez que la hembra entra en celo, el semen se descongela para inseminar a la hembra seleccionada

se transfieren posteriormente a vacas receptoras para su gestación.

A los diferentes métodos de reproducción se les asocian tanto ventajas como desventajas, las cuales de-

ben ser consideradas al momento de decidir cómo fecundar una vaca (véase la [Tabla 1](#)).

La producción de ganado lechero, en particular, se ha beneficiado en gran medida por la reproducción asistida. Por ejemplo, usando la transferencia

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los métodos de reproducción de bovinos.

Métodos	Ventajas	Desventajas
Monta natural	<ul style="list-style-type: none"> • Es el proceso natural de apareamiento. • Menor costo inicial en comparación con la inseminación artificial. • No se requiere equipo especializado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor control sobre la genética de la descendencia. • Riesgo de propagación de enfermedades venéreas. • Mayor riesgo de lesiones para los animales durante el apareamiento.
Inseminación artificial	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor control sobre la genética de la descendencia, lo cual permite la selección de rasgos deseables. • Se reduce el riesgo de enfermedades venéreas. • Mayor eficiencia reproductiva, ya que es posible la inseminación de múltiples vacas con un solo eyaculado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere equipo especializado y capacitación de personal. • Mayor costo inicial debido a los equipos y suministros necesarios. • Requiere una buena detección del celo para lograr altas tasas de concepción.
Transferencia de embriones	<ul style="list-style-type: none"> • Multiplicación rápida de animales de alto valor genético. • Mayor control genético al permitir la producción de múltiples crías de una sola hembra de élite. • Se reduce el riesgo de transmisión de enfermedades genéticas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos significativamente más altos en comparación con otros métodos de reproducción. • Requiere instalaciones y equipos especializados. • Menor tasa de éxito en comparación con la IA.
Fertilización in vitro	<ul style="list-style-type: none"> • Permite la reproducción de animales infértiles o de alto valor genético sin necesidad de apareamiento natural. • Mayor control sobre la selección genética. • Posibilidad de congelar embriones para su uso futuro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo muy elevado en comparación con otros métodos de reproducción. • Requiere tecnología avanzada y personal capacitado. • Menor tasa de éxito en comparación con otros métodos.

Semen sexado ▶ Clasificación de espermatozoides mediante técnicas especializadas, según el tipo de cromosomas sexuales (X: hembra, sY: macho).

de embriones o la IA los productores pueden mejorar la calidad de la leche, incluyendo los sólidos totales (como la grasa y las proteínas). Adicionalmente, se puede elegir el sexo del embrión, antes de la inseminación, usando **semen sexado**. Esto es beneficioso en la producción lechera, ya que la mayoría de los productores prefieren tener más hembras para la producción de leche. En resumen, los métodos de reproducción asistida ayudan a los ganaderos a producir bovinos a conveniencia, ya que hacen posible maximizar el mejoramiento de especies que son económicamente importantes, además de asegurar su salud y fertilidad.

Antes, la selección de toros sementales se hacía considerando sólo los registros de progenie de

sus crías (cantidad y rasgos característicos de las crías); actualmente, para una mejor selección, con frecuencia se usa la información genética. La mayor ventaja de seleccionar genéticamente el ganado es que conociendo con precisión las características de los animales que se van a cruzar, se puede reducir el intervalo de procreación para producir crías con características específicas. En la actualidad, ya hay animales genéticamente modificados para optimizar el ganado, controlar enfermedades o reducir costos de alimentación y la huella ambiental de la producción ganadera.

Aunque la interacción del ser humano con los bovinos ha favorecido el desarrollo pecuario (véase la **Figura 4**), la capacitación de las personas que



Figura 4. Empatía entre seres humanos y bovinos. El trato a los animales es fundamental para los productores. Algunos ganaderos aseguran que el trato rudo disminuye el flujo de leche.

integran este sector aún representa un gran reto, ya que se debe asegurar la calidad de vida de los animales, además de vigilar los cambios genéticos que se inducen, para procurar la obtención de ejemplares sanos y productivos, pero sin acelerar procesos evolutivos que perjudiquen el ecosistema.

Cuahutli Miguel Nava Soto

Universidad Juárez del Estado de Durango.
Facultad de Ciencias Químicas.
cuami98@gmail.com

José Henoc Romero Gallegos

Universidad Juárez del Estado de Durango.
Facultad de Ciencias Químicas.
dragon.-jh.-@hotmail.com

Roberto Díaz Carmona

Universidad Juárez del Estado de Durango.
Facultad de Ciencias Químicas.
rcarmona289@outlook.com

Angélica López Rodríguez

Universidad Juárez del Estado de Durango.
Facultad de Ciencias Químicas.
angelica.lopez@ujed.mx

Lecturas recomendadas

Dehesa Santiesteban, F. L. (2021), “Discurso de contestación”, en *Arqueozoología y domesticación animal: lo primero que un veterinario debería conocer sobre la historia de su profesión*, discurso de ingreso, como académico de número, pronunciado por Francisco Gil Cano. Disponible en <https://www.racve.es/wp-content/uploads/2021/12/211129_Discurso-ingreso-Excmo.-Sr.-D.-Francisco-Gil-Cano__.pdf>, consultado el 2 de abril de 2024.

Hill, S. L, D. M. Grieger, K. C. Olson *et al.* (2016), “Using estrus detection patches to optimally time insemination improved pregnancy risk in suckled beef cows enrolled in a fixed-time artificial insemination program”, *Journal of Animal Science*, 94(9): 3703-3710.

Ombelet, W. y J. van Robays (2015), “Artificial insemination history: hurdles and milestones”, *Facts Views Vis Obgyn*, 7(2):137-143.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2023), “Reporta Agricultura crecimiento de 10 por ciento en exportación de ganado bovino mexicano a Estados Unidos”, Gobierno de Mexico. Disponible en: <<https://www.gob.mx/agricultura/prensa/reporta-agricultura-crecimiento-de-10-por-ciento-exportacion-de-ganado-bovino-mexicano-a-estados-unidos>>, consultado el 2 de abril de 2024.

Uribe Mendoza, B. I. (2021), “La domesticación animal: apuntes sobre su origen e impacto en el orden social y biológico”, *Revista Latinoamericana de Estudios Críticos Animales*, 8(1): 422-442. Disponible en <<http://revistaleca.org/index.php/leca/article/view/83>>, consultado el 2 de abril de 2024.

Vargas, R. y H. Rodríguez (1974), “Inseminación artificial en vacunos”, en *Manual de Asistencia Técnica-Instituto Agropecuario Colombiano*. Disponible en: <<http://hdl.handle.net/20.500.12324/28486>>, consultado el 2 de abril de 2024.

Hacia un aprovechamiento total del **brócoli** y el **agave**

En México, el estado de Guanajuato es uno de los principales productores de brócoli y agave, los cuales se usan como alimento o en la elaboración de bebidas. De estas plantas se generan subproductos de donde se pueden extraer compuestos bioactivos. Además, las hojas de agave pueden ser transformadas en textiles, o ensilarlas para generar alimento para consumo animal.

Introducción

Los seres humanos consumimos alimentos para satisfacer las necesidades nutricionales de nuestro cuerpo. De los alimentos tomamos los aminoácidos para construir proteínas; los azúcares, que nos dan energía, y los lípidos, que son reserva energética y nos ayudan a regular nuestra temperatura corporal. Además, son una fuente importante de **compuestos bioactivos**, los cuales contribuyen a la salud de las personas y pueden ser antioxidantes, anticancerígenos, antiinflamatorios, antidiabéticos y antimicrobianos. Durante nuestra vida podemos ingerir alimentos de origen animal o vegetal. Dentro de los vegetales, ingerimos frutas y hortalizas como el brócoli (nombre científico: *Brassica oleracea*, var. *italica*) (véase la **Figura 1**). Asimismo, necesitamos ingerir bebidas, como el agua, que nos permitan disolver las biomoléculas para que adquieran la estructura tridimensional y el medio físico para ejercer su función en nuestro organismo. Algunas bebidas son consideradas espirituosas, como el tequila, el mezcal, la bacanora, la raicilla, el pulque, donde la materia prima para producirlas es el *Agave* spp.

El estado de Guanajuato es uno de los principales productores de agroalimentos en el país, ya sea como productos frescos, congelados o procesados. A escala nacional, Guanajuato es el principal productor de brócoli, superando a Puebla, Querétaro, Aguascalientes y Zacatecas. En Guanajuato se encuentran diversas empresas procesadoras de hortalizas, como MarBran, Gigante Verde, Mr. Lucky, Expor San Antonio, las cuales procesan brócoli para exportación o mercado interno. Adicionalmente, es uno de los principales productores de agave y cuenta con varios municipios con denominación de origen de tequila y mezcal. Esto ha favorecido

Compuestos bioactivos

Compuestos químicos obtenidos de los alimentos y que juegan un papel importante en la salud de las personas.





Figura 1. El brócoli y el agave son dos plantas de importancia agrícola y comercial para el estado de Guanajuato. a) El brócoli lo podemos encontrar en las tiendas tradicionales como producto fresco, pero también se comercializa congelado o procesado. El florete está formado por inflorescencias de diversos tamaños. Las inflorescencias están sostenidas por pedúnculos y éstos a su vez por el tallo. b-c) A partir de la piña del *Agave* spp. se elaboran bebidas como el tequila y mezcal. Foto tomada en un sembradío de agaves en Pénjamo Guanajuato.

el establecimiento de diversas tequileras y mezcaleras dentro de Guanajuato. Desafortunadamente, no todo el brócoli que procesan las empresas, o que se comercializa en los mercados, ni toda la planta completa de *Agave* spp. se aprovechan. No obstante que dichos **subproductos agrícolas** son una fuente importante de compuestos bioactivos que pueden ayudar a la salud, o servir como alimento para consumo animal, pudiendo generar ingresos extras y ayudando a disminuir parte de la contaminación que ocasionan. Se estima que el 45% de los vegetales y frutas que se cosechan a nivel mundial son desperdiciadas y que un tercio de la comida que se produce para consumo humano (casi 1 300 millones de toneladas) termina en los basureros o vertederos (Naciones Unidas, 2018). Aun cuando la cantidad y tipo de desechos vegetales que se generan en México y a nivel mundial es inmensa, en este trabajo nos enfocaremos en contestar la pregunta: ¿si vale la pena aprovechar los subproductos de brócoli y las hojas de agave?; lo anterior debido a que son dos de los subproductos que más se generan en el estado de Guanajuato.

el primer lugar nacional en la producción de brócoli, coliflor y lechuga; segundo lugar en espárrago y tercero en cebolla, fresa y garbanzo. En ese mismo año, tuvo ventas de exportación por 845 423 302 de dólares en productos frescos, congelados y procesados, siendo los principales países de destino Estados Unidos, Japón, Canadá, Países Bajos, Guatemala, Honduras y Corea del Sur (Sector agroalimentos Guanajuato, 2020). Con relación al brócoli, cerca del 70-80% se exporta congelado, y el resto se comercializa fresco.

Ahora bien, en el 2020 Guanajuato, Puebla y Jalisco produjeron cerca de 500 000 toneladas de brócoli y se estima que el 15% de la producción se descartó, ya sea durante su manejo en las empacadoras o en los mercados. En las empresas donde se empaca el brócoli se selecciona sólo el producto de buena calidad y se desecha el que tiene floretes amarillentos, daño mecánico, daño por insectos, o que están flácidos, inmaduros, “podridos”, o por la presencia de larvas de insectos (véase la **Figura 2**).

Subproductos agrícolas

Material y subproducto vegetal que se obtiene de manera secundaria de un proceso productivo, al mismo tiempo que el producto principal.

Brócoli, ¿cuánto se produce y cuánto se aprovecha?

En el estado de Guanajuato se procesa una gran diversidad de vegetales para consumo interno o de exportación. Algunos de los productos se precuecen y se venden como vegetales congelados, y otros se comercializan frescos. En 2019 Guanajuato ocupó

Usos y productos del brócoli

En su uso para consumo humano, del brócoli se aprovecha principalmente el florete. El brócoli contiene proteínas, fibra, vitaminas (A, B, C, K), minerales (calcio, fósforo, azufre, potasio, hierro, yodo), sulforafanos y compuestos bioactivos (antioxidantes, glucosinolatos, antimicrobianos) (Drabińska *et al.*, 2018). Una ración diaria de 200 g de brócoli proporciona

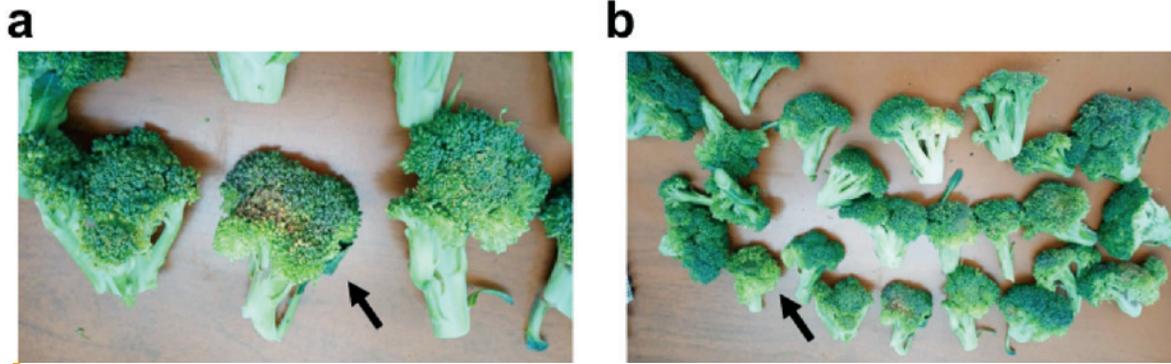


Figura 2. Inflorescencias de brócoli que podrían usarse como subproductos. a) Inflorescencia amarilla (indicada con una flecha); b) Inflorescencia con poco desarrollo (se muestra con una flecha).

la cantidad de vitamina C que nuestro cuerpo necesita. El brócoli se puede consumir crudo o cocinado lo menos posible para que conserve sus propiedades. Cuando se realiza una búsqueda en internet, se pueden encontrar una gran cantidad de recetas para preparar y saborear el brócoli; por ejemplo, ensalada César de brócoli, sartén de brócoli con especias y coco, ensalada de brócoli con aguacate y huevo, bacalao con costra de brócoli, o simplemente precocido y frito con huevo.

Es común ver que en las empresas donde se empaqueta el brócoli, un porcentaje se desecha. Muchos de estos subproductos son aprovechados por ganaderos que los recogen y los usan como alimento para animales, ya que siguen conservando gran parte de los nutrientes y compuestos bioactivos. Se ha reportado que las hojas del brócoli, maceradas y liofilizadas, son fuente importante de nutrientes y compuestos bioactivos, por lo que se han usado para fortificar minibizcochos libres de gluten (Drabińska *et al.*, 2018).

El agave, ¿qué se aprovecha y qué se desecha?

El agave es una planta fuertemente conectada con la cultura mexicana. La bebida que se puede preparar depende del tipo de agave, ya que existe la denominación de origen. Por ejemplo, el *Agave tequilana* Weber variedad azul se usa para elaborar el tequila, mientras que el *Agave angustifolia* se usa para preparar el mezcal. Los cultivos de *Agave* spp. tardan entre 7 y 8 años para la **jima**, actividad donde se cortan las

hojas y se colecta la piña que se comercializa para elaborar estas bebidas.

Por otro lado, las hojas regularmente se dejan a la intemperie, donde suelen abandonarse o bien quemarse, lo cual resulta en una fuente de contaminación del suelo y el aire (véase la **Figura 3**). Según datos oficiales, en 2020 en México se cosecharon 25 741.38 hectáreas, de las que se obtuvo una producción de 1 913 025.96 toneladas de agave, de las cuales 273 586.25 toneladas correspondieron al estado de Guanajuato (SIAP, 2020).

¿Qué podemos hacer con los subproductos del agave?

Como se mencionó, lo que se comercializa es la piña del agave y lo que usualmente se desecha son las hojas. Con este subproducto tan resistente se pueden elaborar infinidad de cosas, desde la sabrosa barbacoa estilo Hidalgo, donde se utilizan las hojas de agave para su cocción, o el mixiote, que consiste en carne enchilada cocida al vapor envuelta en una película que se desprende de las hojas de maguey. Además, con las fibras se pueden elaborar máscaras, textiles, lazos, bolsas, sogas, fajas, frazadas, tapetes, sandalias, morrales, hamacas, etc. Asimismo, las hojas se pueden macerar y ensilar para generar alimentos para ganado. Se ha encontrado que las hojas del agave también son ricas en compuestos bioactivos, con propiedades anticancerígenas, antidiabéticas, antiinflamatorias y estimulantes de la expresión enzimática, así como antifúngicas (Pérez-Zavala *et al.*, 2020).

Jima
Proceso por el cual se cortan las hojas del agave adulto, dejando libre la piña para comercializarla.

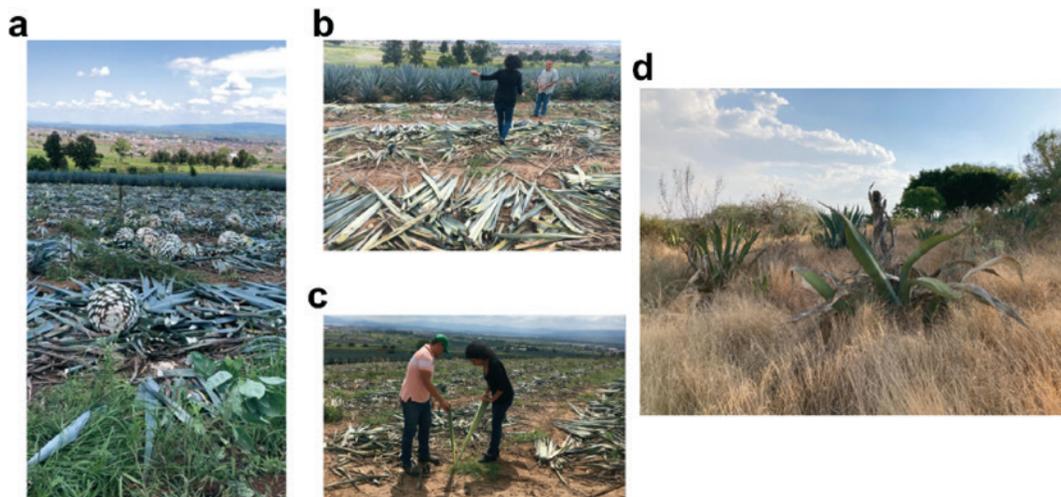


Figura 3. Hojas de agave. a-c) Durante la jima se colectan las piñas, las hojas se apilan, se secan y se queman, contaminando aire y suelo. Campo de agave en Pénjamo Guanajuato. d) De manera silvestre pueden crecer diversos tipos de agaves; algunos mueren, sus hojas se secan, pueden biodegradarse o ser una fuente de contaminación. Campo cercano a la División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato.

■ **Perspectivas**

■ El brócoli es una fuente excepcional de compuestos que nuestro cuerpo necesita para funcionar correctamente. A los subproductos del brócoli se les pueden extraer moléculas bioactivas que podrían usarse de modo preventivo para ciertas enfermedades. La vida media de los nutrientes o compuestos bioactivos del brócoli puede incrementarse mediante la **microencapsulación**. Se ha reportado que el brócoli contiene, además, proteínas o **péptidos** con actividad inhibitoria contra bacterias presentes en alimentos y que son patogénicas para los seres humanos (Pacheco-Cano *et al.*, 2020), por lo que las microcápsulas podrían ser un excelente medio para conservar dichas propiedades y usarse como suplementos alimenticios. Adicionalmente, ya que el brócoli es rico en celulosa, investigadores mexicanos han utilizado esta biomolécula para desarrollar bioplásticos. Estos polímeros orgánicos son de suma importancia, ya que un plástico no biodegradable podría tardar en degradarse en tierra de 400 a 500 años, mientras que un bioplástico elaborado a partir del brócoli podría degradarse en un año (Escudero, 2021). Los ejemplos anteriores muestran algunos de los usos que podrían tener las biomoléculas extraídas de los subproductos del brócoli, generando un valor agregado a los productos desarrollados.

Microencapsulación

Método para "atrapar" partículas de sólidos y gotas de compuestos volátiles y líquidos en esferas finas de polímeros.

Péptidos encriptados

Péptidos pequeños dentro de las proteínas que son liberados mediante hidrólisis enzimática y que pueden presentar diferentes propiedades funcionales.

Por otro lado, a pesar de que las hojas de agave pueden ser usadas en la elaboración de textiles, otra opción es la obtención de ensilados para consumo animal. Desafortunadamente, pocas personas o empresas se interesan en colectarlas y procesarlas para aumentar su valor. La maceración y ensilado de las hojas de agave para consumo animal puede ser una fuente de ingreso extra para los agaveros, o bien un ahorro si tienen animales de granja y el forraje ensilado lo usan para alimentarlos. Al igual que los compuestos bioactivos del brócoli, su extracción y protección en microcápsulas comestibles, lo cual aumenta su vida media, puede hacer que se usen



como suplemento alimenticio, una alternativa que debe investigarse con más profundidad.

Conclusiones

Al principio nos hicimos la pregunta de si valdría la pena aprovechar los subproductos de brócoli y las hojas de agave; la respuesta, después de la información presentada, es afirmativa, ya que existen diversas opciones de uso para estos subproductos. La presencia de compuestos bioactivos que pudieran microencapsularse y el potencial para ser transformados en productos textiles, o como ensilados para consumo animal, debería ser un estímulo para que personas puedan invertir en el aprovechamiento de los subproductos de brócoli y en las hojas de agave, con lo cual se puede generar un ingreso y combatir la contaminación que provoca el desecharlos.

Ma. de Lourdes Pérez-Zavala

Departamento de Agronomía, Universidad de Guanajuato.
mlperez@ugto.mx

Uriel E. Barboza-Pérez

Centre for Engineering Biology, The University of Edinburgh.
urielbarboza14@gmail.com

José E. Barboza-Corona

Departamento de Alimentos y Posgrado en Biociencias,
Universidad de Guanajuato.
josebar@ugto.mx

Lecturas recomendadas

- Drabińska, N. *et al.* (2018), "Broccoli by-products improve the nutraceutical potential of gluten-free mini sponge cakes", *Food Chemistry*, 267:170-177. Disponible en: <doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.119>.
- Escudero, E. (2021), "Mexicanos crean un plástico degradable a base de brócoli", *Ambiente Plástico*. Disponible en: <<https://www.ambienteplastico.com/mexicanos-crean-un-plastico-degradable-a-base-de-brocoli/>>, consultado el 23 de mayo de 2022.
- Naciones Unidas (2018), "El desperdicio de comida, una oportunidad para acabar con el hambre", *Noticias ONU*. Disponible en: <<https://news.un.org/es/story/2018/10/1443382#:~:text=%C2%BFSab%C3%ADa%20que%20e1%2045%25%20de,como%203700%20millones%20de%20manzanas>>, consultado el 22 de mayo de 2022.
- Pérez-Zavala, M. L. *et al.* (2020), "Agave: A natural renewable resource with multiple applications", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(15): 5324-5333. Disponible en: <doi.org/10.1002/jsfa.10586>.
- Pacheco-Cano, R.D. *et al.* (2020). "Class I defensins (BraDef) from broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) seeds and their antimicrobial activity", *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 36:30. Disponible en: <<https://doi.org/10.1007/s11274-020-2807-6>>.
- Sector agroalimentos Guanajuato (2020). Coordinadora de Fomento al Comercio Exterior. Disponible en: <<https://cofoce.guanajuato.gob.mx/wp-content/uploads/2020/09/Sector-Agroalimentos-Junio-2020.pdf>>, consultado el 21 de mayo de 2022.
- SIAP (2020), "Avance de siembras y cosechas. Resumen por estado", Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: <http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do>, consultado el 5 mayo de 2022.



Rogelio Ochoa-Barragán, Aurora del Carmen Munguía-López y José María Ponce-Ortega



La gestión de residuos después del covid-19

La gestión de residuos es uno de los principales retos de los grandes centros urbanos y la pandemia de covid-19 no ha hecho más que agravar el problema; sin embargo, la mejor manera de abordarlo es a través de la revalorización de distintos tipos de residuos, realizando una planificación óptima que permita identificar las mejores tecnologías y productos para implementar un parque industrial que minimice el impacto ambiental y social, donde se impulse el reciclaje mediante impuestos verdes. En este trabajo se discuten y presentan diversas alternativas para un manejo óptimo de los residuos sólidos.

Introducción

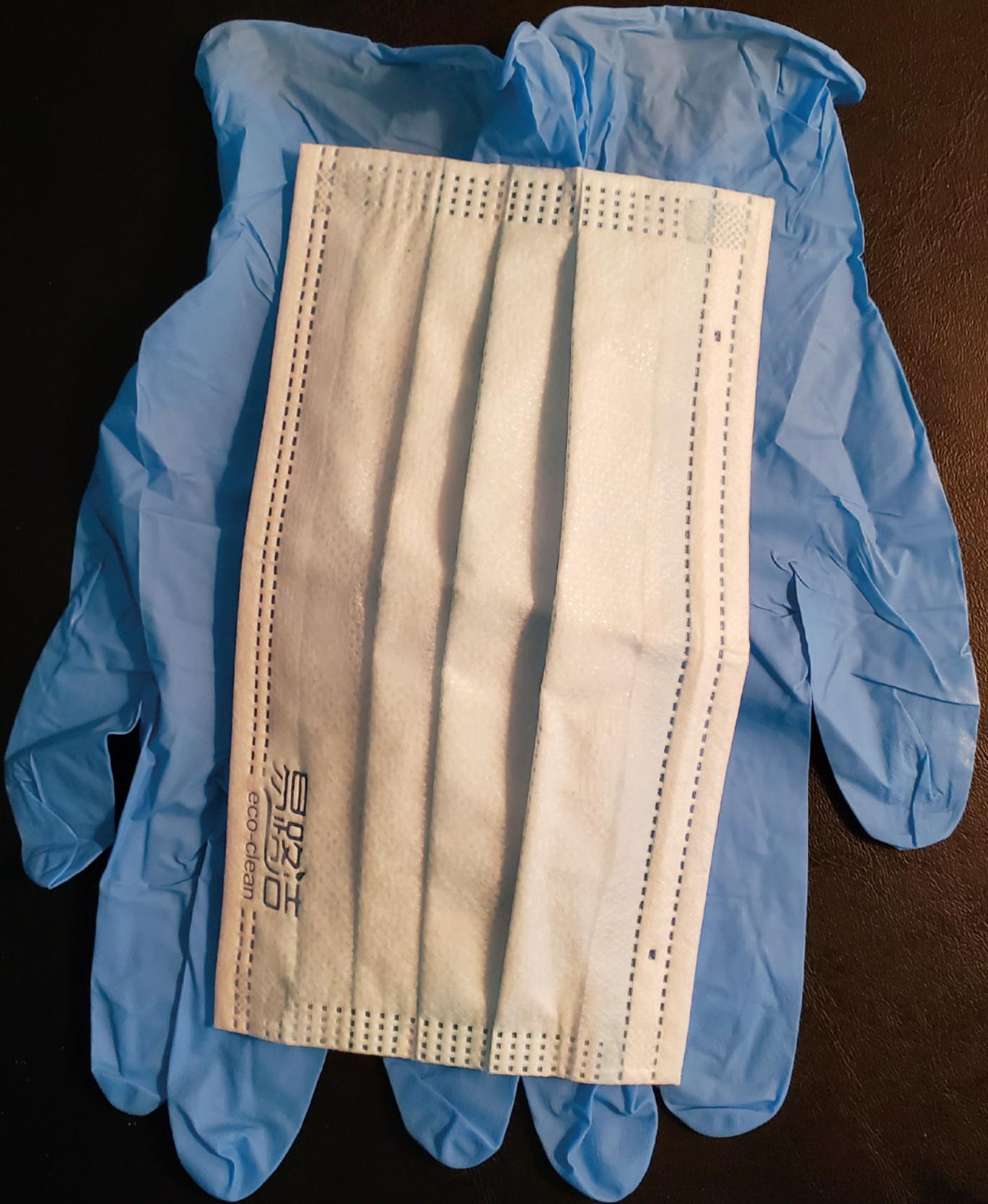
A parte de los problemas causados por la pandemia de covid-19, también hubo efectos positivos en el medio ambiente, como una mejor calidad del aire durante la cuarentena, e incluso grandes avances tanto en el desarrollo de vacunas como de tecnologías para el trabajo a distancia. Sin embargo, uno de los principales problemas de la pandemia ha sido el aumento de la generación de diferentes tipos de desechos (principalmente médicos). Este tipo de residuos representa un riesgo potencial para la salud de los recolectores de basura, el personal sanitario, los pacientes y el público en general.

La gestión de desechos sólidos ya era un problema incluso antes de la pandemia, especialmente en los países en desarrollo, debido a la falta de infraestructura para el procesamiento de desechos. El riesgo existente por una mala gestión de los residuos es tan alto que se estima que, a nivel mundial, aproximadamente 9.2 millones de personas fallecen anualmente debido a este problema (The Daily Star, 2021).



Modelos matemáticos y estrategias para el manejo de residuos

Durante las últimas décadas se han explorado diversas alternativas para gestionar los residuos sólidos urbanos (RSU), donde la conversión de estos residuos en



易路洁
eco-clean

Pirólisis

Proceso térmico que descompone materia orgánica en ausencia de oxígeno, produciendo productos gaseosos, líquidos y sólidos.

energía a través de tecnologías como la gasificación, **pirólisis** e incineración se ha convertido en tendencia. Es fundamental destacar que no todos los tipos de residuos son adecuados para este proceso. Por ejemplo, los residuos metálicos tienen un alto valor económico debido a los derivados que pueden obtenerse. Sin embargo, a pesar de la amplia gama de tecnologías disponibles, las tasas de reciclaje continúan siendo bajas en muchas regiones, incluyendo México, donde sólo se recicla el 9.6% de los residuos generados. En comparación, en países como Estados Unidos, donde la producción de residuos es sustancialmente mayor, se logra un 35% de reciclaje.

Para fomentar el reciclaje y maximizar los beneficios económicos, se han propuesto diversas estrategias políticas y financieras. Por ejemplo, Ko y cols. (2020) desarrollaron una estrategia basada en la implementación de “impuestos verdes” en un escenario hipotético en Corea del Sur. Este enfoque plantea el desafío de encontrar la tasa de impuestos óptima que promueva el reciclaje sin generar desaprobación social. Por otro lado, Santibáñez-Aguilar y cols. (2013) presentaron una estrategia de optimización para el reciclaje sostenible de RSU; se observó, sin embargo, un rechazo en el reciclaje de ciertos tipos de residuos, como el vidrio, debido a los altos costos asociados a la separación y transporte.

Estas estrategias se alinean con el enfoque de intensificación de procesos que busca maximizar el

rendimiento y los beneficios económicos utilizando materias primas naturales o residuales. En este contexto, la creación de un parque industrial especializado en el procesamiento de RSU podría potenciar este enfoque (Fernández Rivas y cols., 2018), lo cual podría resultar especialmente útil para residuos con bajo potencial económico.

Cadena de suministro circular

Comúnmente, el manejo de residuos comprende diferentes tipos y subtipos de éstos, así como diferentes tecnologías para cada tipo de procesamiento, motivo por el cual las plantas de procesamiento de residuos suelen estar en distintas ubicaciones, incluso en regiones distintas al lugar generador del residuo, lo que provoca que los beneficios logrados no sean observables en la región de origen. Evidentemente, los centros urbanos son los grandes generadores de residuos y bajo la estrategia presentada pueden actuar como consumidores de nuevos materiales y recursos energéticos generados en el proceso del reciclaje de sus mismos residuos procesados en un parque industrial dentro de su misma región, dando lugar a un cambio en la cadena de suministro, de lineal a circular, mejorando así la eficiencia del uso de los residuos, lo cual es parte justamente del concepto de economía circular.

Parque industrial

La asignación geográfica del parque industrial es esencial, pues algunos tipos de residuos tienen un bajo potencial económico, como el vidrio, que debido a lo delicado de su manipulación —se fragmenta con facilidad—, resultan caros su separación y transporte, sobre todo si lo comparamos con los precios de venta de sus derivados, pues la separación de residuos representa uno de los mayores costos de todo el proceso. El sistema propuesto cuenta con dos rellenos sanitarios. En el primero se envían residuos de cualquier tipo que no puedan ser procesados, excepto residuos médicos que deben ser enviados a un relleno sanitario especial, debido al alto riesgo para la salud que representa esta clase de residuos (como





Figura 1. Estrategia propuesta para el manejo de residuos sólidos urbanos.

los generados durante la pandemia de covid-19). La eliminación de residuos en vertederos es económicamente barata, pero el costo ambiental es alto. Por tanto, para evitar el envío de grandes cantidades de residuos a estos vertederos, se propone un impuesto variable en función de las cantidades de residuos que se envíen a los vertederos (véase la Figura 1).

¿Qué tecnologías utilizar?

La formulación del modelo matemático utiliza parámetros que permiten seleccionar un proceso sobre otro cuando existe más de una alternativa para el tratamiento de un tipo de residuo empleando

disyunciones lógicas, por lo que el modelo es alimentado con un conjunto de parámetros inherentes a los costos de inversión de cada tecnología y sus respectivas eficiencias en el procesado de residuos. El uso de una tecnología u otra depende del objetivo a lograr, ya sea económico, social o ambiental; luego, el modelo selecciona y asigna las respectivas capacidades de procesamiento en función del objetivo propuesto (véase la Figura 2).

Tasa de impuestos variable

La construcción de un parque industrial capaz de procesar el 100% de los residuos generados en ciu-



Figura 2. Esquema propuesto para la selección de tecnologías.



dades grandes es complicada, ya que los costos de inversión y las capacidades de procesamiento resultarían extremadamente grandes, por lo que, como se mencionó antes, la incorporación de impuestos verdes promueve el procesamiento de residuos con bajo potencial económico, generando un mayor beneficio ambiental y social. Sin embargo, encontrar un valor adecuado para esta tasa de impuestos puede resultar complicado. Por tal razón en esta estrategia se propone asignar distintas tasas de impuestos en función de las cantidades que son enviadas al vertedero, donde la mayor tasa de impuestos genere un rechazo social, mientras que la menor genere una mayor aceptación social, con el fin de mantener en

un nivel bajo la cantidad de residuos enviados al relleno sanitario (véase la **Figura 3**).

■ **Caso de estudio**

El caso de estudio seleccionado para la aplicación de la estrategia propuesta es la ciudad de Nueva York, donde se propone la construcción del parque industrial en la región de Staten Island. Nueva York es una de las ciudades que más residuos genera en Estados Unidos; además de que ha sido una de las más afectadas por el covid-19 y la generación de residuos médicos desde el inicio del brote. En los Estados Unidos se generan 2.5 kilogramos de desechos médicos por cama hospitalaria todos los días. Durante la pandemia de covid-19, la mayor demanda de artículos médicos, como cubrebocas, batas y gafas, junto con la basura doméstica generada por cama de paciente —también altamente infecciosa—, resultó en un aumento importante de los desechos médicos. El volumen de desechos médicos presentó aumentos exponenciales y la capacidad de almacenamiento de residuos de los hospitales se vio ampliamente rebasada. En la ciudad de Nueva York existen actualmente nueve centros de eliminación de desechos médicos con una capacidad de eliminación estimada de 12 000 toneladas por año, y el 60% de la capacidad se utilizó para tratar desechos médicos altamente contagiosos generados por el covid-19 (Mei y cols., 2021).



Figura 3. Esquema propuesto para la selección de la tasa de impuestos.



Figura 4. Solución óptima para el caso de estudio de la ciudad de Nueva York.

Resultados

La solución óptima empleando la estrategia propuesta mantiene un nivel en la menor tasa de impuestos propuesta de 2 USD/tonelada. En esta solución, menos de la mitad de los residuos son enviados al relleno sanitario, y las capacidades de procesamiento no producen enormes costos de inversión. Para mantener el impuesto en el nivel más bajo, se propone una tasa de impuestos mayor que promueva el reciclaje: de 5.1 USD/tonelada, según propuesta de Munguía-López y cols. (2020). En esta solución se envía cerca del 35% de la basura generada al relleno sanitario; sin embargo, es económicamente viable, ya que genera utilidades.

En comparación, Santibáñez-Aguilar y cols. (2013) propusieron una estrategia de optimización donde las diferentes instalaciones de procesamiento se ubicaron en diferentes ciudades. Por tanto, las distancias entre instalaciones en algunos casos resulta-

ron especialmente grandes, lo que provocó que algunos residuos, como el vidrio, no fueran convenientes de reciclar, ya que los costos de separación y transporte superaban los posibles ingresos que se obtendrían por reciclarlos, por lo que la construcción de un parque industrial muestra mejores resultados. La implementación de una tasa de impuestos variable permitió mantener una baja presencia de residuos con bajo potencial económico en los vertederos, así como de los residuos que representan un alto nivel de riesgo ambiental y social, como los residuos médicos generados a raíz del combate contra la pandemia de covid-19. De la amplia gama de tecnologías dispuestas, se seleccionaron principalmente aquellas que presentan un balance entre impacto ambiental y económico, donde gracias a la estrategia propuesta, se asignan tecnologías incluso a aquellos residuos que no cuentan con un alto potencial económico (véase la Figura 4).



■ ■ ■ Conclusiones

■ La estrategia propuesta para la revalorización de residuos mediante la implementación de un parque industrial para el procesamiento de RSU tiene como objetivos el beneficio económico y la reducción del impacto ambiental y social generado por la pandemia de covid-19, por el alto riesgo que conlleva para la salud; se trata, pues, de una estrategia multiobjetivo para el manejo de RSU. El modelo considera un amplio abanico de opciones para procesar cada uno de los diferentes tipos de residuos; además, selecciona y asigna las capacidades de producción para las plantas de procesamiento de la tecnología seleccionada. Los resultados muestran que es factible implementar un parque industrial que procese todos los residuos generados, y que la tasa de impuestos variable promueve el reciclaje de residuos, maximizando las ganancias incluso para residuos con bajo potencial económico. Las soluciones obtenidas permiten al tomador de decisiones disponer de una amplia variedad de opciones para elegir la solución que mejor se

adapte a los objetivos propuestos. La ubicación del parque industrial es clave para minimizar los costos de transporte, que para residuos con menor potencial económico, pueden ser incluso superiores a los posibles precios de venta de los productos asociados. Esta estrategia puede ser útil en regiones donde la gestión de residuos sólidos municipales no es adecuada y existe un alto riesgo de exposición a ellos.

Rogelio Ochoa-Barragán

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
1207293g@umich.mx

Aurora del Carmen Munguía-López

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
1723704c@umich.mx

José María Ponce-Ortega

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
jose.ponce@umich.mx

Referencias

- Drabińska, N. *et al.* (2018), “Broccoli by-products improve the nutraceutical potential of gluten-free mini sponge cakes”, *Food Chemistry*, 267:170-177. Disponible en: <doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.119>.
- Escudero, E. (2021), “Mexicanos crean un plástico degradable a base de brócoli”, *Ambiente Plástico*. Disponible en: <<https://www.ambienteplastico.com/mexicanos-crean-un-plastico-degradable-a-base-de-brocoli/>>, consultado el 23 de mayo de 2022.
- Fernández Rivas, D., E. Castro-Hernández, A. L. Villanueva Perales y W. van der Meer (2018), “Evaluation method for process intensification alternatives”, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 123:221-232. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.cep.2017.08.013>>, consultado el 15 de mayo de 2024.
- Ko, S., W. Kim, S.-C. Shin y J. Shin (2020), “The economic value of sustainable recycling and waste management policies: The case of a waste management crisis in South Korea”, *Waste Management*, 104:220-227. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.01.020>>, consultado el 15 de mayo de 2024.
- Mei, X., H. Hao, Y. Sun, X. Wang y Y. Zhou (2021), “Optimization of medical waste recycling network considering disposal capacity bottlenecks under a novel coronavirus pneumonia outbreak”, *Environmental Science and Pollution Research*. Disponible en: <<https://doi.org/10.1007/s11356-021-16027-2>>, consultado el 15 de mayo de 2024.
- Munguía-López, A. C., V. M. Zavala, J. E. Santibáñez-Aguilar y J. M. Ponce-Ortega (2020), “Optimization of municipal solid waste management using a coordinated framework”, *Waste Management*, 115: 15-24. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.006>>, consultado el 15 de mayo de 2024.
- Naciones Unidas (2018), “El desperdicio de comida, una oportunidad para acabar con el hambre”, *Noticias ONU*. Disponible en: <<https://news.un.org/es/story/2018/10/1443382#:~:text=%C2%BFSab%C3%ADa%20que%20el%2045%25%20de,como%203700%20millones%20de%20manzanas>>, consultado el 22 de mayo de 2022.
- Pacheco-Cano, R. D. *et al.* (2020), “Class I defensins (BraDef) from broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) seeds and their antimicrobial activity”, *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 36:30. Disponible en: <<https://doi.org/10.1007/s11274-020-2807-6>>.
- Pérez-Zavala, M. L. *et al.* (2020), “Agave: A natural renewable resource with multiple applications”, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(15): 5324-5333. Disponible en: <doi.org/10.1002/jsfa.10586>.
- Santibáñez-Aguilar, J. E., J. M. Ponce-Ortega, J. B. González-Campos, M. Serna-González y M. M. El-Halwagi (2013), “Optimal planning for the sustainable utilization of municipal solid waste”, *Waste Management*, 33(12):2607-2622. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.08.010>>, consultado el 15 de mayo de 2024.
- Sector agroalimentos Guanajuato (2020), Coordinadora de Fomento al Comercio Exterior. Disponible en: <<https://cofoce.guanajuato.gob.mx/wp-content/uploads/2020/09/Sector-Agroalimentos-Junio-2020.pdf>>, consultado el 21 de mayo de 2022.
- SIAP (2020), “Avance de siembras y cosechas. Resumen por estado”, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: <http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do>, consultado el 5 mayo de 2022.
- The Daily Star (2021), “Poor medical waste management will increase infections”, *The Daily Star*. Disponible en: <<https://www.thedailystar.net/editorial/news/poor-medical-waste-management-will-increase-infections-1909561>>, consultado el 11 de noviembre de 2021.

Obtención de biodiésel a partir de larvas de una mosca

Los residuos orgánicos son una alternativa para la obtención de energía, ya que no se usan como alimento y su producción es constante. Dichos residuos pueden emplearse para el cultivo de la mosca soldado; las larvas de esta mosca tienen una alta eficiencia de conversión, y generan grasa que puede ser convertida en biodiésel. Si se manipula la generación de grasas a partir de la alimentación, es posible incrementar la producción de biodiésel.

Introducción

La energía que se utiliza para cargar nuestro teléfono, calentar nuestra comida y hacer que nuestro automóvil se mueva proviene en su mayoría de combustibles fósiles; el 80% de la energía a nivel mundial se produce a partir de la quema de estos combustibles, lo cual genera grandes cantidades de gases de efecto invernadero. Aunque existen fuentes alternativas, como la energía solar, eólica e hídrica, éstas sólo posibilitan generar electricidad y calor. En este sentido, el uso de la biomasa como fuente de energía resulta interesante ya que presenta diversas ventajas. La biomasa es materia orgánica, tiene una producción continua y a partir de ella se pueden obtener biocombustibles, productos de valor agregado, electricidad y calor.

En particular, los biocombustibles se definen como aquellos (sólidos, líquidos o gaseosos) que provienen de fuentes como cultivos energéticos o forestales, grasas animales o residuos; la principal ventaja es que, además de ser renovables, contaminan menos que los fósiles. Dichos biocombustibles pueden clasificarse en generaciones (primera, segunda, tercera y cuarta), lo cual dependerá de la biomasa y proceso de producción utilizados (Alalwan y cols., 2019); (véase la [Figura 1](#)).

Dentro de la primera generación se encuentran aquellos biocombustibles que se producen a partir de cultivos alimenticios como el maíz, caña o semillas oleaginosas; de estas materias primas pueden obtenerse biodiésel y bioetanol. La producción de estos biocombustibles es técnicamente sencilla, ya que las materias primas



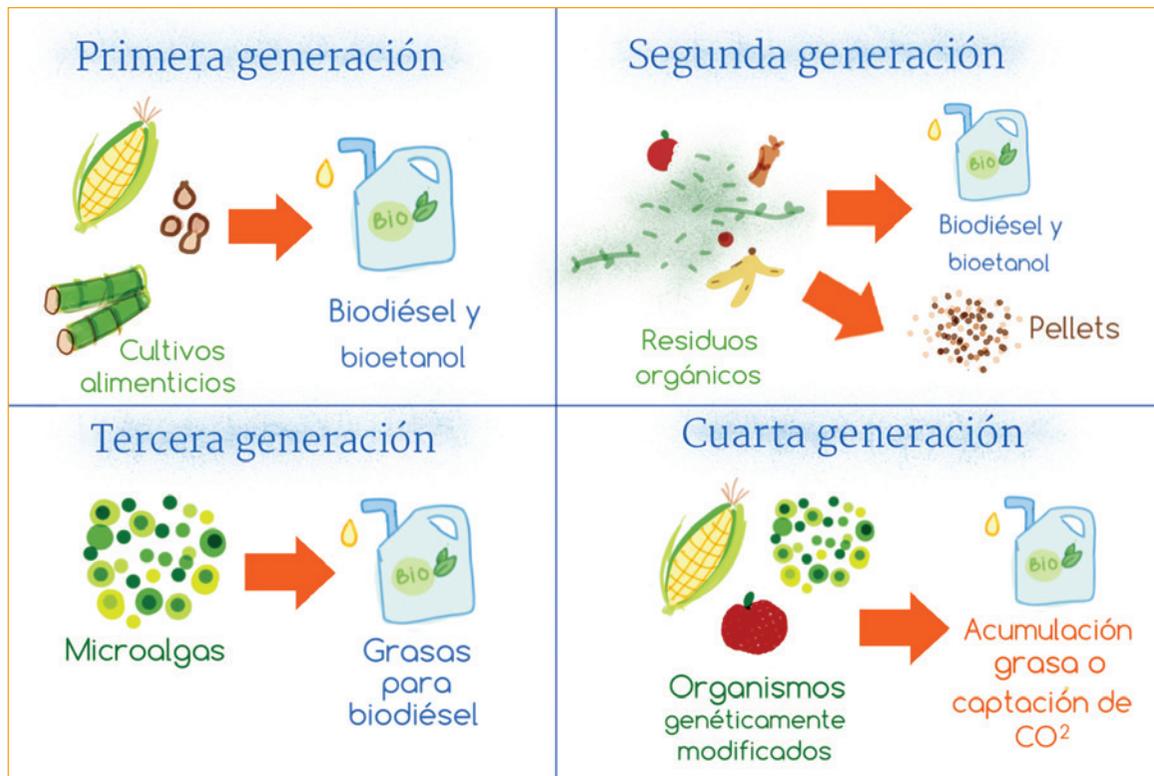


Figura 1. Clasificación de la biomasa y los biocombustibles.

que utilizan no requieren un tratamiento previo; sin embargo, la producción de ellas requiere espacio y recursos hídricos, además que compiten directamente con la alimentación humana.

La segunda generación de biocombustibles utiliza como materia prima biomasa lignocelulósica, nombre con el que se refiere a materia seca vegetal que puede ser virgen, residual o cultivos dedicados sólo para fines energéticos, como residuos forestales u orgánicos, pastos, residuos de cosecha, o residuos municipales y alimenticios; los productos que se pueden obtener de la conversión de esta biomasa incluyen bioetanol, pellets combustibles y biodiésel. Este tipo de materia prima es abundante y de bajo costo, además de ser renovable, por tratarse de residuos; no obstante, se requiere un tratamiento previo para su procesamiento. Entre los tratamientos propuestos están los térmicos, químicos o biológicos, los cuales pueden aumentar de manera significativa el costo final de los productos.

Por otra parte, los biocombustibles de tercera generación se producen a partir de microalgas, las

cuales capturan dióxido de carbono y generan como productos oxígeno y grasas para biodiésel. Actualmente, la producción de microalgas tiene un alto costo, y las grasas obtenidas son más volátiles que otras, lo que hace que se degraden más fácilmente.

Finalmente, en la cuarta generación se encuentran aquellos biocombustibles producidos a partir de organismos genéticamente modificados; éstos se encuentran en una etapa temprana de desarrollo, e incluyen microalgas o cultivos modificados genéticamente para acumular más grasa o bien consumir más dióxido de carbono (Alalwan y cols., 2019).

De acuerdo con lo dicho, los residuos orgánicos utilizados en los biocombustibles de segunda generación tienen una ventaja sobre las otras biomásas, ya que son abundantes y de bajo o nulo costo. Sin embargo, existen aún diversos obstáculos respecto a su uso, ya que los tratamientos convencionales que se han utilizado o bien no tienen una alta eficiencia, o bien permiten obtener un limitado número de productos.

Otro tipo de tratamiento, no convencional, es el biológico, el cual considera el cultivo de insectos.

En particular, el cultivo de la mosca soldado es una alternativa con una alta eficiencia de conversión y bajo impacto ambiental. De este modo, en el presente artículo se discute el efecto que tiene la alimentación de las larvas de mosca soldado sobre la producción de grasa, y el efecto que esto genera en la producción de biodiésel. Este proceso es interesante porque usualmente los residuos orgánicos no pueden convertirse con alta eficiencia en biodiésel.

El artículo está organizado de la siguiente manera: a continuación se describe a la mosca soldado, su ciclo de vida y por qué resulta interesante para la revalorización de residuos orgánicos y la obtención de biodiésel; en el siguiente apartado se abordan los factores metabólicos que afectan la producción de grasas en las larvas de la mosca soldado, lo cual impacta en la producción de biodiésel; finalmente, en el último apartado ofrecemos algunas conclusiones.

■ Mosca soldado

■ La mosca negra soldado (*Hermetia illucens*) es un insecto que vive en climas tropicales, tiene un tamaño de alrededor del doble de la mosca común o doméstica, y un ciclo de vida corto (véase la **Figura 2**). Las hembras se aparean y depositan entre 300 y 600 huevos una sola vez en toda su vida. El cultivo de este insecto se realiza en espacios cerrados, donde se controla la humedad y temperatura. Cuando estos huevos eclosionan, las larvas que nacen buscan materia en descomposición para alimentarse y así almacenar principalmente grasa y proteína. Los primeros estudios de este organismo se enfocaban en su capacidad de degradar residuos, ya que no se conoce que transmitan enfermedades; de esta manera, las larvas pueden convertir de manera eficiente los desechos orgánicos al mismo tiempo que almacenan grasa y proteína (Holmes y cols., 2012).

Se sabe que estas larvas pueden crecer en una amplia diversidad de sustratos, como residuos de cosecha, agroindustriales y hasta heces, lo que permite que éstos se conviertan en biomasa de larvas. La composición del sustrato en el cual se cultivaron las larvas está directamente relacionada con la composición de éstas, aumentando o disminuyendo la can-



Figura 2. Mosca y larvas de mosca soldado.

■ tidad de los productos de interés. De esta biomasa pueden obtenerse, entonces, diferentes productos, como los **compuestos bioactivos**, así como producir alimentos y biocombustibles (Oviedo Olvera y cols., 2022); en particular, puede producirse biodiésel a partir de las grasas contenidas en las larvas. En este sentido, una mayor cantidad de grasa en ellas puede llevar a un aumento en la producción de biodiésel. Por ello, los factores que afectan el metabolismo de grasas en las larvas se describirán en la siguiente sección.

■ Factores que afectan el metabolismo de grasas de la larva de la mosca soldado

■ Como se mencionó en la sección anterior, la cantidad de grasa que las larvas generen resulta importante si éstas serán usadas para la producción de biodiésel. Por tanto, si se comprenden los factores que influyen en su generación, se podrían manipular y así obtener más beneficios.

En los insectos, los lípidos o grasas se obtienen o sintetizan de la dieta, y representan el segundo compuesto encontrado en mayor cantidad respecto a su composición nutricional (entre 10 y 50%), generándose en mayores niveles en etapas larvales. Los lípidos, almacenados principalmente como triglicéridos, sirven como depósitos de energía, precursores de hormonas y como parte de la membrana celular; asimismo, los lípidos se degradan o procesan cuando se requieren o existe una alta demanda de energía (Da Silva y cols., 2020).

◀ Compuestos bioactivos

Se encuentran presentes en los alimentos y, al ser ingeridos, promueven la buena salud.

En 2017, Barroso y cols. concluyeron que la cantidad de ácidos grasos de las larvas de mosca soldado se veía afectada cuando su dieta se cambiaba. En el experimento se alimentó a las larvas con harina de pescado en diferentes proporciones, la cual es rica en ácidos grasos insaturados, como el ácido eicosapentaenoico (EPA por sus siglas en inglés) y el docosahexaenoico (DHA). Se observó que, a diferencia de las larvas crecidas en el sustrato control (alimento para gallinas), las larvas que crecieron en la harina de pescado aumentaron la cantidad de EPA y DHA. Dichos ácidos grasos son importantes para la industria alimenticia, pero no son los que se requieren para la obtención de biodiésel. Los ácidos grasos necesarios deben ser cadenas saturadas de entre 16 y 18 carbonos, ya que éstas tienen un mayor poder calorífico, así como mayor viscosidad. Por eso la larva resulta de interés para la obtención de biodiésel, ya que están compuestas por aproximadamente 70% de

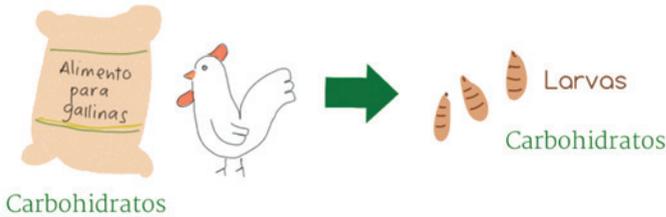
ácidos grasos saturados y 26% de ácidos grasos insaturados (Surendra y cols., 2016).

Algunos de los residuos que han mostrado aumentar este tipo de grasas son los generados en restaurantes y paja de arroz, los cuales fueron probados por Zheng y cols. (2012). En su estudio, los resultados mostraron que la grasa obtenida a partir de las larvas contenía grasas saturadas adecuadas para la producción de biodiésel. Además, el biodiésel producido a partir de dichas grasas cumplía con los valores de densidad, temperatura de inflamabilidad, contenido de ésteres, agua y cetonas establecidos en la norma EN 14214, la cual determina los estándares europeos requeridos en los ésteres de metanol que componen el biodiésel.

En la **Tabla 1** se muestra la comparación entre las diferentes dietas de la larva y su efecto en la cantidad de ácidos grasos obtenidos.

Como se observa, la dieta juega un papel fundamental en la generación de los ácidos grasos. Si

Tabla 1. Composición de larvas alimentadas con diferentes dietas

Tipo de sustrato o biomasa utilizada	Composición en peso seco (%)	Referencia
 <p>Carbohidratos</p>	P: 15.2 ± 0.6 G: 8.5 ± 0.4 C: 17.0 ± 0.2 ELN: 59.4 ± 0.3	Barroso y cols., 2017
 <p>Residuos de cafetería Proteína y grasa</p> <p>Proteína, grasa y carbohidratos</p>	P: 32.8 ± 3.9 G: 10.2 ± 0.5 C: 18.1 ± 0.4 ELN: 38.9 ± 3.9	
 <p>Harina de pescado Proteína y grasa</p> <p>Proteína, grasa y carbohidratos</p>	P: 43.7 ± 0.6 G: 31.8 ± 0.3 C: 6.0 ± 0.0 ELN: 22.4 ± 0.3	Surendra y cols., 2016

P: proteína, G: grasas, C: cenizas, ELN: extracto libre de nitrógeno.

las larvas son alimentadas con dietas compuestas principalmente por grasas insaturadas, acumularán a su vez este tipo de lípidos. De la misma manera, si se cultivan en sustratos que contienen grasas saturadas y carbohidratos, tenderán a acumular ácidos grasos saturados.

De acuerdo con los estudios reportados se observa que, si se busca obtener una mayor cantidad de aceite en el contenido de las larvas para su posterior transformación en biodiésel, es necesario que su dieta tenga un alto contenido de carbohidratos y grasas. Teniendo en cuenta los rendimientos reportados por Zheng y cols. (2012), se necesitarían cerca de 40 185 larvas para obtener alrededor de un litro de biodiésel. Este número de larvas sería capaz de degradar aproximadamente 20 kilogramos de residuos.

Conclusiones

La alimentación tiene un efecto directo respecto a la composición proximal de las larvas, específicamente de los lípidos y el tipo de ácidos grasos obtenidos. Se ha demostrado que esta grasa puede ser una materia prima viable para la obtención de biodiésel, y que éste puede ser un sustituto prometedor del diésel fósil. A partir de lo mencionado, se puede concluir que el cultivo de la mosca es un tratamiento apropiado para la conversión de residuos orgánicos y que las larvas de dicho insecto pueden, a su vez, transformarse en biocombustibles con alta eficiencia. Así pues, si se sabe cómo manipular la composición de las larvas, se podrán aumentar los rendimientos y la producción de biodiésel.

Valeria Caltzontzin-Rabell

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro.
valeria.caltzontzin@uaq.mx

Claudia Gutiérrez Antonio

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro.
claudia.gutierrez@uaq.mx

Lecturas recomendadas

- Alalwan, H., A. H. Alminshid y H. Aljaafari (2019), "Promising evolution of biofuel generations. Subject review", *Renewable Energy Focus*, 28:127-139.
- Barroso F. G., M. J. Sánchez Muros, M. Segura, E. Morote, A. Torres y R. Ramos (2017), "Insects as food: Enrichment of larvae of *Hermetia illucens* with omega 3 fatty acids by means of dietary modifications", *Journal of Food Composition and Analysis*, 62:8-13.
- Da Silva Lucas, A. J., L. Menegon de Oliveira, M. da Rocha y C. Prentice (2020), "Edible insects: An alternative of nutritional, functional and bioactive compounds", *Food Chemistry*, 311:126022.
- Holmes, L., S. L. Vanlaerhoven y J. Tomberlin (2012), "Relative Humidity Effects on the Life History of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae)", *Environmental Entomology*, 41(4):971-978.
- Oviedo Olvera, M. V., J. F. García Trejo y C. Gutiérrez Antonio (2022), "Mosca soldado negra: eslabón perdido en la cadena de revalorización de residuos orgánicos", *Ciencia*, 73(3): 2-61.
- Surendra, K. C., R. Olivier, J. K. Tomberlin, R. Jha y S. K. Khanal (2016), "Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming", *Renewable Energy*, 98:197-202.
- Zheng, L., Y. Hou, W. Li, S. Yang, Q. Li y Z. Yu (2012), "Biodiesel production from rice straw and restaurant waste employing black soldier fly assisted by microbes", *Energy*, 47:225-229.





De actualidad

Desde la UAM

Desde las redes

Noticias de la AMC

Las neuronas trilingües

En este ensayo describo una interesante propiedad de ciertas neuronas que usan diferentes “lenguajes de comunicación” —química y eléctrica, simultáneas— y cómo fue descubierta. En contra del “dogma” que establecía que las neuronas se comunican entre sí de una sola manera (con un solo lenguaje), considerar que pueden usar simultáneamente diferentes medios de comunicación nos permitió elaborar nuevas hipótesis sobre el funcionamiento de los circuitos neuronales.

De artefactos experimentales

En la investigación científica o, mejor dicho, en la experimentación, deben tratarse de controlarse todas las variables que intervienen en la observación de un fenómeno para describirlo objetivamente; así podrá ser observado de igual manera por cualquiera. Sin embargo, la observación de un hecho depende del conocimiento previo que se tiene, el cual intervendrá en la percepción del hecho y su interpretación. El diseño y ejecución de experimentos tiene como fin responder a una hipótesis que representa una pregunta, cuya respuesta ideal es un “sí” o un “no”. Por ejemplo, consideremos la pregunta: ¿a qué temperatura hierve el agua? Mi hipótesis, formulada como aseveración y que deberé comprobar, es: “El punto de ebullición del agua es 100 °C”. Una vez que hago un número de observaciones (experimentos), compruebo la hipótesis. En caso de que no se cumpla la aseveración, deberé postular una alternativa: o bien el agua realmente no hierve a 100 °C, o hierve a la temperatura que se haya observado debido a un factor que debo identificar y que explicaría por qué no hirvió a 100 °C. Publico los resultados numéricos y la conclusión a la que llegué (o sea si confirmé o no la hipótesis), y otros investigadores harán lo mismo. En general, la hipótesis se afina conforme se acumulan las observaciones y acaba formulándose como: “El punto de ebullición del agua al nivel del mar es 100 °C, y variará en ‘tal’ proporción por cada 500 m sobre ese nivel”. Esta nueva hipótesis, que es más particular y de la que se deduce una “regla”, es entonces corroborada. Para llegar a los valores reales, se tuvo que seguir un “diseño experimental” en el cual debieron hacerse observaciones

repetidas, bajo condiciones controladas que, en el caso del ejemplo previo, eran la altura sobre el nivel del mar. Es común que muchos artículos científicos presenten, además de gráficas con los resultados de los experimentos, otras que muestran que otras variables están controladas.

Por otro lado, un experimento puede dar como resultado un observable que no es producido por las variables que uno “controla” en el experimento, sino por variables que uno no conoce. Éstas también pueden ser malas interpretaciones de los orígenes, o falta de información del experimentador. Como “todo observable está cargado de teoría”, no es extraño que muchos experimentalistas, al ver estos fenómenos una y otra vez, los llamen “artefactos del experimento” y los descarten como tales de las observaciones que se creen controladas. Muchos artículos dicen: “para evitar contaminación por x o y variable (lo que indica que se conoce, aunque a veces no se sabe su origen o se puede atribuir erróneamente), hicimos tal manipulación”. Otro artefacto es el producido por el sistema de medición mismo. Por ejemplo, si uno está midiendo algún fenómeno físico (como ondas eléctricas en el cerebro) con un aparato eléctrico (un amplificador llamado electroencefalógrafo), la línea de corriente que alimenta al aparato puede inducir variaciones en el voltaje a una frecuencia de 60 Hz (un artefacto), que no corresponde a la medida que hace el aparato. Como sabemos que la corriente alterna oscila a 60 Hz, los aparatos eléctricos usualmente presentan estas oscilaciones y podemos reconocer ese hecho como un artefacto de medición y, por tanto, podemos eliminarlo tanto de nuestra atención como de los análisis matemáticos del fenómeno físico en medición. Otra fuente de errores en la interpretación de los observables, quizá la peor, es el apego a los dogmas.

Sí, es increíble que en la ciencia del siglo XXI haya dogmas, aseveraciones consideradas como ciertas y seguidas a pie juntillas sin examinar su veracidad, suponiéndolas verdaderas porque las “dicta una autoridad de determinado campo” o porque “se sabe” (se da por hecho algo que se leyó sin ponerlo en duda). Estos postulados dogmáticos provienen usualmente de evidencia parcial sugerente. En cualquier caso, el

experimentador tiene que estar bien documentado, tener un amplio conocimiento de posibles factores que influyan en sus mediciones y “controlar” su posible aportación a la medición, considerando varias formas de medir para que los resultados sean producto de la variable a la que se atribuye la medición; es decir, debe comprobarse causalidad, no casualidad (o sólo correlación).

Quiero compartir aquí dos ejemplos con los que me enfrenté en mis investigaciones sobre la transmisión de información entre células del cerebro (neuronas), que inicialmente me parecieron “artefactos” y que pude haber descartado. La comprobación de que no lo eran dio pie a dos descubrimientos. La primera observación contradecía un “dogma”. ¡Cuánto tiempo antes pudo haberse comprobado que la observación tenía una explicación diferente a lo reportado en la literatura, si simplemente se hubiera dejado de lado el dogma! Del segundo ejemplo, definitivamente pensé que era un artefacto. Como parecía algo que “se sabe” que es un problema metodológico, “tenía que serlo”. De nuevo, no poder “deshacerme” del “error metodológico” en condiciones experimentales diferentes me llevó a comprobar que no era un error, sino que era un fenómeno que no había sido descrito.

■ Neuronas con maquinaria bioquímica para excitar e inhibir (bilingüismo)

■ Entremos en materia. Una neurona libera un compuesto químico en la sinapsis (donde una neurona hace contacto con otra), compuesto que actúa sobre un receptor en las neuronas con las que se comunica y cuya función es inhibir o excitar (en realidad es más complejo que esto, pero en aras de mantener el ejemplo simple y claro, consideremos esta función únicamente). El dogma de “una neurona, un neurotransmisor” establecía, *grosso modo*, que cada neurona sólo puede liberar un neurotransmisor químico. Así, la información química que una célula manda a otra es traducida a cambios de voltaje y la respuesta de la célula que recibe la información puede ser que se excite o inhiba. Con técnicas electrofisiológicas, que permiten registrar los potenciales eléctricos que

tienen las neuronas, se puede determinar cómo una neurona responde a la información que le mandan otras neuronas. Usando fármacos específicos para bloquear los receptores al neurotransmisor excitador o al inhibidor, se puede aislar cada una de las respuestas (transmisión “normal”, **Figura 1**).

Ahora bien, en experimentos con tejido de cerebro de rata, la estimulación de neuronas excitadoras normalmente produce respuestas que pueden bloquearse con el compuesto antagonista adecuado. Sin embargo, bajo ciertas condiciones (véase Gutiérrez, 2022; Münster-Wandowski y cols., 2013), sorpresivamente obtuvimos respuestas inhibitoras en lugar de ausencia de respuestas (transmisión dual, **Figura 1**). ¿Cómo puede suceder esto si sólo estimulamos neuronas excitadoras? Después de verificar que esto último era realmente cierto, que no estimulábamos células que no queríamos, propusimos que la respuesta inhibitora tendría que venir de las mismas células que previamente producían una respuesta excitadora. Esto contravenía el “conocimiento común”: una neurona sólo libera un neurotransmisor. Sin embargo, para que una célula use un neurotransmisor, debe producirlo. Había que demostrar que las células excitadoras también tenían el transmisor inhibidor en su interior, y lo conseguimos. Con esto demostramos que las células tenían la maquinaria bioquímica para excitar e inhibir; es decir, eran bilingües.

En el trabajo científico hay que tratar de demostrar que uno puede estar equivocado y si uno no lo demuestra, se puede asumir que está en lo correcto. Un paso importante en el quehacer científico es, por tanto, que los fenómenos “observados” puedan ser comprobados por diferentes investigadores. Sobra decir que los primeros resultados en los que propusimos la hipótesis de que una neurona puede liberar simultáneamente un transmisor excitador y un inhibidor fue recibida con escepticismo. Pronto, varios grupos de investigación corroboraron estos hallazgos y el dogma dejó de ser tal, y con el tiempo fueron apareciendo reportes en la literatura que describían la liberación de pares de neurotransmisores por neuronas únicas. Y he aquí algo muy interesante sobre creer algo a pie juntillas: estoy seguro de que el fenómeno ya se había observado, seguramente

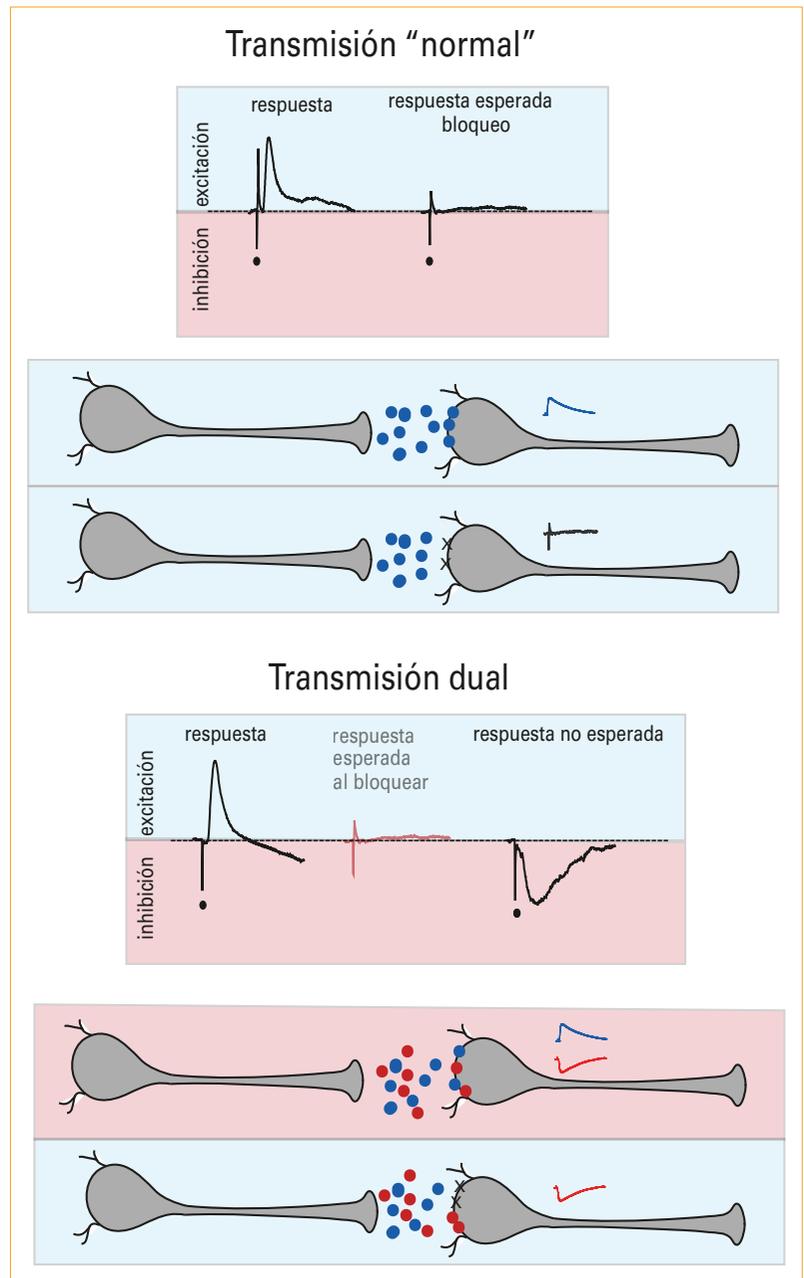


Figura 1. Por años se pensó que la transmisión de información “normal” entre las neuronas se debía a la acción de un transmisor químico; sin embargo, recientemente se ha descubierto que pueden usar dos. Una neurona que libera el transmisor que produce la excitación (círculos azules), puede liberar otro transmisor que produce la inhibición (círculos rojos).

alguien ya había estimulado las neuronas excitadoras en presencia de bloqueadores al neurotransmisor excitador y observado una respuesta inhibitora. ¿Por qué entonces no se describió como doble liberación? Porque se daba por hecho, de manera dogmática, que no podía obtenerse una respuesta inhibitora si sólo se estimulaban neuronas excitadoras y, por tanto, la

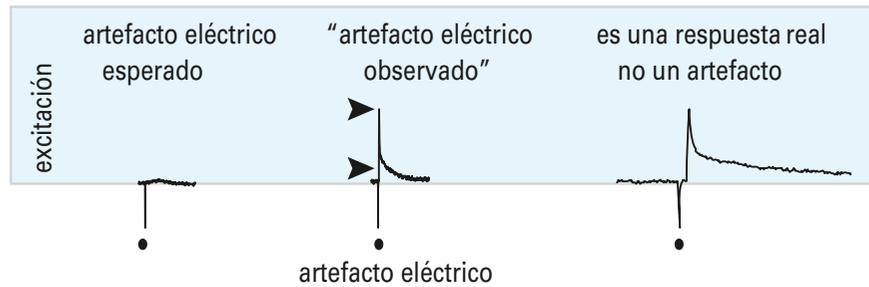
respuesta provenía de estimulación de neuronas inhibitorias no conocidas.

El descubrimiento de neuronas con una transmisión mixta eléctrica-química (bilingüismo)

Un segundo descubrimiento fue hecho de manera parecida. La estimulación de neuronas excitadoras en presencia de bloqueadores a los receptores del neurotransmisor excitador no producía respuestas en las células con las que establecen conexión; sin embargo, en éstas se observó una señal eléctrica que no parecía respuesta, sino un artefacto eléctrico sin ninguna otra respuesta “esperada” (véase la **Figura 2**). Cuando se realizan experimentos electrofisiológicos —es decir, en los que se usa un amplificador para medir con un microelectrodo el voltaje que tienen las células—, uno de los principales controles experimentales que hay que atender es aislar ese voltaje del que se pueda deber al funcionamiento

mismo del equipo que se usa, o a alguna manipulación experimental en la que se usen corrientes eléctricas. En nuestros experimentos quisimos ver si la respuesta considerada artefacto (artefacto eléctrico observado, **Figura 2**) se daba en diferentes células, estimulando y registrando en las mismas condiciones a varias células contiguas. Si la respuesta era un artefacto eléctrico, tendría que verse en todas las células, ya que la corriente eléctrica que estimula fluiría por igual hacia todas ellas. Entonces, la única modificación introducida por el experimentador fue el registro de células en diferentes posiciones. El resultado de varios registros fue que sólo ciertas células tenían este tipo de respuesta, mientras que las contiguas no lo tenían, lo que indicaba que la respuesta era debida a la activación específica de ciertas células y, por tanto, no era artefacto (respuesta real, **Figura 2**).

Otra prueba de que las respuestas no eran artefacto se realizó poniendo un bloqueador de canales que conducen la corriente a través del contacto entre dos



Misma “observación”; nueva interpretación:
 existe transmisión neuronal mixta, eléctrica y química

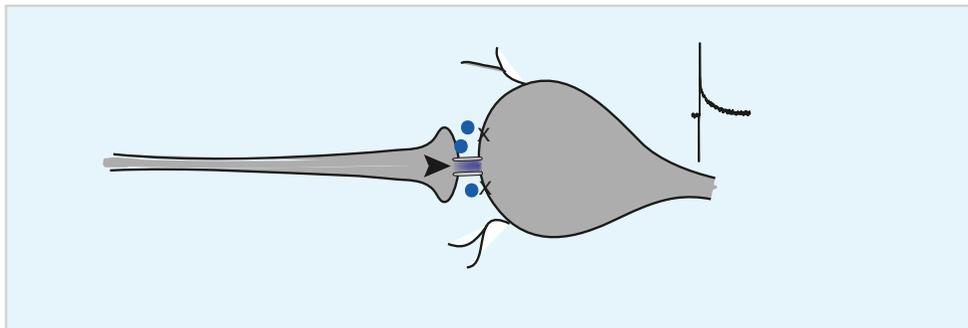


Figura 2. Si en un experimento no se ve un “artefacto” esperado, sino una diferencia (cabezas de flecha) que “aparece” al mismo tiempo que el esperado (punto negro), se puede suponer, erróneamente, que el “artefacto” simplemente cambió de forma. Al expandir la señal se ve que hay una respuesta real. Esta respuesta eléctrica “real” constituyó un descubrimiento.

células. El bloqueo químico de estos canales bloqueó la respuesta eléctrica observada; esto prueba que era una respuesta fisiológica. Así, al estar seguros de que había una respuesta eléctrica fisiológica, propusimos que en las células que estudiábamos había comunicación eléctrica, además de la comunicación química que había sido bloqueada previamente (transmisión mixta, eléctrica y química, **Figura 2**); ¡esto hacía a estas células potencialmente trilingües! A continuación, hicimos el mismo experimento sin el bloqueo de la transmisión química y observamos respuestas con un componente eléctrico seguido por otro químico, que podíamos bloquear con antagonistas específicos para cada tipo de transmisión. Finalmente, descubrimos cómo obtener esta respuesta eléctrica en neuronas en las que no se había visto, demostrando que era un fenómeno regulado por el funcionamiento neuronal. En concreto, encontramos que podía haber transmisión mixta eléctrica-química en neuronas en donde no se había observado este tipo de comunicación, donde se suponía que no existía. Los dos modos de transmisión de información mixta (en la misma sinapsis) y su impacto en la neurofisiología pueden ser consultados en sendos artículos de revisión (Münster-Wandowski y cols., 2013; Gutiérrez, 2022).

■ Corolario

■ Los dos ejemplos de descubrimientos descritos, hechos en el mismo tipo neuronal, lo que les da la facultad de ser trilingües (se pueden comunicar liberando un transmisor químico excitador, uno inhibitorio y, finalmente, pueden transmitir señales eléctricas), pretenden llamar la atención en la importancia de los controles experimentales rigurosos y en que una observación no puede descartarse como espuria antes de someterse a una prueba experimental tal que quede claro su origen. Los experimentos que muestran el fenómeno pueden ser rápidos, sencillos y aparentemente directos; sin embargo, los experimentos que se tienen que hacer para corroborar que los fenómenos son causados por una manipulación experimental controlada, de manera repetida y que no tienen otra causa, pueden ser numerosos. Otro corolario que se obtiene de esto es la importancia de recono-

cer no sólo que un fenómeno pueda ser un artefacto, ¡sino de demostrar que no lo es y por qué! Tenemos que desechar todo dogma, pues son perniciosos para el avance en el conocimiento. Recordemos que el “tener conocimiento” es una función cognitiva, implica una interpretación de la realidad y de sus componentes, así como de los medios por los cuales “aislamos” esos componentes. Los fenómenos de la naturaleza deben poder ser verificados por diferentes observadores, de modo tal que su interpretación corresponda entre sí, como debe ser, si las variables que intervienen en el fenómeno y en su análisis/estudio son reproducidas por todos los observadores en las mismas condiciones.

Es muy posible que así como la liberación simultánea de dos transmisores químicos de información rápida fue encontrada en diferentes neuronas, en diferentes partes del sistema nervioso, más investigadores encuentren conexiones eléctricas que coexistan con zonas de paso de información química. El haber encontrado neuronas trilingües, además de haber sido un hallazgo interesante e importante que ayuda a entender mejor los diferentes tipos de comunicación neuronal, permitió abrirse a pensar de otra manera y, por tanto, a aceptar explicaciones “no convencionales” respecto al paso de información entre las neuronas.

Rafael Gutiérrez

Departamento de Farmacobiología,
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN.
rafagut@cinvestav.mx

Lecturas recomendadas

- Gutiérrez, R. (2022), “Gap Junctions in the Brain: Hardwired but Functionally Versatile”, *The Neuroscientist*, 29(5):554-568. Disponible en: <<https://doi.org/10.1177/10738584221120804>>, consultado el 7 de mayo de 2024.
- Münster-Wandowski, A., G. Gómez-Lira y R. Gutiérrez (2013), “Mixed neurotransmission in the hippocampal mossy fibers”, *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 7:210. Disponible en: <<https://doi.org/10.3389/fncel.2013.00210>>, consultado el 7 de mayo de 2024.



Residuos: gestión, separación, tecnología y oportunidades

Las doctoras Rosa María Espinosa, Sylvie Turpin, Alethia Vázquez y Maribel Velasco recibieron el Premio Nacional de Proyectos Exitosos de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos 2023 –en su categoría de investigación– de parte del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) por su proyecto titulado “Aportes en gestión y tratamiento de residuos”. La distinción fue entregada para reconocer las buenas prácticas, acciones y alternativas ambientales en el país. Cada una de las galardonadas presenta acciones concretas para la separación, manejo y reutilización de diferentes tipos de residuos, desde prácticas en la vida cotidiana hasta mejoras tecnológicas que pueden reducir el impacto en el medio ambiente.

Residuos orgánicos: retos y oportunidades

¿Qué son los residuos orgánicos?

Son aquellos que, por su origen y composición biológica, son biodegradables o se “echan a perder” fácilmente (**Figura 1**). Generalmente se originan en la preparación de alimentos y sus desperdicios; por ejemplo: cáscaras y bagazo de frutas y verduras, semillas, aceite, papel de cocina, servilletas, otros de alimentos ya preparados, desperdicios de comida como pan, tortilla, carne, sopas y guisos, huesos, espinas, caparazones, productos lácteos, filtros para café, bolsitas de té, palillos, bolsas “compostables”, comida en mal estado. Otra fuente de este tipo de residuos es la jardinería: flores, hojas, pasto, hojarasca, ramas, aserrín y corcho. También están los residuos semiprocesados, como el algodón y la piel de animales, así como la ropa confeccionada con ellos, el papel y el cartón.

¿Cuántos se generan?

Representan el 46.42% del total de los residuos sólidos urbanos en México, lo cual los hace la categoría que constituye la mayor proporción. De acuerdo con datos



Figura 1. Ejemplos de residuos orgánicos. Crédito: Diego de la Vega.

oficiales, se dividen y contribuyen en las siguientes proporciones: residuos alimentarios (33.07%), residuos de jardinería (10.84%), madera (0.79%), fibra vegetal (0.73%), hueso (0.52%) y cuero (0.46%). La acumulación de estos residuos provoca problemas ambientales y de salud, como la generación de gases contaminantes y efecto invernadero, la degradación de los suelos y proliferación de fauna. Pueden llegar a ser un foco de infección.

Retos en la gestión de residuos orgánicos

Uno de los grandes retos para la gestión sustentable de los residuos orgánicos es su manejo adecuado. Muchos de estos residuos son evitables, ya que los datos de generación indican que la mayor parte corresponden al desperdicio de alimentos.

En estudios realizados en el Área de Tecnologías Sustentables de la UAM Azcapotzalco sobre la composición de residuos de alimentos de diversas fuentes, como domicilios, cafeterías y comerciales, se ha encontrado que una parte importante de ellos se encuentran en buen estado; llama la atención encontrar paquetes de tortillas o bolsas con salsa, por ejemplo, incluso sin abrir o con la mayor parte de su contenido original, o comida caduca sin abrir.

Oportunidades de aprovechamiento

Dentro de las oportunidades para resolver la problemática de estos residuos se encuentra, en primer lugar, el evitar al máximo que se generen y disminuir el desperdicio; para ello se requiere de mucha información, capacitación, campañas del gobierno y mecanismos que prevengan su generación, que favorezcan su separación y aprovechamiento.

Para el aprovechamiento de los residuos orgánicos, se debe considerar que contienen nutrientes valiosos que se pueden utilizar como fertilizantes naturales o como base para generar fuentes de energía sostenibles, a través de procesos como el composteo y la digestión anaerobia, entre otros. En la UAM Azcapotzalco, desde hace más de 10 años, se realizan investigaciones para el composteo y lombricomposteo de los residuos de alimentos que se generan en el comedor universitario, junto con los residuos de jardinería. A finales del 2023 se inauguró la planta de composta que permitirá tratar los residuos orgánicos que se generen en la unidad, de modo que no se pierda la oportunidad de recuperar, reciclar y reutilizar estos recursos. Su aprovechamiento, además, evita y reduce los efectos que tienen en el ambiente.

■ Separación de residuos para su valorización

■ La primera etapa en la gestión integral de los residuos debe de ser la prevención; es decir, evitar que se generen. Los residuos que no se pueden evitar deben valorizarse. Entre las formas más comunes de valorización están: el compostaje para los residuos orgánicos y el reciclaje para los inorgánicos, como los plásticos, papel, cartón, aluminio y otros metales. Los residuos que no se valorizan generan costos ambientales altos cuando se depositan en sitios de disposición final no controlados o se acumulan en el ambiente. Para que la valorización sea posible los residuos deben separarse.

La separación de residuos puede llevarse a cabo en el lugar donde se generan, práctica que se conoce como separación en el origen, o posterior a la recolección en plantas. El realizarla en el origen presenta ventajas importantes, como fomentar la responsabilidad de manejar los residuos de forma adecuada en los generadores y disminuir la contaminación de los residuos; por ejemplo, el papel y el cartón no se ensucian con los residuos de alimentos.

En México la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos establece, desde 2003, su separación. Sin embargo, en la mayor parte del país la ciudadanía entrega al camión recolector sus residuos mezclados. Por ello, en México la sepa-

ración se da a través del sector informal en casi todas las etapas de manejo de los residuos. Los pepenadores urbanos recorren las calles abriendo las bolsas de basura y extrayendo los residuos que tienen un valor económico, los camiones recolectores llevan bolsas enormes, llamadas barcinas (Figura 2), en las que clasifican los residuos que la ciudadanía entrega mezclados y en los tiraderos hay personas que realizan actividades de separación. Los residuos separados son vendidos a centros de acopio y posteriormente estos residuos se incorporan como materiales en procesos productivos.

En México existen ejemplos exitosos de la separación de residuos. Uno de éstos es el de las botellas de PET, cuya tasa de reciclaje se estima entre 50 y 60%. Aunque la mayor parte del acopio de PET se realiza a través del sector informal, el reciclaje de este material tiene beneficios ambientales, económicos y sociales importantes. Otro caso es el de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (UAM A), que cuenta con un programa de separación de residuos desde 2003. En los espacios abiertos hay dos tipos de botes, uno blanco para los residuos recuperables y otro rojo para el resto de los residuos. De 2005 a 2023 se han enviado a valorización 12.2 toneladas (t) de PET, 17.5 t de envases multicapas, 0.95 t de aluminio, 0.45 t de polietileno



Figura 2. Camión recolector con residuos separados en bolsas exteriores llamadas barcinas. Crédito: Maribel Velasco.

de alta densidad, 17.2 t de vidrio, 0.09 t de unicel, 3.6 t de metales ferrosos, 0.56 t de pilas, 11.81 t de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, 5 528 cartuchos de tóner, 13 665 lámparas fluorescentes y 1 660 L de aceite de cocina. Además, la Unidad participa actualmente en un programa piloto con Ecoce para la separación de botellas de PET y empaques flexibles metalizados y no metalizados. Los residuos de jardinería y algunos de los residuos orgánicos se llevan a la planta de composta de la Unidad, inaugurada en 2002.

En la UAM A, en el Área de Tecnologías Sustentables, se realizan investigaciones que generan información sobre la generación y composición de residuos en diferentes entornos, la cual contribuye al diseño de estrategias que fomentan la separación de residuos en la fuente.

Como ciudadanía, debemos asumir nuestra responsabilidad en la gestión de los residuos que generamos. Además de disminuir la generación de residuos, debemos informarnos si en nuestro municipio existe un programa de separación; si es así hay que separar y entregar los residuos como lo solicitan las autoridades. Si vivimos en un lugar sin programa de separación, podemos preguntarle a los recolectores qué residuos separan y entregárselos separados; esto facilitará su valorización. La separación y posterior valorización de los residuos disminuye los costos ambientales de nuestro estilo de vida.

Gestión integral de residuos sólidos urbanos y análisis de ciclo de vida

Datos del 2020 indican que la generación diaria por persona de residuos sólidos urbanos en México es de 0.944 kg, para un total diario en todo el país de 120 128 toneladas.

El manejo de estos residuos es, en general, muy básico: son simplemente recolectados y dispuestos en rellenos sanitarios o tiraderos a cielo abierto, sin ningún proceso de valorización previo. Esta forma de manejo tiene muchos impactos negativos: al ser enterrados los residuos, se pierden recursos no renovables como metales, vidrio y plásticos; se contaminan los mantos freáticos; se emiten gases provenientes de

la descomposición de la materia orgánica que propician el calentamiento global y, finalmente, se deja un enorme pasivo para las generaciones futuras.

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2003) promueve otras formas de tratar los residuos: el aprovechamiento material y el energético (**Figura 3**). En el primero, se recupera el material que compone el residuo; las tecnologías utilizadas pueden ser el composteo para la materia orgánica, y la reutilización y el reciclaje para residuos como el papel, cartón, metal, vidrio y plásticos. En el segundo, interesa la energía que los residuos pueden producir. Con la materia orgánica, por digestión anaerobia, se obtiene biogás; en el caso del papel, cartón y plásticos, se produce, por incineración, calor y electricidad, y mediante la aplicación de procesos de separación y secado se elaboran Combustibles Derivados de Residuos (CDR), por mencionar algunas opciones.

Aun cuando estas opciones de aprovechamiento permiten reducir los riesgos a la salud y a los ecosistemas, también generan impactos ambientales.

En la UAM Azcapotzalco, en el Área de Tecnologías Sustentables, se realizan investigaciones sobre las diferentes opciones de gestión de los residuos orgánicos y aprovechables, sus ventajas, desventajas y los parámetros de operación, entre otros. Sin embargo, no se estudiaban los impactos que pueden generar estas opciones. El Área ha trabajado para cubrir este aspecto, con la utilización de la herramienta del Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El ACV determina los impactos ambientales potenciales de un producto o un servicio, durante todo su ciclo de vida, a partir de la cuantificación de la energía y los materiales usados, así como de los residuos generados en cada etapa del ciclo de vida. Igualmente, con el ACV, se pueden comparar los impactos de varios productos o servicios.

En el caso de la gestión de los residuos, el ACV permite comparar las opciones de aprovechamiento de los residuos. Las investigaciones muestran que, en términos generales, el tiradero y el relleno son las peores opciones, y resulta más propicio el relleno con recuperación de energía; la incineración debe ser también con recuperación de energía; la gasificación

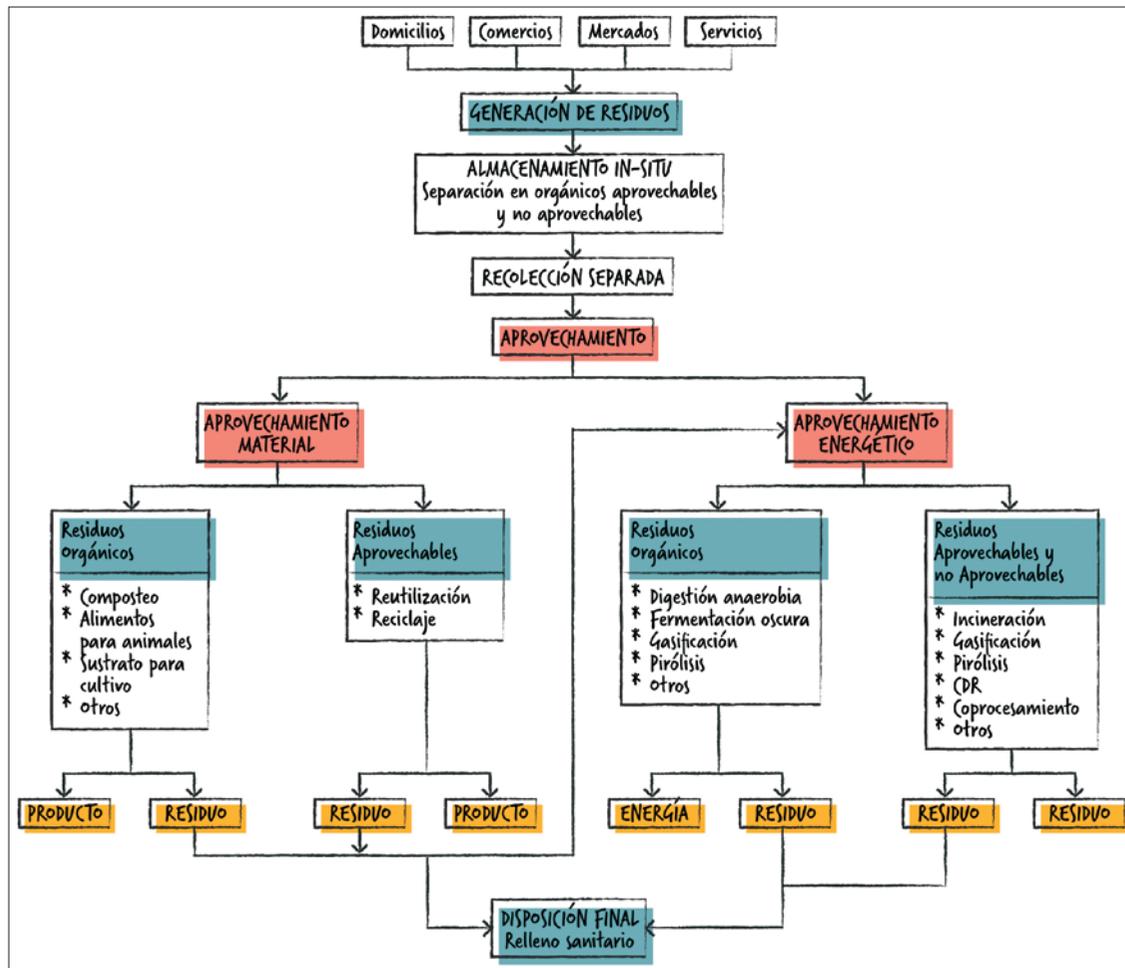


Figura 3. Origen, aprovechamiento, clasificación y disposición final de los residuos en México. Crédito: Sylvie Turpin y Diego de la Vega.

y los CDR deben ser impulsados porque evitan gases contaminantes; las técnicas de reciclaje de materiales son favorables y las técnicas de aprovechamiento de la materia orgánica son siempre una mejor alternativa que depositarla en rellenos sanitarios. Habrá que añadir, para cada caso, las características locales y regionales de transporte, la disponibilidad de agua y energía, así como las oportunidades de mercado.

La gestión integral de los residuos implica también la evaluación de los impactos que pueden provocar las opciones de aprovechamiento.

Innovación en el manejo sustentable de residuos plásticos

El aumento en la generación de residuos plásticos y su llegada al ambiente han generado preocupación

a nivel global. Ante esto, la comunidad científica ha trabajado intensamente en encontrar soluciones para generar menos residuos, aprovecharlos mejor y disminuir sus impactos ambientales.

Bioplásticos

Los bioplásticos incluyen dos tipos de plásticos: los biobasados, que se obtienen de recursos renovables, y los biodegradables, que pueden ser reintegrados a los ciclos naturales por la acción de microorganismos. Contrario a lo que se piensa, el que un plástico se obtenga de plantas no lo vuelve automáticamente biodegradable, pues eso depende de su estructura química. Los plásticos biobasados permiten disminuir la dependencia de los combustibles fósiles que se usan tradicionalmente para fabricar plásticos; sin embargo, generan impactos ambientales que incluyen

el uso de tierra de cultivo, agua y agroquímicos. Los biodegradables, por otro lado, pueden ayudar a incorporar los residuos plásticos a los procesos naturales, aunque para que esto ocurra debe dárseles un manejo muy específico, que incluye su tratamiento en plantas de composteo.

Es importante, sin embargo, que estos nuevos materiales sean evaluados para tener certeza sobre el comportamiento que tendrán en los sistemas de gestión de residuos, y en ese sentido en la UAM Azcapotzalco se han implementado metodologías que permiten analizar su degradación en procesos de composteo, relleno sanitario, tiraderos a cielo abierto y en el medio marino.

Uso de inteligencia artificial

El reciclaje de plásticos generalmente se hace mediante procesos mecánicos, en los que se calientan, se funden y se usan para fabricar nuevos productos; esto requiere de volúmenes altos de plásticos separados por tipo. La separación de plásticos mezclados generalmente involucra procesos manuales, mecánicos y ópticos. Actualmente, se están desarrollando aplicaciones de inteligencia artificial capaces de aprender a diferenciar distintos residuos plásticos a partir de identificación visual, consistentemente y

a bajo costo (Figura 4). Este tipo de herramientas puede ser muy relevante, especialmente en procesos en los que se manejan residuos potencialmente tóxicos.

Reciclaje químico

El reciclaje químico permite procesar plásticos mezclados, e incluso contaminados con alimentos. En el proceso, los residuos se calientan en un equipo en condiciones específicas de oxigenación, con la adición de solventes y otros compuestos. Esto provoca que las grandes moléculas que forman los plásticos se rompan en fragmentos pequeños en la forma de gases combustibles y compuestos químicos que pueden usarse para producir plásticos u otros productos. Estas tecnologías aún se encuentran en desarrollo, por lo que pueden requerir altas inversiones y consumo elevado de energía, además de que podrían generar emisiones de gases de efecto invernadero.

Es importante señalar, que si bien las nuevas herramientas y tecnologías permiten optimizar procesos, el componente más importante de los sistemas de gestión de residuos es la participación de los distintos actores. En este sentido, la Universidad Autónoma Metropolitana, además de desarrollar

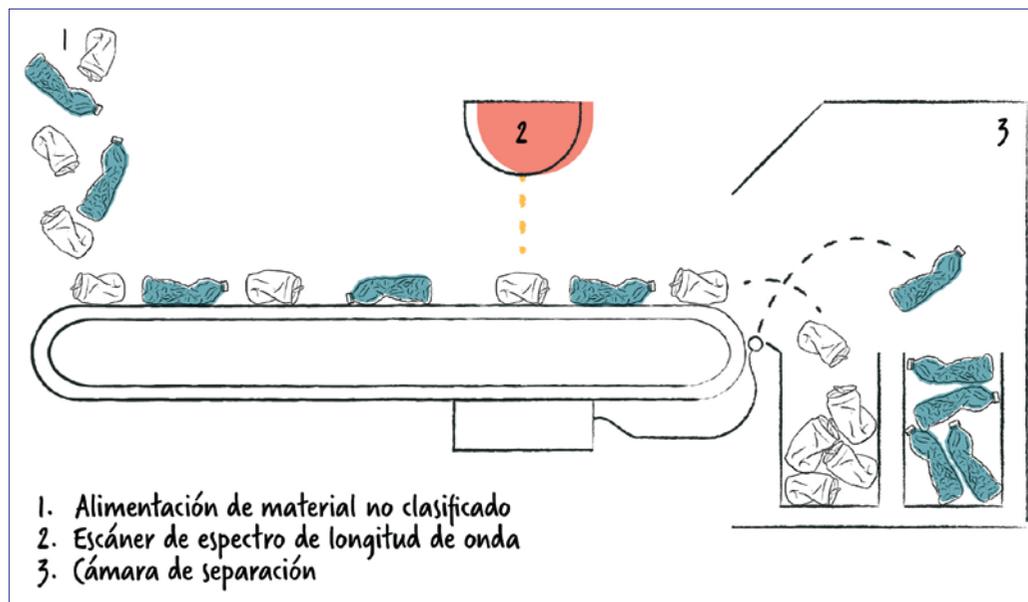


Figura 4. Ejemplo de la separación de residuos con la asistencia de inteligencia artificial y apoyos electromecánicos. Crédito: Diego de la Vega.

investigación científica y tecnológica en torno al tema, promueve de manera activa, a través de la docencia, la vinculación y la operación de sus instalaciones, temas relevantes como la concientización sobre el consumo responsable, la necesidad de la separación en la fuente y las distintas alternativas de prevención y manejo de los residuos. Con ello, además de apoyar de manera concreta a gobiernos locales, asociaciones y empresas, se ha contribuido a mitigar la contaminación generada por los residuos en nuestro país, en casos específicos como el de la presencia de microplásticos en el ambiente. El trabajo desarrollado por el Área de Tecnologías Sustentables ha permitido definir una línea base para este tipo de contaminación, además de generar metodologías de muestreo y análisis que han sido retomadas por distintas instituciones para ampliar el conocimiento en torno al tema.

Rosa María Espinosa Valdemar

UAM Azcapotzalco.
rmev@azc.uam.mx

Maribel Velasco Pérez

UAM Azcapotzalco.
mvp@azc.uam.mx

Sylvie Jeanne Turpin Marion

UAM Azcapotzalco.
stm@azc.uam.mx

Alethia Vázquez Morillas

UAM Azcapotzalco.
alethia@azc.uam.mx

Mario A. De Leo Winkler

UAM Rectoría General.
madeleowinkler@correo.uam.mx

La sección “Residuos orgánicos: retos y oportunidades” fue escrita por la doctora Rosa María Espinosa Valdemar; el escrito titulado “Separación de residuos para su valorización” contó con la redacción de la doctora Maribel Velasco Pérez; la sección “Gestión integral de residuos sólidos urbanos y análisis de ciclo de vida” es una aportación de la doctora Sylvie Jeanne Turpin Marion, e “Innovación en el manejo sustentable de residuos plásticos” es un texto de la doctora Alethia Vázquez Morillas, todas ellas adscritas a la Universidad Autónoma Metropolitana.



Lecturas recomendadas

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos* [en línea], 8 de mayo de 2023. Disponible en: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf>, consultado el 1 de junio de 2024.

Secretaría del Medio Ambiente de la CDMX [en línea], Información sobre la gestión de los residuos en la CDMX. Disponible en: <https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/residuos-solidos>, consultado el 1 de junio de 2024.

Ihobe (2009), “Análisis de Ciclo de Vida y huella de carbono: dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto” [en línea], Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca, Gobierno Vasco. Disponible en: <https://www.ihobe.eus/publicaciones/analisis-ciclo-vida-y-huella-carbono-dos-maneras-medir-impacto-ambiental-un-producto-2>, consultado el 1 de junio de 2024.

José Eduardo González Reyes

Desde las redes

Una tormenta de colores

El segundo fin de semana de mayo vino acompañado no sólo de la celebración del Día de las Madres, sino también de un fenómeno astronómico inusual: miles de personas reportaron haber visto auroras boreales en lugares donde regularmente no podían visualizarse.

Nuestro Sol envía constantemente partículas cargadas en todas direcciones en forma de viento y tormentas solares. Cuando algunas de éstas llegan a

la Tierra, interactúan con el campo magnético, una especie de escudo que nos protege de sus efectos y las redirecciona alrededor de nuestro planeta. Sin embargo, algunas pueden lograr entrar a la atmósfera, donde excitan a los átomos de oxígeno y nitrógeno produciendo emisiones de luz de varios colores, lo que conocemos como auroras. Éstas pueden ser boreales o australes, dependiendo del polo en el que se formen.



Aurora sobre el suroeste de Columbia Británica, el 10 de mayo de 2024. Crédito: NASA/Mara Johnson-Groh.

Las auroras que se produjeron los pasados 10 y 11 de mayo tuvieron su origen en el plasma emitido por una región activa del Sol denominada AR3664, que aumentó su ancho a 15 diámetros terrestres aproximadamente. Desde el 8 de mayo esta zona envió al menos siete eyecciones en dirección a la Tierra, con velocidades de hasta 1 800 kilómetros por segundo.

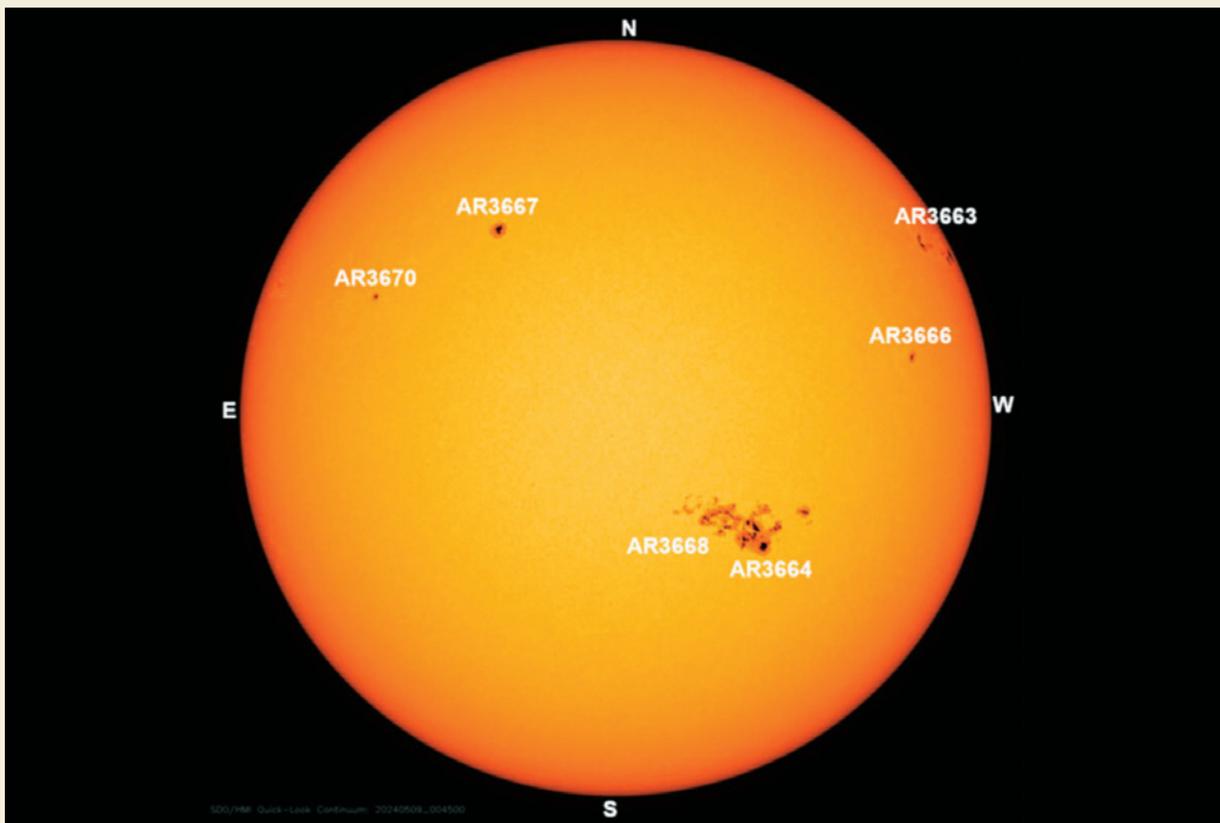
Esta alta cantidad de partículas produjo una alteración del campo magnético –también conocida como tormenta geomagnética– que fue clasificada como extrema en la escala de cinco niveles usada por el Centro de Predicción de Clima Espacial de Estados Unidos. Desde octubre de 2003, la Tierra no había experimentado un fenómeno de tal magnitud. Se pudieron observar auroras boreales hasta en el sur de Estados Unidos y el norte de la India. Hubo incluso reportes en México a través de fotografías del cielo realizadas con una exposición prolongada.

Pero no todo fue un espectáculo increíble a la vista. Las comunicaciones por radio y GPS se interrumpieron

en todo el mundo; la conexión a internet de Starlink –un servicio que depende de más de 5 000 satélites– informó sobre fallas temporales en la calidad de su señal, y algunos satélites interrumpieron sus trabajos de observación del espacio, como fue el caso del Observatorio de Rayos X Chandra de la NASA. Sin duda este fenómeno brindará material a los grupos de investigación para conocer mejor los procesos que ocurren en la estrella de nuestro sistema solar y el impacto que puede tener en los satélites, las misiones tripuladas y la infraestructura terrestre y espacial.

Más información

M. Johnson-Groh (2024), “How NASA Tracked the Most Intense Solar Storm in Decades”, NASA [en línea]. Disponible en: <https://science.nasa.gov/science-research/heliophysics/how-nasa-tracked-the-most-intense-solar-storm-in-decades/>.



Región AR3664 del Sol, observada el 11 de mayo de 2024. Crédito: NASA/SDO, AIA, EVE, HMI Science Teams, en colaboración con EarthSky.

¿El tamaño sí importa?

Una pequeña planta, un helecho conocido como horquilla o tenedor, oculta un gran secreto en el interior de sus células: un genoma 50 veces más grande que el de los seres humanos.

Esta especie, *Tmesipteris oblanceolata*, habita en las islas de Nueva Caledonia en el Pacífico, a unos 1200 kilómetros al este de Australia. Este helecho no es una especie llamativa, no tiene flores, crece sobre las ramas y troncos de árboles, incluso podría ser confundida con otro tipo de planta, pues no posee las características visuales de los helechos comunes.

El genoma es el conjunto completo de la información genética característica de cada organismo y se encuentra codificado en el ácido desoxirribonucleico (ADN), una molécula formada por pares de bases. En el caso de los humanos, éste tiene una longitud aproximada de 3200 millones de pares de bases o 3.2 gigabases (Gbp, por sus siglas en inglés; cada una equivale a mil millones de pares de bases), pero el de este helecho mide 160 Gbp. Si se desenrollara su ADN, obtendríamos una hebra de más de 100 metros de longitud.

Con este descubrimiento, dicha especie rompió el récord del genoma más largo conocido a la fecha. El título lo ostentaba, desde 2010, la planta *Paris japonica*, que puede ser encontrada en la isla de Honshu, Japón,



El *Tmesipteris oblanceolata* es un tipo de helecho que puede ser encontrado en Nueva Caledonia. Crédito: Pol Fernández.

y que cuenta con 149 Gbp. Otras especies con genomas realmente largos son los peces pulmonados, con 130 Gbp, o varias especies de salamandras, que pueden tener genomas 40 veces más largos que el humano.

Este hallazgo fue reportado por investigadores del Real Jardín Botánico de Kew del Reino Unido y del Institut Botànic de Barcelona, quienes usaron una técnica indirecta para poder calcular la longitud del genoma. Tiñeron el ADN de los núcleos de las células de *Tmesipteris*, bajo la premisa de que mientras más tinte se hubiera adherido a la molécula mayor sería la longitud de la misma. Para tener un patrón de comparación, usaron el genoma de especies comunes, como el ajo, la planta cultivada con el mayor genoma conocido, que posee 34 Gbp.

Contrario a lo que se podría pensar, los genomas tan grandes pueden poner en desventaja a sus portadores, pues sus ciclos reproductivos son mucho más lentos debido a que el ciclo celular es más largo con respecto al de un organismo con un genoma pequeño, además de que la demanda de nutrientes que se requiere para construir los ácidos nucleicos es mucho mayor. Sin embargo, debido a que este helecho se encuentra en un ambiente relativamente estable, con poca competencia, su inmenso genoma podría no ser ni perjudicial ni útil para que la planta pueda sobrevivir y reproducirse.

Aunque los autores del estudio no descartan por completo que en el futuro se puedan descubrir genomas aún más grandes, señalan que, si aún no se ha alcanzado el límite superior, el de *Tmesipteris* debe de estar muy cerca de él, debido a los múltiples costos fisiológicos, ecológicos y evolutivos asociados con las expansiones genómicas a escalas tan gigantescas. Para los científicos aún queda el reto de poder secuenciar un genoma tan grande y después entender qué es lo que está sucediendo con éste.

Más información

P. Fernández *et al.* (2024), "A 160 Gbp fork fern genome shatters size record for eukaryotes", *iScience* [en línea]. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.109889>>.

Las retractaciones en las ciencias biomédicas

La retractación de artículos es un mecanismo que permite alertar a la comunidad científica en el sentido de que esos estudios no cumplen con los estándares para ser aceptados como válidos, ya sea porque hubo conductas inapropiadas por parte del equipo de investigación al publicar, o bien porque se detectaron errores honestos. En cualquier caso, las revistas deben publicar una nota señalando que el artículo ha sido retractado. Tan sólo en 2023 se rompió un récord con 10 000 artículos de investigación invalidados a nivel mundial, de acuerdo con la revista *Nature*.

Aunque éste es un problema grave para la ciencia en general, en el ámbito biomédico tener artículos con malas prácticas, o que se construya nuevo conocimiento con base en publicaciones que han sido retractadas, puede tener un fuerte impacto, debido a que los resultados son potencialmente usados en el área de la salud humana o animal.

Un equipo de la Universidad de Santiago de Compostela en España se dio a la tarea de conocer cómo han evolucionado las retractaciones biomédicas en Europa del año 2000 a 2021. Encontraron que la tasa se cuadruplicó en este periodo, pasando de 11 retractaciones por cada 100 000 artículos en el 2000, a 45 por cada 100 000 en 2020.

Dos tercios de estos artículos fueron retirados por motivos relacionados con mala conducta en la investigación, como manipulación de datos e imágenes, o fraude de autoría. Los países con el mayor número de retractaciones en Europa fueron Alemania, Reino Unido, Italia y España.

Desde 2010, la duplicación –entendida como la publicación redundante del artículo completo, imágenes o partes del texto publicados en otras revistas por los mismos autores– ha sido el principal motivo de retractación en Europa. Además, encontraron que el uso de datos poco fiables es una amenaza creciente en algunos países, como Italia.

Aunque algunos estudios previos consideran que el uso de *software* de detección de plagio produjo un aumento en la identificación del mismo, su uso actual debería de haber contribuido a su disminución. Los autores sugieren que se deben implementar políticas a nivel nacional para gestionar las malas prácticas, así como reforzar la educación en integridad científica en etapas tempranas de la formación, pues se ha observado que estar en las primeras etapas de una carrera de investigación es un factor predictivo de retractación, así como de mala conducta.

Más información

F. Freijedo-Farinas, A. Ruano-Ravina, M. Pérez-Ríos *et al.* (2024), “Biomedical retractions due to misconduct in Europe: characterization and trends in the last 20 years”, *Scientometrics*, 19:2867-2882. Disponible en: <<https://doi.org/10.1007/s11192-024-04992-7>>.



En 2023 se reportaron al menos 10 000 artículos de investigación retractados a nivel mundial. Créditos: Imagen generada con la IA Pikazo.

Noticias de la Academia Mexicana de Ciencias



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:

- 2 de abril de 2024
¿Qué cambia cuando cambia el clima?
 María Amparo Martínez Arroyo
 Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM
https://www.youtube.com/live/15SzZrN3pEg?si=r_flyWyjQ1-mBLN1
 Al término de la conferencia, se invitó a un panel de especialistas a comentar sobre el tema. Participaron: Elva Escobar Briones, del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM;

TIENES UNA
CITA
ciencia • innovación • tecnología • academia

EN EL C3 CON LA
ACADEMIA MEXICANA
DE CIENCIAS Y
María Amparo Martínez Arroyo
Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM

¿Qué cambia cuando cambia el clima?

Panel de comentaristas:
 • Elva Escobar-Briones. ICML-UNAM
 • Telma Gloria Castro Romero. ICAYCC-UNAM
 • Constantino González Salazar. ICAYCC y C3-UNAM
 • Moderadora: Julia Tagüeña. IER y C3-UNAM, AMC

BASTAAA!!!

UNAM C3 Centro de Ciencias de la Complejidad AMC



Telma Gloria Castro Romero, del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la UNAM, y Constantino González Salazar, del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático y del Centro de Ciencias de la Complejidad (C3) de la UNAM, con Julia Tagüeña, coordinadora de CITA, como moderadora.

- 30 de abril de 2024

México y su coyuntura migratoria. Dimensiones y tensiones

Tonatiuh Guillén López

Programa Universitario de Estudios del Desarrollo, UNAM

Al término de la conferencia, se invitó a un panel de especialistas a comentar sobre el tema. Participaron: María Magdalena Silva Rentería, directora de la Casa de Acogida, Formación y Empoderamiento de Mujeres Migrantes (Cafemin); Elba Gutiérrez, directora del Programa Global Pro Bono de Greenberg Traurig; Patricia Mercado, de Conexión Migrante, con Julia Tagüeña, coordinadora de CITA, como moderadora.

- 28 de mayo de 2024

El Antropoceno en la Antártida: un asunto no sólo de los pingüinos

Miguel Rubio Godoy

Instituto de Ecología, A. C. (Inecol)

<https://www.youtube.com/live/fMzUZ4xRELI?si=Aus9lwR-nORGJ-54p>

Al término de la conferencia, se invitó a un panel de especialistas a comentar sobre el tema. Participaron: Fabricio

Villalobos Camacho del Inecol; Ignacio Juárez Martínez, de la Universidad de Oxford/Penguin Watch, y Alberto Tinoco Guadarrama, periodista y guionista de televisión, con Julia Tagüeña, coordinadora de CITA, como moderadora.

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 podcasts más recientes disponibles son:

- “Astronomía en México, eclipse total de Sol, 8 de abril de 2024”

En este episodio tenemos la oportunidad de conversar con el Dr. José Franco, astrofísico mexicano y miembro de la AMC, quien nos comparte aspectos interesantes de la astronomía; en esta ocasión platicamos desde el Instituto de Astronomía de la UNAM sobre fenómenos astronómicos sucedidos en el siglo XX, como los eclipses de 1919 y 1923; lo anterior, como preámbulo al eclipse solar total que tuvo lugar el 8 de abril de 2024. 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/>

<https://open.spotify.com/episode/0pbeXFjGR0ceNBi-HutSXjj?si=8zloxTfcSamIPKp7iqtgw>

- “Arte y matemáticas”

En esta oportunidad conversamos con tres invitados que tienen 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>

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

Continúan las pláticas de diversos autores que han contribuido en números recientes de la revista *Ciencia de la AMC*, a través de las redes sociales de esta publicación. Las charlas más recientes han sido:

- 2 de abril de 2024

“Presentación del número *Astrobiología* y charla ‘Los océanos del sistema solar’”
Lilia Montoya y Elva Escobar-Briones
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM
<https://www.youtube.com/live/WnihFaApqEw>



- 16 de abril de 2024

“Meteoritos: portadores de los ingredientes de la vida”
Karina Elizabeth Cervantes de la Cruz
Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra, UNAM
<https://www.youtube.com/live/BJ7zoHBigag>

- 30 de abril de 2024

“De lo simple a lo complejo: la química antes de la vida”
Betsaida Lucinda Ávila Suárez y Alejandro Heredia Barbero
Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM
<https://www.youtube.com/live/R4gciBFFxZw>



- 14 de mayo de 2024

“El impacto del *nearshoring* en México: desafíos y oportunidades”
Sergio Silva Castañeda
Banco de México
<https://www.youtube.com/live/ISWLDVv93x0>



- 28 de mayo de 2024

“Las huellas de la vida en el planeta rojo”
José Alfredo Rojas Vivas y Paola Molina Sevilla
Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM
<https://www.youtube.com/live/N5BRRfi7SQ8>



- 10 de junio de 2024
Mundos habitables más allá del sistema solar
Antígona Segura
Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM
<https://www.youtube.com/live/OOR3ofkTiMg>



Webinar
“Tu mundo con ciencia”

Continúa el ciclo de conferencias “Tu mundo con ciencia”, impartido por exbecarias ganadoras de las Becas para Mujeres en la Ciencia L’Oréal-Unesco-AMC. Las pláticas se llevan a cabo el segundo jueves de cada mes y son transmitidas por los canales de las redes sociales de la AMC. Las conferencias están orientadas a jóvenes de nivel bachillerato, para fomentar las vocaciones científicas. En el mes de agosto de 2023 inició su tercera temporada. Las conferencias más recientes son:

- 14 de marzo de 2024
“Cómo el síndrome metabólico impacta en tu bienestar: sus efectos y cómo prevenirlos”
Karla Guadalupe Carvajal Aguilera
Instituto Nacional de Pediatría
<https://www.youtube.com/live/Sw9Pb37FW3Q>



- 11 de abril de 2024
“¿Qué son los supercapacitores y cómo pueden ayudarnos en la crisis climática?”
Marquidia Pacheco Pacheco
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
https://www.youtube.com/live/I4LxXpP5R_k



- 9 de mayo de 2024
“Nanopartículas poliméricas: vectores en la administración de compuestos activos”
Rocío Álvarez Román
Universidad Autónoma de Nuevo León
<https://www.youtube.com/live/sGsv9jSWSrE>



En nuestro próximo número
de octubre-diciembre de 2024

NOVEDADES CIENTÍFICAS